

سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و منشأ ریولیت‌های گارنت‌دار منطقه کهک (جنوب خاور قم)

نسیم عسکری^۱، محمدحاشم امامی^۲ و منیره خیرخواه^۳

^۱ کارشناسی ارشد، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران
^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اسلامشهر، اسلامشهر؛ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.
^۳ استادیار، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۶/۲۱

چکیده

سنگ‌های ریولیتی بعد از اتوسن منطقه کهک در بخش جنوب‌خاوری محدوده چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ قم و بخش خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک قرار دارد. این محدوده بخشی از حاشیه باختری ایران مرکزی و در نوار ماگمایی ارومیه-دختر جای دارد. سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک به صورت گنبد درون‌زا رخمون دارند که با توجه به حضور توده‌های ریولیتی در امتداد گسل امتدادلغز می‌توان دریافت که این گسل در جایگیری و صعود ماگمای ریولیتی مؤثر بوده است. سنگ‌های ریولیتی کالکوالکال بوده و بر اساس ترکیب شیمیایی سنگ‌های ریولیتی و شیمی میکا و گارنت موجود، ماگمای به‌وجودآورنده پراآلمین و تیپ S است که مربوط به محیط‌های برخوردی است و به نقش پوسته قاره‌ای در تشکیل سنگ‌های ریولیتی اشاره دارد. با توجه به اینکه گارنت درشت‌بلور است و منحصرأ در سنگ‌های ریولیتی منطقه وجود دارد و گارنت نمی‌تواند در بسیاری از ماگماهای بازیک متبلور شود، در نتیجه ریولیت منطقه کهک نمی‌تواند حاصل تبلور بخشی ماگمای بازیک باشد.

کلیدواژه‌ها: کهک، ریولیت، گارنت، بیوتیت.

***نویسنده مسئول:** نسیم عسکری

E-mail: n_askari@gsi.ir

۱- پیش‌گفتار

این سنگ‌ها در تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده است (شکل ۲). سنگ‌های ریولیتی واحدهای آندزیت-بازالتی اتوسن بالایی (E_v) را قطع نموده‌اند (شکل ۳-الف) و بنابراین تصور بر این است که دارای سن پس از اتوسن باشند.

اولین بار امامی (۱۳۷۰) در شرح نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ قم به وجود سنگ‌های ریولیتی گارنت‌دار در منطقه کهک اشاره نموده و این سنگ‌ها را اینگونه توصیف می‌کند: در جنوب خاوری کهک-دستجرد سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی از جمله گدازه‌های ریولیتی گروندار به طور محدود وجود دارند که سنگ‌های تیره‌رنگ اتوسن پسین را قطع می‌کنند ولی اثری از آنها در سنگ‌های الیگومیوسن (سازند قم) یافت نمی‌شود و به نظر می‌رسد این فعالیت ماگمایی مترادف تشکیل سازند قرمز زیرین باشد. در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۴) به سنگ‌های ریولیتی گارنت‌دار منطقه کهک اشاره‌ای نشده است. بهاری‌فر (۱۳۸۵ و ۱۳۸۸) به سنگ‌های ریولیتی گارنت‌دار در منطقه کهک اشاره نموده و با توجه به شیمی میکای موجود در این سنگ‌ها به بررسی خاستگاه سنگ‌های منطقه پرداخته است. لیکن در این نوشتار سعی شده است با تکیه ویژه بر داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل، گارنت و میکای موجود خاستگاه ماگمای سازنده این توده‌ها مشخص شود.

۲- ویژگی‌های سنگ‌شناسی

۲-۱. ویژگی‌های صحرایی

سنگ‌های ریولیتی در محدوده مورد مطالعه به صورت گنبد در امتداد گسل میم در حالیکه واحدهای آندزیت-بازالتی اتوسن بالایی (E_v) را قطع نموده‌اند رخمون دارند (شکل ۲) و (شکل ۳-الف). آثار نواربندی جریانی به صورت نوارهای سفید، شیری و خاکستری و گاه صورتی و کیود مشهود است (شکل ۳-ب). این سنگ‌ها فانریتیک و گاه نیز آفانیتیک هستند. در مقیاس نمونه دستی اکسیدهای آهن کوارتز و همچنین منگنز به صورت دندردی و در بخش‌هایی نیز اثراتی از کانی‌سازی باریت دیده می‌شود. از دیگر ویژگی‌های آنها وجود بلورهای گارنت به رنگ قرمز-صورتی است که حتی با چشم غیرمسلح نیز قابل شناسایی هستند، اندازه آنها در حدود ۱ میلی‌متر است. در گنبد‌های ریولیتی مورد مطالعه دو سیستم درزه قابل مشاهده است؛ درزه‌هایی که به موازات سطح سردشدگی و دیگری درزه‌هایی عمود بر سطح سردشدگی هستند که باعث خردشدگی شدید ریولیت‌ها شده‌اند. درزه‌های نیم موازی معمولاً در بخش‌های درونی گنبد‌هایی که تنش به صورت برشی وجود دارد (Fink & Anderson, 2000).

۲-۲. ویژگی‌های میکروسکوپی

سنگ‌های ریولیتی مورد مطالعه به‌طور کلی دارای بافت پورفیری هستند، از دید ساختار می‌توان آنها را به دو گروه تقسیم کرد، دسته‌ای که دارای ساخت جریانی بوده (شکل ۴-الف) و گروه دوم که فاقد چنین ویژگی هستند (شکل ۴-ب). از درشت‌بلورهای موجود در این سنگ‌ها می‌توان به پلاژیوکلاز اشاره کرد که خودشکل بوده و دارای ماکل نواری هستند، اندازه این کانی به ۱ میلی‌متر نیز می‌رسد که در بسیاری از موارد به کلسیت، سریسیت دگرسان شده است. کوارتز درشت‌بلور دیگری است که در این سنگ‌ها عمدتاً به صورت نیمه‌شکل‌دار بوده دارای حواشی خورده‌شده و گردشده است (شکل ۶-الف). بلورهای کوارتز در این سنگ‌ها

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی عمومی

سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک در بخش جنوب خاوری محدوده ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ قم و بخش خاوری ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک به مختصات جغرافیایی ۵۴° ۵۰' تا ۵۱° ۰۰' طول خاوری ۳۴° ۱۷' تا ۳۴° ۲۴' عرض شمالی قرار دارند. منطقه کهک بخشی از حاشیه باختری ایران مرکزی و در نوار ماگمایی ارومیه-دختر جای دارد (آقاباتی، ۱۳۸۳). برای دسترسی به منطقه مورد مطالعه می‌توان با طی حدود ۲۰ کیلومتر در مسیر جاده قدیم قم-کاشان به کهک رسید. در محدوده مورد مطالعه واحدهای سنگی شامل سنگ‌های آندزیت-بازالتی اتوسن بالایی، توف و توفیت با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و آهک‌های فسیل‌دار و گدازه‌های حدواسط تا بازیک، آندزیت-بازالت‌های مگاپورفیر تناوبی از توف خاکستری رنگ با ترکیب ریولیتی و ماسه‌سنگ قرمز است (شکل ۱). سنگ‌های ریولیتی در محدوده مورد مطالعه به صورت گنبد درون‌زاد و از نوع نهان‌گنبد (Cryptodome) در امتداد گسل امتدادلغز میم با روند شمال باختر-جنوب خاور و مؤلفه برشی چپ‌گرد رخمون دارند، با توجه به اینکه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک (قلمقاش و همکاران، ۱۳۷۴) به سنگ‌های ریولیتی گارنت‌دار منطقه کهک اشاره‌ای نشده است بنابراین موقعیت

