

سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه خاور هریس، آذربایجان شرقی - شمال باختر ایران

نویسنده: علی عامری*، ناصر اشرفی* و حسین کریمی قره بابا*

*دانشگاه تبریز، گروه زمین‌شناسی، تبریز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۱/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۸/۱۰

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال‌باختر ایران و در حدود ۲۰ کیلومتری خاور هریس واقع شده و بخشی از زون البرز-آذربایجان می‌باشد. وجود گنبد‌های گدازه به همراه جریان‌های سستبر گدازه، برش و لایه‌های ایگنمبریتی، نشان‌دهنده یک مرکز فوران مهم در این منطقه می‌باشد. سن آتشفشانی‌های مورد مطالعه ائوسن زیرین-میانی بوده و سنگ‌های گرانیتوئیدی نوع I با سن ائوسن پسین این مجموعه را همراهی می‌کنند. محلول‌ها و سیال‌های گرمایی حاصل از این گرانیتوئیدها که ارتباط ژنتیکی با سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی دارند در برخی نواحی باعث دگرسانی آنها و در نتیجه باعث کانه‌زایی‌های فلزی شده‌اند. براساس رده‌بندی شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه شامل آندزیت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت می‌باشد. بافت این سنگ‌ها پورفیری، میکروولیتی پورفیری و هیالومیکروولیتی بوده و درشت بلورهای آنها اغلب پلاژیو کلاز، فلدسپار قلیایی، اوژیت، هورنبلند و بیوتیت است. بافت‌های غربالی و دگرسانی انتخابی در پلاژیو کلازها، وجود بیوتیت‌ها و هورنبلند‌های با حواشی سوخته به همراه سایر بافت‌های غیرتعادلی از ویژگی‌های بارز این سنگ‌هاست. نمودارهای SiO_2 در برابر $Na_2O + K_2O$ ، AFM ، SiO_2 در برابر K_2O نشان می‌دهد که این سنگ‌ها همانند گرانیتوئیدهای همراه، کلسیمی-قلیایی پتاسیم متوسط تا بالا هستند. ویژگی‌های شیمیایی سنگ‌های مورد بررسی حاکی از غنی‌شدگی آنها در زون‌های فروارانشی یا آرایش پوسته‌ای بوده و روند غنی‌شدگی درون صفحه‌ای را نشان نمی‌دهند. ترسیم نمونه‌ها در نمودارهای Rb/Ba در برابر Ti/Y و Nb/Zr در برابر Nb نشان می‌دهد که شیمی این سنگ‌ها بیشتر توسط تبلور تفریقی کنترل شده و نقش آمیختگی ماگمایی در تحول این سنگ‌ها محسوس نبوده است. ترسیم نمونه‌های مورد بررسی در نمودارهای متمایزکننده محیط زمین‌ساختی بازالته‌ها و آندزیت‌ها که بر اساس عناصر Th, Ti, Zr, Nb, Sr استوارند حاکی از تعلق آنها به کمان‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی است. همچنین مقایسه الگوهای عناصر ناسازگار و سازگار کیمیا سنگ‌های آندزیتی مورد بررسی با انواع موجود در محیط‌های زمین‌ساختی مشخص، بیانگر تطابق زیادتر آنها با کمان‌های آتشفشانی، بویژه با انواع موجود در محیط‌های پس‌برخوردی می‌باشد.

کلید واژه‌ها: هریس، آندزیت، بافت‌های غیرتعادلی، آتشفشانی کلسیمی-قلیایی، کشش‌های پوسته‌ای ائوسن

مقدمه

سنگ‌های دارای دگرسانی از پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. کانی‌های مجازی (Norm) به روش CIPW و با استفاده از نرم افزار Newpet تعیین شده‌اند.