(عسکری و همکاران، ۱۳۸۹) با توجه به دلایل زیر گارنت‌های منطقه را بلورهای اولیه و آذرین در نظر گرفته که از ماگمای پرآلومین متبلور شده‌اند:

گارنت موجود در سنگ‌های گنبدی ریولیتی منطقه کهک خودشکل، بدون هیچ حاشیه واکنشی است (Cleman & Wall, 1984; Kawabata & Takafuji, 2005) و با توجه به عدم حضور زئولیت‌های دگرگونی و اذخال‌هایی از کانی‌هایی نظیر سیلیمانیت (Zeck, 1970; Kawabata & Takafuji, 2005; Birch & Gleadow, 1974) گارنت منطقه کهک به نظر می‌رسد درشت‌بلور بوده که تحت فشار بالا تشکیل شده است. گارنت‌هایی که توسط سنگ‌های آتشفشانی (S-type) پرآلومین ($Al_2O_3/CaO+Na_2O+K_2O > 1$) در برگرفته می‌شوند دارای ($CaO < 4wt\%$) هستند در حالی که گارنت‌هایی که از ماگمای I-type و M-type متآلومین متبلور می‌شوند ($Al_2O_3 / CaO+Na_2O+K_2O < 1$) دارای ($CaO > 4wt\%$) هستند (Hrangi et al., 2001). ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه کهک و درصد CaO آن (جدول ۱) نشان می‌دهد که این گارنت‌ها حاصل ماگمای S-type هستند. همچنین به علت اینکه گارنت منحصراً در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک وجود دارد و به صورت اولیه است و بنابراین گارنت نمی‌تواند در بسیاری از ماگماهای بازیک متبلور شود (Mirnejad et al., 2008) می‌توان دریافت ریولیت‌های گارنت‌دار منطقه کهک نمی‌تواند حاصل تبلور بخشی ماگمای بازیک باشد.

۴- مطالعات ژئوشیمیایی سنگ کل

برای انجام مطالعات ژئوشیمیایی، ۲۲ نمونه از سنگ‌های ریولیتی مورد مطالعه قرار گرفتند. از مجموع این ۲۲ نمونه ۱۹ نمونه به روش XRF و ۳ نمونه نیز با دستگاه ICP-OES (جدول ۳) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد تجزیه قرار گرفتند و نتیجه آنها با استفاده از نرم‌افزار GCDkit و همچنین Excel پردازش شدند. با توجه به اینکه نمودار سنگ‌های درونی فلسیک برای گدازه‌های فلسیک نیز قابل استفاده است (Menuge et al., 2002) در این بخش از برخی از نمودارهای سنگ‌های گرانیتی برای مطالعه سنگ‌های ریولیتی منطقه استفاده شده است. در رده‌بندی سنگ‌های ریولیتی از عناصر اصلی و نیز عناصر کم تحرک و از نمودارهای TAS (LeBas et al., 1986) و Winchester & Floyd (1977) استفاده شده است. در این نمودارها سنگ‌ها در محدوده ریولیت، تراکیت و ریوداسیت قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰).

با استفاده از نمودار آلکالین در برابر سیلیس (Irvin & Baragar, 1971) سنگ‌ها به دو گروه آلکالین و ساب‌آلکالین و نمودار AFM (Irvin & Baragar, 1971) سری کالکوآلکالین برای سنگ‌های ریولیتی مورد مطالعه تعیین می‌شود (شکل ۱۱).

۴-۱. رده‌بندی ژئوبندی سنگ‌های ریولیتی

- رده‌بندی ژئوبندی سنگ‌های ریولیتی بر اساس شیمی کل سنگ: با توجه به اینکه ریولیت معادل بیرونی گرانیت است، در این نوشتار برای تعیین نوع ماگمای به‌وجودآورنده سنگ‌های ریولیتی منطقه از نمودار Na_2O-K_2O استفاده شد که توسط Chappell & White (1974) برای تفکیک گرانیت‌های نوع S و I ارائه شدند که با توجه به این نمودار ماگمای به‌وجودآورنده از نوع S است (شکل ۱۲).

- رده‌بندی ژئوبندی سنگ‌های ریولیتی بر اساس ترکیب شیمیایی بیوتیت (Abdel- Rahman, 1994): برای تعیین نوع ماگمای به‌وجودآورنده سنگ‌های ریولیتی می‌توان از ترکیب شیمیایی بیوتیت بهره برد. Abdel- Rahman (1994) برای تعیین سری ماگمایی ماگمای دربرگیرنده بیوتیت، با استفاده از اکسیدهای MgO , Al_2O_3 , FeO * $[FeO + (Fe_2O_3 * 0.89981)]$ اقدام به رده‌بندی گرانیت‌ها کرد و برای آنها ماهیت آلکالین (A) و کالکوآلکالین (C) و پرآلومین (P) را مدنظر قرار داد. در این نمودارها بیشتر نمونه‌های بیوتیت در محدوده پرآلومین (P) قرار گرفتند و همچنین چند نمونه نیز در محدوده (A) قرار گرفتند (شکل ۱۳). بنابراین بر

دارای ویژگی‌هایی هستند که به خوبی آثاری از دگرشکلی و تبلور دوباره را در خود حفظ کرده‌اند. آلکالی‌فلدسپار نیز در این سنگ‌ها به صورت بلورهای ریز و دگرسان شده خمیره سنگ را تشکیل می‌دهد. کانی بیوتیت نیز در برخی موارد دیده شده است (شکل ۶-ب). این درشت‌بلورها در خمیره کوآرتز فلدسپاری ریزبلورین قرار گرفته‌اند که پدیده تبلور شیشه زمینه (دوئیریفیکاسیون) را پشت سر گذاشته است. در سنگ‌هایی که ساخت جریانی وجود دارد، نوارها شامل بخش‌های تیره و روشنی است که در آنها اثر پدیده تبلور شیشه زمینه به‌خوبی نمایان است (شکل ۴-الف). نواربندی در سنگ‌های ریولیتی مورد مطالعه غالباً به شکل چین‌ها و مدل چرخشی هستند. خطوط جریان می‌توانند در برابر اجزای بزرگ در هنگام چرخش چین‌خورده (شکل ۵) و جهت چرخش را نشان دهند (Vernon, 2004). از جمله کانی‌های ثانوی در این سنگ‌ها مسکوویت، سریسیت، کلسیت، آلیت است و کانی‌های فرعی شامل گارنت (شکل ۶-ب)، کلسیت، اکسیدهای آهن، منگنز، روتیل، کانی‌های کدر، آپاتیت، زیرکن، نقره، سلسیت هستند.

۳- شیمی کانی

بیوتیت و گارنت از مهم‌ترین کانی‌های مافیک در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک هستند (شکل ۶-ب) که می‌توانند در تعیین پتروژنز سنگ‌های ریولیتی منطقه مفید باشند. در مطالعه حاضر به منظور آگاهی از ترکیب شیمیایی گارنت و بیوتیت موجود در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک، این کانی‌ها توسط دستگاه میکروپروب Cameca X100 در مرکز فرآوری مواد معدنی ایران برای عناصر Ti, Mn, Ca, Mg, Fe, Al, Si مورد تجزیه قرار گرفته و نتایج آن در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

۳-۱. شیمی بیوتیت

بیوتیت بیشتر به صورت بلورهای کشیده است (شکل ۶-ب) که گاهی به کلریت دگرسان شده است. نتیجه EPMA حدود ۸ میکای این سنگ‌ها در جدول ۲ آمده است. گفتنی است که با توجه به نتیجه آنالیز میکا تعدادی با توجه به جمع آنالیز، مقدار K_2O با ترکیب میکا همخوانی نداشت (Deer et al., 1982) و حذف شدند. همچنین در پاره‌ای نیز میزان FeO با ترکیب میکا همخوانی ندارد که با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی می‌تواند به علت کلریتی شدن میکا باشد. به منظور شناسایی و نوع میکا نمونه‌های مورد آنالیز در نمودار Foster (1960) رسم و میکاها از نوع سیدروفیلیت و لپیدوملان تعیین شدند (شکل ۷-ب). در نمودار Tshendrove et al. (1997) میکا عمدتاً سیدروفیلیت تا پروتولیتونیت (شکل ۷-الف) است و یک نمونه نیز در محدوده لپیدوملان قرار می‌گیرد (بهاری‌فر، ۱۳۸۸).

۳-۲. شیمی گارنت

گارنت در سنگ‌های پوسته‌ای مانند سنگ‌های دگرگونی و گرانیت‌های S-type معمولاً وجود دارد، اما در سنگ‌های آتشفشانی نادر است. حضور اندک گارنت در سنگ‌های آتشفشانی می‌تواند در شناسایی خاستگاه اولیه و فرایند صعود ماگمای میزبان مؤثر باشد (Harangi et al., 2001) که در این راستا ابتدا تعیین منشأ گارنت از آن جهت که آیا درشت‌بلور است یا زئوکریست مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در تصویر میکروسکوپ الکترونی (BSE) گارنت قابل مشاهده است، گارنت موجود در سنگ‌های فلسیک منطقه کهک خودشکل و سالم دارای اذخال تیتانومنیست، بدون هیچ حاشیه واکنشی است (شکل ۸). اندازه آن ۰/۸ تا ۰/۴ میلی‌متر و مقدار آن در این سنگ‌ها کمتر از ۵٪ است. با توجه به آنالیز EPM و فرمول ساختمانی گارنت توسط نرم‌افزار Ax محاسبه شد. همانگونه که در جدول ۱ دیده می‌شود، گارنت‌ها از نوع پیرالسیت هستند و میزان آلماندن در آنها بسیار بالاست (شکل ۹). به‌طور میانگین گارنت‌ها دارای ۷۹/۹۴٪ آلماندن، ۵/۷۷٪ پیروپ، ۸/۸۵٪ اسپسارتین، ۲/۰۲٪ گروسولار هستند. در تعیین منشأ گارنت در ریولیت منطقه کهک، مطالعات

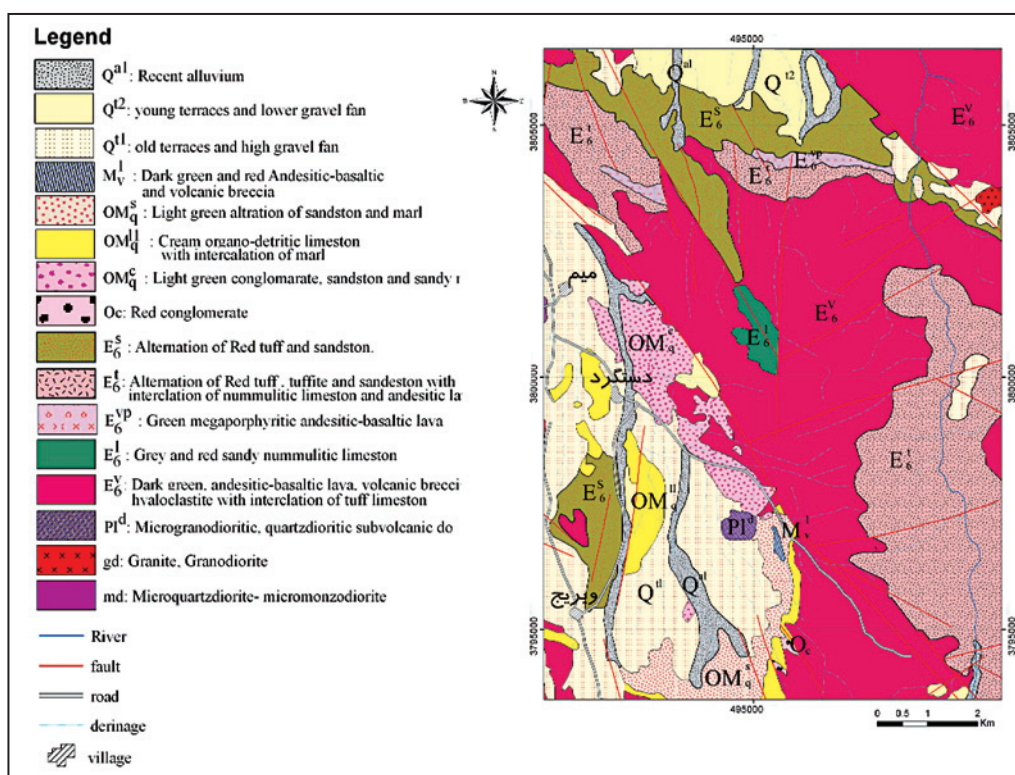
۵- نتیجه گیری

با توجه به اینکه سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک به صورت گنبد در امتداد گسل میم در حالیکه واحدهای آندزیت-بازالتی ائوسن بالایی (E_6^v) را قطع نموده‌اند رخنمون دارند، تصور بر این است مربوط به پس از ائوسن باشند. از دید رده‌بندی ژئوشیمیایی این سنگ‌ها در محدوده ریولیت، تراکیت و ریوداسیت قرار گرفته و متعلق به سری ساب‌آلکان و از نوع کالک‌آلکان هستند. بر اساس ترکیب شیمیایی سنگ‌های ریولیتی، می‌کا و گارنت موجود در سنگ‌های ریولیتی (پس از ائوسن)، ماگمای به‌وجودآورنده پرآلومین است که ماگماهای برخوردی و نوع S را نیز شامل می‌شود. همچنین حضور انحصاری درشت‌بلور گارنت در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک نیز نشانگر منشأ ذوب‌بخشی پوخته است. با توجه به نمودارهای عنکبوتی به‌نظر می‌آید که پوخته بالایی در منشأ آنها بی‌تأثیر نباشد. همچنین با توجه به جایگیری گنبد‌های ریولیتی در امتداد گسل امتدادلغز میم و نقش پوخته در تشکیل این سنگ‌ها می‌توان دریافت که گسل میم می‌تواند در جایگیری و صعود ماگمای ریولیتی مؤثر باشد. پیامد همگرایی ورقه عربستان و ایران تشکیل نوار ماگمایی ارومیه-دختر و فعالیت‌های ماگمایی گسترده در سنوزویک است، با در نظر گرفتن شواهد گفته شده مبنی بر منشأ ماگمای پرآلومین و تاریخچه فعالیت‌های ماگمایی گسترده در تشریری، می‌توان دریافت ماگماتیسیم یادشده در ایجاد شرایط مناسب برای ذوب بخشی پوخته مؤثر است. با توجه به اینکه سن نسبی سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک فقط بر اساس مشاهدات صحرایی پس از ائوسن در نظر گرفته شده است و همچنین در مورد زمان تصادم دو ورقه عربستان و ایران نظرات متفاوتی وجود دارد. بنابراین نگارنده با توجه به شواهد سنگ‌نگاری، ژئوشیمیایی و مطالعات پیشین تنها به بررسی خاستگاه سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک پرداخته و در مورد زمان تصادم اظهارنظر نمی‌نماید.