مطالعات صحرایی

سنگ‌شناسی عمده منطقه مورد مطالعه عبارت است از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن، سنگ‌های نیمه ژرف و درونی ائوسن بالایی و به طور محدودتر سنگ‌های آتشفشانی دوره کواترنری (شکل ۱). سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی که روی سازند مجیدآباد (پالوسن-ائوسن زیرین) نهشته شده و معادل سازند کرج است، شامل آندزیت، توف، آگلومریت و به مقدار کمتر ایگنمبریت هستند. وجود گنبد‌های گدازه در این منطقه به همراه جریان‌های سستبر گدازه و برش و لایه‌های ایگنمبریتی، نشان‌دهنده یک مرکز فوران مهم است (باباخانی و همکاران، ۱۳۶۹). سنگ‌های درونی و نیمه ژرف منطقه بیشتر شامل دیوریت و گرانودیوریت با روند تقریبی E-W هستند که به صورت ارتفاعاتی با شیب ملایم دیده می‌شوند (عامری و همکاران، ۱۳۸۵). با توجه به شواهدی همچون وجود آپوفیزها (apophysis) و دایک‌هایی از سنگ‌های گرانیتوئیدی در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و ایجاد دگرسانی گرمایی در آنها می‌توان گفت که این سنگ‌های گرانیتوئیدی در سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه نفوذ کرده است. از طرفی تغییرات شدیدی در اندازه دانه و بافت سنگ‌های گرانیتوئیدی دیده می‌شود که نشانگر جایگیری آنها در ژرفای کم و ارتباط آنها با سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی است. در اغلب سنگ‌های گرانیتوئیدی میانبارهای دانه‌ریز مافیکی دیده می‌شود، که در بحث آمیختگی ماگمایی، این میانبارها را به عنوان قطره‌های ماگمایی مافیکی در مذاب فلسیک در زمان آمیختگی دو ماگما در نظر می‌گیرند (Dorais et al., 1990). آثار

منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی $38^{\circ} 11'$ و $38^{\circ} 14'$ شمالی محدود بوده و در استان آذربایجان شرقی قرار دارد. این محدوده بر اساس زون‌بندی نوی (۱۳۵۵) در زون البرز-آذربایجان و بر اساس (Alavi et al. 1997) در نوار ماگمایی البرز واقع است، از ویژگی‌های این زون‌ها می‌توان به تغییرات قابل ملاحظه در سری ماگمایی (قلیایی-کلسیمی-قلیایی-شوشنیتی) بویژه در زمان ائوسن-ایگوسن اشاره کرد. در این نوشتار، به برخی ویژگی‌های صحرایی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی بخشی از این آتشفشانی شدید ائوسن در شمال‌باختر کشورمان پرداخته می‌شود. در این محدوده، سنگ‌های گرانیتوئیدی نیز مشاهده می‌شوند که از نظر سنگ‌شناسی، ارتباط تنگاتنگی با این سنگ‌های آتشفشانی دارند. گذشته از اهمیت بررسی سنگ‌شناختی، وجود دگرسانی گرمایی و کانی‌سازی‌های فلزی مربوط به آن، بر اهمیت بیشتر بررسی این محدوده افزوده است. رساله کارشناسی ارشد کریمی (۱۳۸۳)، و کارهای اکتشافی شرکت مس ایران با عنوان کانسار مس پورفیری سوناجیل از پیشینه‌های مطالعاتی منطقه به شمار می‌آیند.

در این مطالعه، با کمک عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه و با استفاده از نتایج حاصل از پیمایش‌های صحرایی و مطالعات سنگ نگاری نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۱). از بین نمونه‌های سنگی، ۱۵ نمونه دارای کمترین دگرسانی به روش فلورسانس پرتو ایکس (XRF) تجزیه، و سپس مقادیر FeO و Fe_2O_3 آنها به روش (Irvine & Baragar 1971) و (Le Maitre 1989) محاسبه شده است. در این مطالعه، برای شناسایی و بررسی کانی‌های سنگ‌ساز و ویژگی‌های سنگ‌شناختی سنگ‌ها، از میکروسکوپ پلاریزان و عدسی فدروف (4 axis universal stage)، و برای شناسایی کانی‌های موجود در