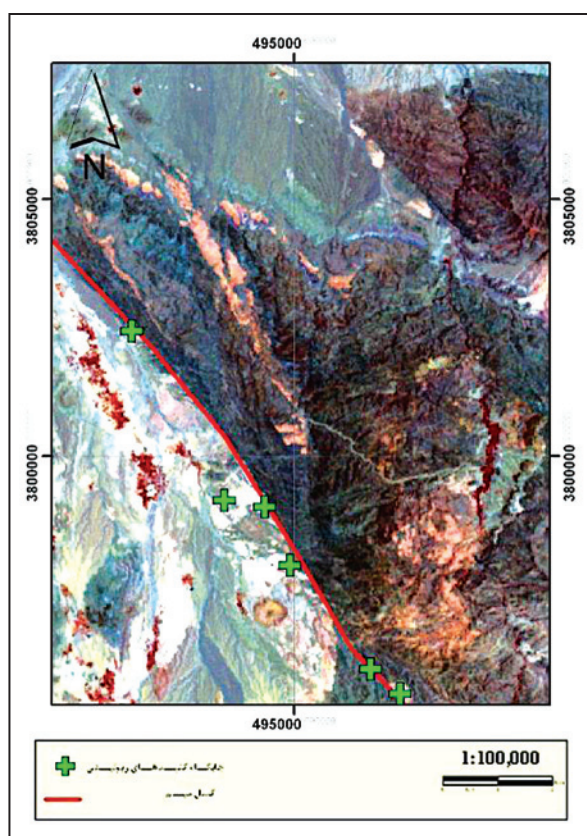
اساس ترکیب شیمیایی میکای موجود در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک خاستگاه سنگ‌های ریولیتی، ماگمای به‌وجودآورنده پرآلومین است که ماگماهای برخوردی و نوع S را نیز شامل می‌شود.

۴-۲. نمودار عنکبوتی

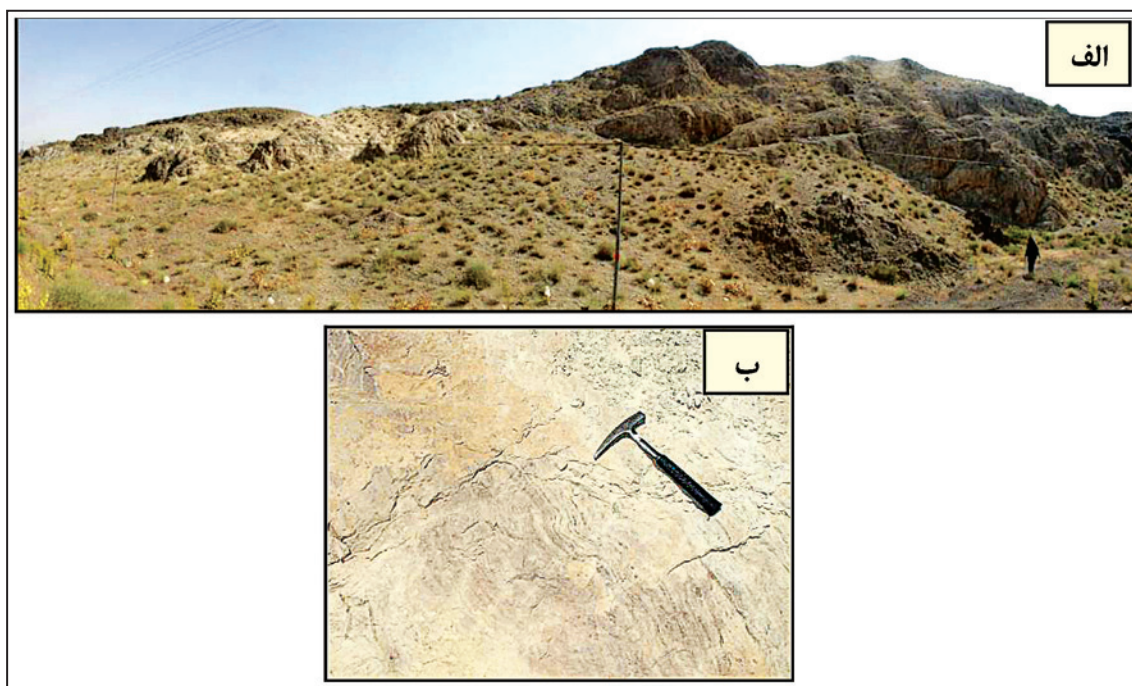
الگوی توزیع عناصر کمیاب در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک، پوخته بالایی (Taylor & McLennane, 1985) و پوخته پایینی (Weaver & Ternery, 1984) بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک به طور کلی غنی‌شدگی از عناصر LIL و به سمت عناصر HFS غنی‌شدگی کمتر می‌شود. تقعر Sr نتیجه تبلور بخشی پلاژیوکلاز و جدایش این کانیها از ماگمای فلسیک تصور میشود. تهی‌شدگی در عناصر Ti و Nb و تمرکز بالای عناصر متحرک می‌تواند نشانگر آلاش پوخته‌ای باشد (Rollinson, 1993). سنگ‌های منطقه همخوانی بسیار خوبی با ترکیب پوخته بالایی نشان می‌دهند، اما بین سنگ‌های منطقه و پوخته زیرین همخوانی خوبی وجود ندارد. بنابراین نقش پوخته بالایی قاره‌ای در تشکیل سنگ‌های منطقه مسجل میشود. از دیگر دلایل پذیرش آن پرآلومین (S-type) بودن ماگمای به‌وجود آورنده بر اساس ترکیب شیمیایی سنگ‌های ریولیتی، میکا و گارنت موجود در سنگ‌های ریولیتی (پس از ائوسن) است. همچنین حضور انحصاری گارنت در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک و به صورت اولیه (درشت‌بلور)، می‌توان دریافت که ماگمای به‌وجود آورنده ریولیت‌های گارنت‌دار (پس از ائوسن) منطقه کهک نمی‌تواند حاصل تبلور بخشی ماگمای بازیک باشد و بنابراین حاصل ذوب بخشی پوخته است که در امتداد گسل میم فوران کرده است. با در نظر گرفتن شواهد یادشده و تاریخچه فعالیت‌های ماگمایی گسترده در تشریری، به نظر می‌رسد ماگماتیسیم یادشده منجر به بالا رفتن گرادیان زمین‌گرایی منطقه و ایجاد شرایط ذوب بخشی پوخته شده است.



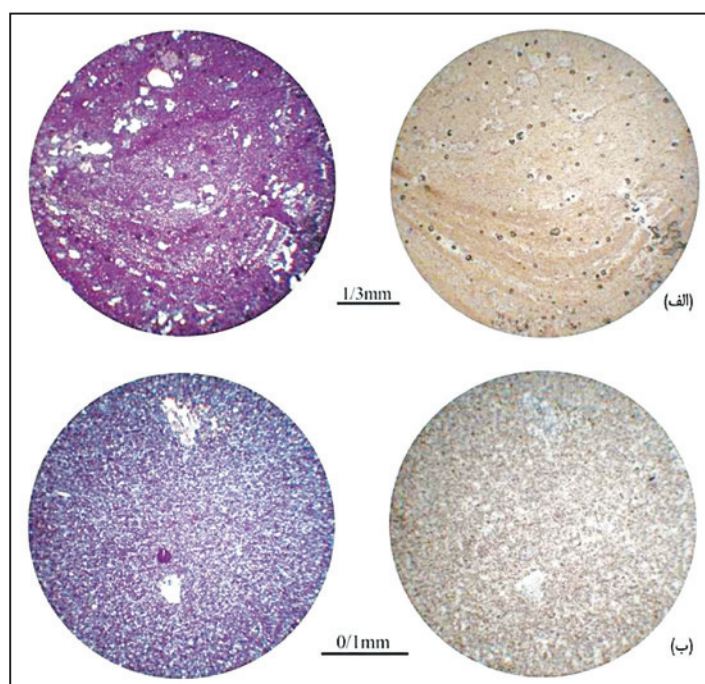
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کهک).



شکل ۲- موقعیت گنبد های ریولیتی و گسل میم را در تصویر ماهواره‌ای لندست باند ترکیبی ۵،۳،۱ نشان می‌دهد.

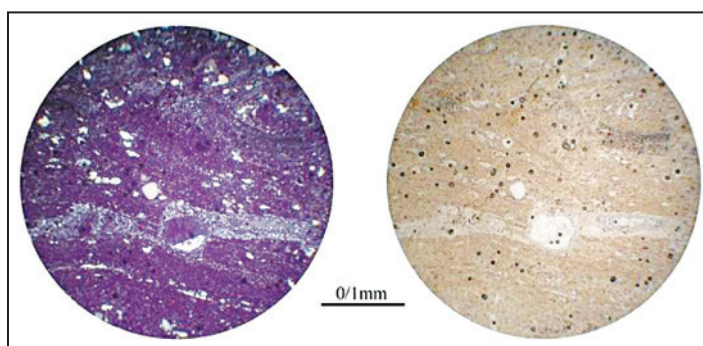


شکل ۳- الف) نمایی از نحوه قرارگیری واحد ریولیتی در واحد E_6^v را نشان می‌دهد (جهت دید شمال)؛ ب) نواربندی جریانی در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک.

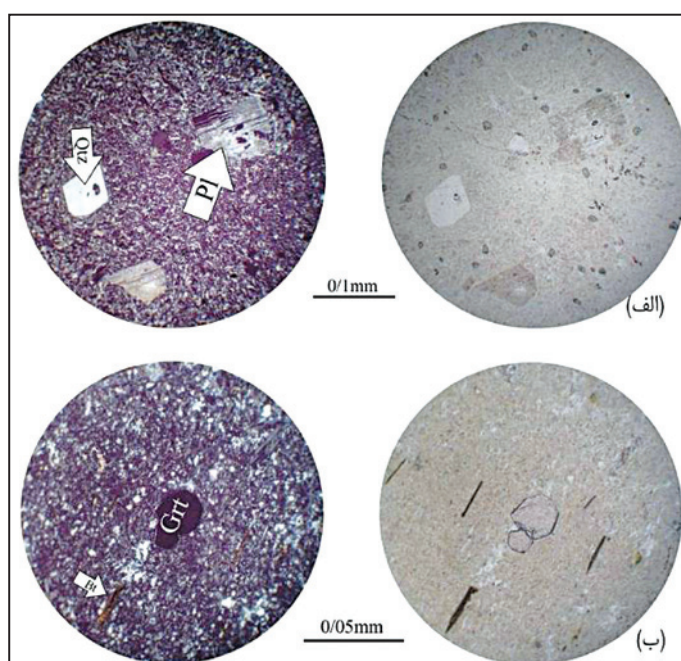


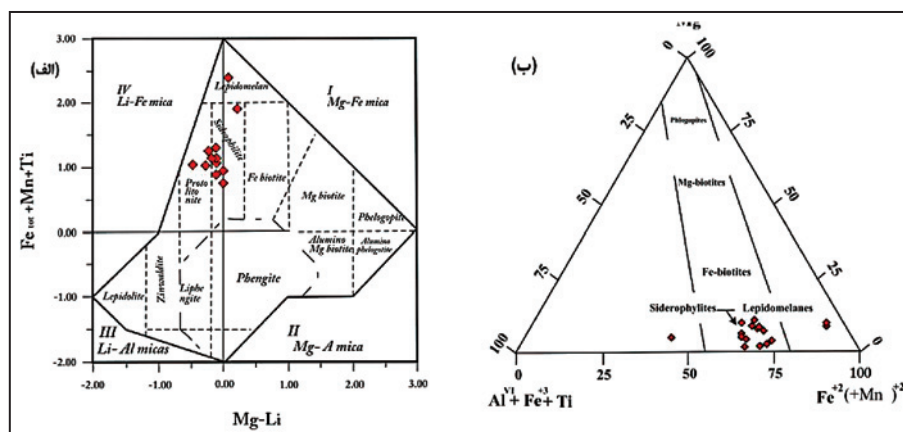
شکل ۴- الف) ساخت نواربندی جریان؛ ب) بافت پورفیری (مطالعه در نور PPL تصاویر سمت راست و XPL تصاویر سمت چپ).

شکل ۵- خطوط جریان که در برابر اجزای بزرگ چین خورده و جهت جریان مشخص می شود (مطالعه در نور PPL تصاویر سمت راست و XPL تصاویر سمت چپ).

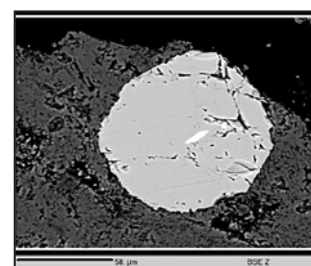
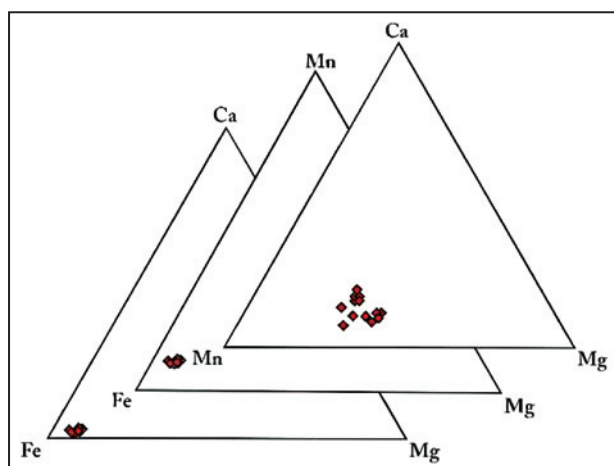


شکل ۶- الف) کانی های پلاژیوکلاز، گردشگری کانی کواتز و آلکالی فلدسپار؛ ب) کانی های گارنت و بیوتیت (مطالعه در نور PPL تصاویر سمت راست و XPL تصاویر سمت چپ).



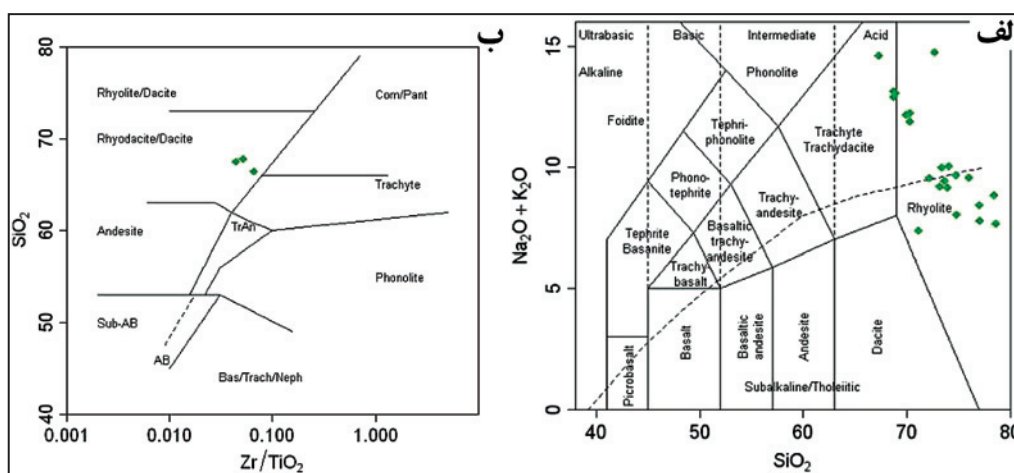


شکل ۷- رده‌بندی میکا در سنگ‌های ریولیتی کهک در (الف) نمودار (1997) Tischendorf و (ب) نمودار (1960) Foster.

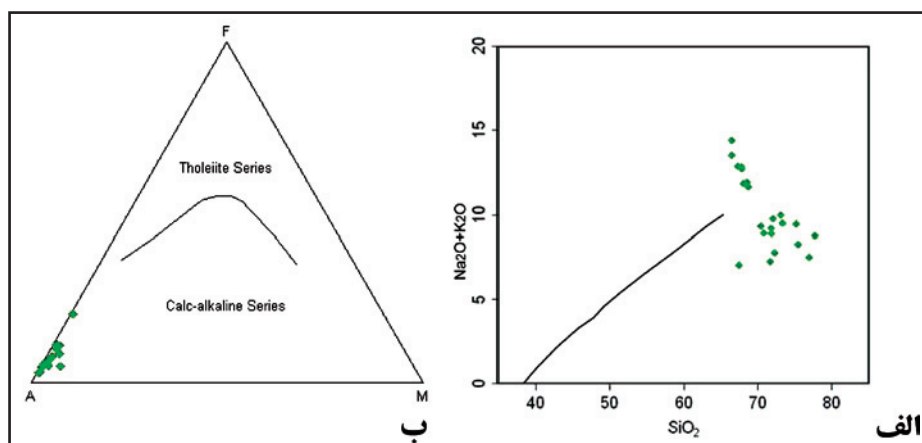


شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی BSE از گارنت و ادخال تیتانومنیت.

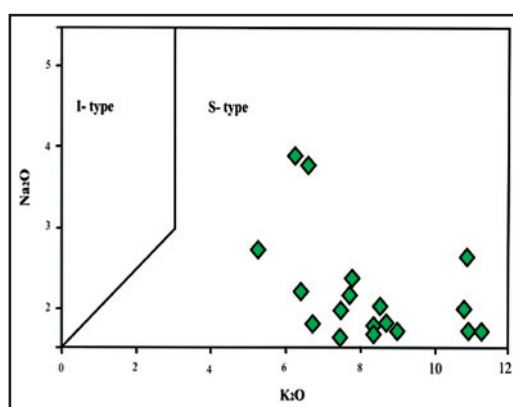
شکل ۹- ترکیب سه نمونه از گارنت در سنگ‌های فلسیک منطقه.



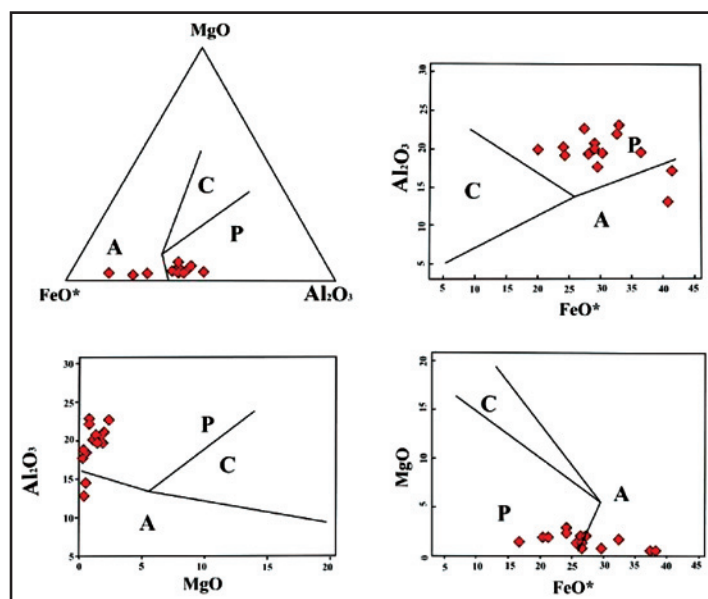
شکل ۱۰- موقعیت سنگ‌ها را در نمودار (الف) (LeBas et al., 1986) TAS و (ب) (1977) Winchester & Floyd.



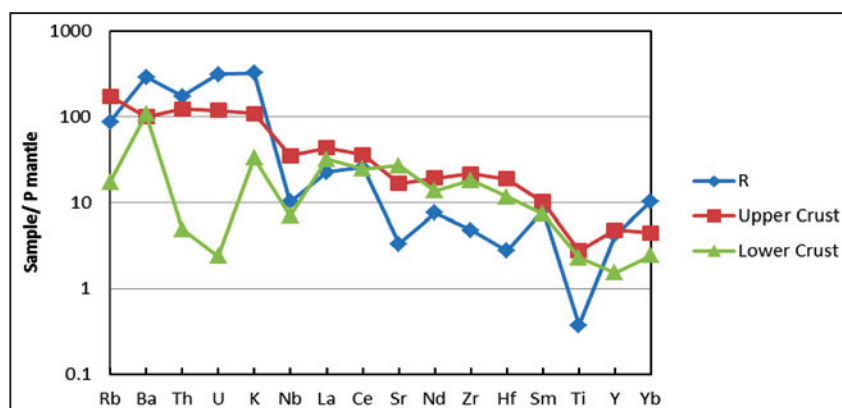
شکل ۱۱- الف) نمودار سیلیس در برابر مجموع آلکالن. الف) (Irvin & Baragar, 1971) ب) نمودار AFM (Irvin & Baragar, 1971) و موقعیت سنگ‌های ساب‌آلکالن منطقه در آن.



شکل ۱۲- موقعیت نمونه‌های سنگی ریولیتی در نمودار $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ (Chappl & White, 1974).



شکل ۱۳- جایگاه میکاهای سنگ‌های ریولیتی در نمودارهای (Abdel- Rahaman (1994).



شکل ۱۴- الگوی توزیع عناصر کمیاب در سنگهای ریولیتی منطقه کهک، پوسته بالایی (Taylor & McLennane, 1985) و پوسته پایینی (Weaver & Ternery, 1984) بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989).

جدول ۱- نتایج آنالیز نقطه‌ای سه نمونه گارنت در سنگ‌های ریولیتی منطقه کهک.

Garnet													
Sample	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a	9a	1b	2b	3b	1c
SiO ₂	34.94	35.31	34.64	34.69	34.89	34.96	35.18	34.76	35.41	35.12	35.04	35.52	35.92
TiO ₂	0.11	0.06	0.12	0.1	0.03	0.02	0.07	0.01	0	0.11	0.11	0.17	0.06
Al ₂ O ₃	20.27	19.66	19.9	20.52	19.38	19.5	22.08	20.04	20.11	19.48	19.22	20.42	19.54
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	33.83	36.42	36.68	36	35.82	35.81	36.8	36.46	35.47	34.26	35.14	35.37	35.11
MnO	3.94	3.83	3.8	3.93	3.98	3.83	4.02	4.03	3.79	4.03	3.81	3.78	3.85
MgO	1.79	1.45	1.21	1.25	1.33	1.23	1.09	1.18	1.2	1.69	1.83	1.73	1.75
CaO	0.58	0.55	0.84	1	1.07	1.1	0.69	0.41	0.54	0.5	0.66	0.63	0.61
Na ₂ O	0	0	0	0.03	0.11	0	0.07	0.03	0.04	0	0.35	0.02	0
K ₂ O	0.04	0	0	0.05	0	0	0	0.03	0	0.04	0.03	0.05	0.03
totals	97.17	98.95	98.85	99.23	98.29	98.12	101.7	98.61	98.21	97.24	98.2	99.71	97.79
Cations													
Si	2.938	2.947	2.905	2.888	2.937	2.944	2.852	2.917	2.96	2.962	2.942	2.924	3.005
Ti	0.007	0.004	0.007	0.006	0.002	0.001	0.005	0.001	0	0.007	0.007	0.011	0.004
Al	2.01		1.967	2.015	1.924	1.936	2.111	1.983	1.983	1.937	1.903	1.982	1.927
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe ²⁺	0.105	0.104	0.105	0.104	0.105	0.105	0.101	0.105	0.105	0.128	0.128	0.125	0.059
Fe ³⁺	2.379	2.541	2.572	2.507	2.522	2.522	2.495	2.559	2.48	2.417	2.467	2.435	2.457
Mn	0.281	0.271	0.27	0.277	0.284	0.273	0.276	0.287	0.268	0.288	0.271	0.264	0.272
Mg	0.224	0.181	0.151	0.155	0.167	0.155	0.132	0.147	0.15	0.212	0.228	0.212	0.219
Ca	0.052	0.05	0.076	0.089	0.097	0.099	0.06	0.036	0.048	0.045	0.059	0.055	0.055
Na	0	0	0	0.004	0.018	0	0.011	0.005	0.006	0	0.057	0.003	0
K	0.004	0	0	0.005	0	0	0	0.003	0	0.004	0.003	0.005	0.003
totals	8	8.031	8.052	8.051	8.056	8.035	8.043	8.043	7.999	8	8.066	8.016	8
and members													
Alm	0.78	0.81	0.81	0.8	0.79	0.8	0.81	0.82	0.81	0.78	0.78	0.79	0.8
Spss	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Pyr	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.07	0.07	0.07	0.07
And	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02
Grs	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02

Biotite																			
Sample no	1a	1b	1c	2c4	3c5	1d	1e	2a	3a	4a	1f	2f	3f	4f	5f	6f	1h	2h	1i
SiO ₂	36.7	40.8	38	30	39	37.4	37.6	37.8	36	37.9	38.6	31.7	39.5	24.4	38.4	37.6	15.1	32.2	37.4
TiO ₂	0	0.1	0.09	0.06	0.08	0	0.08	0.02	0.03	0.01	0.02	0.15	0.06	0.08	0.04	0	0.02	0.03	0.01
Al ₂ O ₃	18.8	19.5	19.3	12.7	17.2	21.8	18.8	18.8	21.9	19.1	20.1	16.7	21.4	17.4	19.2	19.7	10.8	19.9	19.2
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	24.6	19.9	24	34.9	23.3	21.4	22.1	24.1	26.9	24.3	23	35.6	26.7	46.9	22.8	23	58.8	29.8	23.5
MnO	3.09	2.61	3.19	1.07	0.65	2.73	3.29	3.31	0.63	3.46	3.08	0.93	0.98	0.96	2.56	3.55	1.18	4.01	3.3
MgO	1.56	1.25	1.8	0.39	0.46	2.45	2.15	1.52	0.77	1.76	1.85	0.31	0.34	0.09	1.35	1.9	0.02	1.61	1.55
CaO	1.3	1.06	0.73	0.57	6.24	1.31	0.93	0.54	0.62	0.1	0.14	0.07	0.18	0.11	0.11	0.47	0.19	0.48	0.48
Na ₂ O	0.4	0.38	0.4	0.39	0.48	0.26	0.41	0.39	0.42	0.22	0.27	0.17	0.29	0.19	0.17	0	0	0.23	0.27
K ₂ O	7.63	8.57	8.04	6.05	5.56	8.25	8.32	8.05	8.69	8.14	8.21	6.88	8.41	5.12	8.68	8.58	3.35	7.17	8.53
totals	94.1	94.2	95.5	92.9	99.8	102	101	101	103	102	102	99.3	105	102	100	102	96.3	102	101
Cations																			
Si	2.91	3.12	2.94	2.62	2.91	2.71	2.81	2.81	2.65	2.81	2.82	2.55	2.82	2.05	2.86	2.78	1.51	2.47	2.79
Ti	0	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0
Al	1.75	1.76	1.77	1.31	1.51	1.86	1.66	1.65	1.9	1.66	1.73	1.59	1.8	1.72	1.69	1.72	1.28	1.8	1.69
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe-3	0	0	0	0.45	0.38	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.42	0.37	0.43	0.38	0.38	0.52	0.4	0.38
Fe-2	1.63	1.27	1.55	2.55	1.45	1.3	1.38	1.5	1.66	1.5	1.41	2.4	1.59	3.29	1.42	1.42	4.94	1.91	1.47
Mn	0.21	0.17	0.21	0.08	0.04	0.17	0.21	0.21	0.04	0.22	0.19	0.06	0.06	0.07	0.16	0.22	0.1	0.26	0.21
Mg	0.18	0.14	0.21	0.05	0.05	0.27	0.24	0.17	0.09	0.19	0.2	0.04	0.04	0.01	0.15	0.21	0	0.19	0.17
Ca	0.11	0.09	0.06	0.05	0.5	0.1	0.07	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04	0.04
Na	0.06	0.06	0.06	0.07	0.07	0.04	0.06	0.06	0.06	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.03	0	0	0.04	0.04
K	0.77	0.84	0.8	0.68	0.53	0.76	0.79	0.77	0.82	0.77	0								

sample no.	KN24	KN27	KN29	A1	A3	A5	S1	S2	C1	C3	C4	D1	D3	S4	S5	S7	S6	M	S8	S9	S10	S3
SiO2	67.48	66.47	67.81	67.33	67.85	68.54	68.07	68.75	70.44	70.8	71.69	77.7	72.28	73.34	71.86	71.78	76.92	72.07	75.47	73.13	75.16	66.48
TiO2	0.1	0.1	0.1	0.062	0.039	0.035	0.039	0.031	0.032	0.053	0.026	0.026	0.026	0.03	0.031	0.037	0.029	0.029	0.03	0.024	0.028	0.037
Al2O3	11.86	16.18	16.03	16.1	16.55	14.59	14.7	15.02	15.64	13.95	10.38	9.22	14.07	13.38	14.17	12.78	9.97	13.43	11.44	13.76	12.59	10.06
MgO	0.4	0.37	0.35	0.16	0.09	0.13	0.11	0.06	0.21	0.12	0.11	0.05	0.14	0.09	0.15	0.07	0.16	0.11	0.08	0.34	0.07	0.05
Fe2O3	0.42	0.42	0.28	0.58	0.43	0.45	0.43	0.4	0.55	0.69	0.48	0.46	0.97	0.55	0.84	2.62	1.04	1.4	0.58	1.06	0.63	0.41
CaO	7.44	0.6	0.76	0.78	0.92	1.79	2.05	1.83	1.27	2.14	3.05	2.78	1.3	1.15	1.19	0.92	2.16	0.42	2.05	0.53	0.93	0.86
Na2O	1.75	1.62	1.62	0.35	0.28	0.31	0.69	0.32	0.44	0.36	0.42	0.18	0.17	0.73	0.99	1.24	1.01	3.4	0.64	3.28	0.33	0.47
K2O	5.26	12.8	11.24	12.52	12.44	11.61	11.16	11.32	8.89	8.55	6.81	8.58	7.59	8.76	7.9	7.94	6.49	6.36	7.62	6.69	9.12	13.03
MnO	0.1	0.1	0.1	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.011	0.018	0.016	0.008	0.011	0.001	0.008	0.017	0.016	0.009	0.011	0.008	0.002	0.001
P2O5	0.1	0.11	0.1	0.095	0.104	0.084	0.088	0.098	0.096	0.085	0.068	0.064	0.073	0.071	0.083	0.087	0.055	0.077	0.075	0.87	0.076	0.084
total	94.91	98.77	98.39	97.98	98.7	97.54	97.33	97.84	97.58	96.75	93.08	99.07	96.63	98.1	97.22	97.49	97.85	97.31	98	99.69	98.94	91.48
Ni	3.2	11.4	0.5																			
Rb	43.8	55.8	67.3																			
Sr	66.8	79.5	64.1																			
Y	23.9	19.7	13.6																			
Cr	4.3	2.7	1.3																			
Zr	44	65.8	51.9																			
Tb	-	-	-																			
Yb	0.9	0.7	13.6																			
Eu	0.1	0.1	0.1																			
Sc	4.7	5.6	4																			
Cu	32.3	71	46.7																			
Co	1.6	5.7	8.5																			
Zn	2.4	9	10																			
Cs	62.1	65.2	71.6																			

کتابنگاری

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۸ ص.
امامی، م. ه.، ۱۳۷۰- شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش قم ۱:۲۵۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۲۰۰ ص.
بهاری‌فر، ع. ا.، ۱۳۸۵- گزارش پایانی عملیات اکتشافی معدن خاک صنعتی دستگرد قم، شرکت رنگین پودر غدیر (منتشر نشده).
بهاری‌فر، ع. ا.، ۱۳۸۸- شیمی میکا در ریولیت‌های منطقه کهک، قم و کاربرد آن در بررسی خاستگاه سنگ‌های منطقه، سومین همایش تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور.
عسکری، ن.، امامی، م. ه.، خیرخواه، م. و خداییان چگنی، ز.، ۱۳۸۹- مینرال شیمی و منشأ گارنت در ریولیت‌های کهک (جنوب خاور قم)، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
قلمقاش، ج.، بحرودی، ع.، فنودی، م.، باباخانی، ع. ر. و امامی، م. ه.، ۱۳۷۴- نقشه ۱:۱۰۰۰۰ کهک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Abdel-Rahman, A. M., 1994- Nature of biotite from alkaline, calc-alkaline, and peraluminous magmas. *J. Petrol*, 35, 525-541.
- Birch, W. D. & Gleadow, A. J. D., 1974- The genesis of garnet and cordierite in acid volcanic rocks: Evidence from the Ceberan Cauldron, central Victoria, Australia. *Contrib Mineral Petrol* 45:1-13
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1974- Two contrasting granite types. *Pacific Geol* 9:173-174
- Clemens, J. D. & Wall, V. J., 1984- Origin and evolution of a peraluminous silicic ignimbrite suite: the Violet Town Volcanics. *Contrib Mineral Petrol* 88:354-371
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J., 1982- *Rock-Forming Minerals*. (Volume 1A, 2nd ed, Orthosilicates), Longman, London. 919pp.
- Fink, J. H. & Anderson, S. W., 2000- *Lava Domes & Coulees*, Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press
- Foster, M. D., 1960- Interpretation of the composition of trioctahedral micas. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 354B, 1-49
- Harangi, S. Z., Downes, H., Kósa, L., Szabó, C. S., Thirwall, M. F., Mason, P. R. D. & Matthey, D., 2001- Almandine garnet in calc-alkaline volcanic rocks of northern Panonnian basin (east-central Europe): geochemistry, petrogenesis and geodynamic implications. *J Petrol* 42:1813-1843
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- a guide to the chemical classification of the common volcanic rocks, *Can. J. Earth Sci.*, 8, 523-48.
- Kawabata, H. & Takafuji, N., 2005- Origin of garnet crystals in calcalkaline volcanic rocks from the Setouchi volcanic belt, Japan. *Mineral Mag* 69:159-179
- LeBas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckiesen, A. & Zannetin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, Vol. 27, 745-750.
- Menuge, J. F., Brewer, T. S. & Seeger, C. M., 2002- Petrogenesis of metaluminous A-type rhyolites from the St Francois Mountains, Missouri and the Mesoproterozoic evolution of the southern Laurentian margin. *Precambrian Research* 113(3-4): 269-291.
- Mirnejad, H., Blourian, G. H., Kheirikhah, M., Akrami, M. A. & Tutti, F., 2008- Garnet-bearing rhyolite from Deh-Salm area, Lut block, Eastern Iran: anatexis of deep crustal rocks, *Miner Petrol*.
- Rollinson, H. R., 1993- Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Sampson, E. 1932, Magmatic chromite deposits in southern Africa. *Economic Geology*, 27, 113-44.
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds., *Magmatism in Ocean Basins*. Geol. Soc. Spec. Publ., London, pp. 313-345.
- Taylor, S. R. & McLennar, S. M., 1985- *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell, Oxford.
- Tischendorf, G., Gottesmann, B., Förster, H. J. & Trumbull, R. B., 1997- On Li-bearing micas: estimating Li from electron microprobe analysis and an improved diagram for graphical representation. *Mineral Mag* 61: 809-834
- Vernon, R. H., 2004- *A practical guide to rock microstructure*, Cambridge, p.594.
- Weaver, B. L. & Terney, J., 1984- Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. *Nature*, 310, 575- 57.
- Winchester, J. A. & Floyd, P. A., 1977- geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 20, 325-343.
- Zeck, H. P., 1970- An erupted migmatite from Cerro de Hoyazo, SE Spain. *Contrib Mineral Petro* 26:225-246.

Interpretation of Geophysical Survey (IP/RS) in Hired Gold Prospecting Area Using Geology, Alteration and Mineralization Data

A. Askari ^{1*}, M. H. Karimpour ², S. A. Mazaheri ³ & A. Malekzadeh ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Received: 2012 June 16

Accepted: 2012 November 19

Abstract

The Hired gold prospect area is located in the Southern Khorasan province and 140 Km south of the Birjand city. The Acidic to mafic intrusive bodies with gabbro to granite composition have intruded into the Tertiary volcano-sedimentary sequences. Based on magnetic susceptibility, the intrusives are divided into two categories: magnetite (oxidized) and ilmenite (reduced) series. The important alterations recognized on land surface and bore holes consist of: 1) quartz-tourmaline-sericite alteration, 2) carbonation alteration, 3) skarnization, and 4) propylitic alteration. Au and accompany elements mineralization (W, Sn, Bi, As, Sb, Pb, Zn, Ag) have formed as replacement, disseminate, vein-veinlet, massive, breccias, and skarn related to reduced granitic-granodioritic intrusive bodies and with different distance as compared with the bodies. Geological, mineralization, petrographical, mineralogical and alteration studies of the Hired gold deposit and comparison with the characteristics of different types of gold mineralization in the world indicate that this deposit has the most similarity with reduced intrusion-related gold systems (RIRGS). Since In this system, the most of gold reserve is accompanied with sulfide minerals and they form in roof of the reduced granitoid stocks and adjacent hornfels rocks, The IP- RS geophysical methods on reduced granitoid intrusive body and near regions was executed with the aim of recognition of hidden parts. Combination of geophysics data (IP, RS) with geological, alteration, and mineralization studies shows well development mineralization in the east of intrusive body and the country rocks. In this relation, 6 anomalous regions has been defined with Chargeability up to 30 mv/v that on the whole, they can be divided into two groups: 1) anomaly with high induced polarization and low specific resistivity resulting from presence of much metallic sulfurs as disseminate, veinlet, and massive accompanied with high sericitic alteration, 2) anomaly with high induced polarization and medium-high specific resistivity resulting from presence of much metallic sulfurs as disseminate and very high carbonation-silicic alteration.

Keywords: Hired, Gold, Reduced Intrusion-Related Gold Systems, Geophysical Exploration

For Persian Version see pages 235 to 246

*Corresponding author: A. Askari; E-mail: askari_48@yahoo.com