اسیدی، حل شده و بافت‌های غربالی را پدید می‌آورند (مانند شکل ۳-الف و ب)، که در نهایت قسمت‌های خورده شده در اثر واکنش کلسیک‌تری می‌شود. هنگامی که تبلور به پایان می‌رسد، بافت غربالی با رشد کردن پلاژیو کلاز شکل‌دار کلسیک‌تری پوشیده می‌شود. پلاژیو کلاز کلسیک‌تری همگام با سرد شدن ماگما در طی آمیختگی ماگمایی به رشد خود ادامه می‌دهد ولی رشد بلورهای شکل‌دار تر باعث سدیک شدن آن می‌شود (Shelley, 1993). هر چند ممکن است عمل انحلال ذکر شده معلول کاهش فشار وارده بر ماگما در طی صعود آن به سطح زمین نیز باشد (Pearce et al., 1987). در حالت دوم هنگامی که یک ماگمای مافیک با مذاب فلسیک ماگمای دو رگه (hybrid) را به وجود آورد، پلاژیو کلازهای سدیک‌تری را می‌سازد که در حاشیه پلاژیو کلازهای قدیمی یا به طور مجزا و جداگانه در متن سنگ قرار می‌گیرند. در نتیجه، عملکرد فرایندهای گرمایی پلاژیو کلازهای نسل اول (پلاژیو کلازهای ماگمای مافیک) زودتر واکنش داده، تجزیه می‌شوند و پلاژیو کلازهای نسل دوم به نسبت سالم باقی می‌مانند (دگرسانی انتخابی) (Shelley, 1993). در سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی، پلاژیو کلازها علاوه بر دوقلوبی آلبیتی و توام آلبیتی-کارلسباد، دوقلوبی درهم ریخته (chaotic twins) نیز نشان می‌دهند، رخداد اخیر، دلیل حاکم بودن شرایط ناعادلی در ترکیب شیمیایی ماگما بوده که می‌تواند بر اثر آمیختگی ماگمایی حاصل شود (Vernon, 1990).
پیروکسن: پیروکسن‌ها اغلب به صورت درشت‌بلور و نیمه شکل‌دار، و به رنگ سبز پریده دیده می‌شوند و دارای خواص نوری اوژیت هستند، و گاهی در آنها پدیده اورالیتی شدن دیده می‌شود:

$$n_g = 1.6932; n_p = 1.7162; 2V_z = 59^\circ; ZAC = 46^\circ$$

$$n_g = 1.6717; n_p = 1.6721; 2V_z = 59^\circ; ZAC = 42^\circ$$

در برخی از مقاطع نازک پیروکسن‌ها به صورت انباشتی دیده می‌شوند و بافت گلوپروفریری تشکیل داده‌اند، که علاوه بر بیان توقف ماگما در انباشتگاه ماگمایی در حین صعود، نشان‌دهنده تقدم تبلور کانی‌های اوژیت نسبت به دیگر کانی‌ها است (Shelley, 1993).
آمفیبول و میکا: آمفیبول‌ها به صورت درشت‌بلور و شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و دارای خواص نوری هورنبلند می‌باشند:

$$Z = \text{قهوه‌ای مایل به سبز}; X = \text{قهوه‌ای مایل به سرخ}; Y = \text{قهوه‌ای}; Z > Y > X$$

$$\text{علامت نوری منفی؛ ترتیب جذب: } Z > Y > X$$

$$n_g = 1.6563; n_p = 1.6518; n_r = 1.6803;$$

$$n_p - n_g = 0.029; 2V_x = 78^\circ; ZAC = -22^\circ$$

در اثر فرایندهای دگرسانی گرمایی اغلب هورنبلندها کلریتی شده، و به کانی‌های کلسیت، اکسیدهای آهن و اپیدوت تجزیه شده‌اند.

میکاهای دارای خواص نورانی زیر هستند:

$$\text{قهوه‌ای مایل به زرد}; X = \text{قهوه‌ای بسیار تیره}; Y \text{ یا } Z$$

$$\text{ترتیب جذب: } n_p = 1.685; Z = Y > X$$

که نشان‌دهنده کانی بیوتیت است. حضور هورنبلند و بیوتیت نشان از آبدار بودن ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی است. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که ماگماهای آندزیتی دارای هورنبلند، حداقل سه درصد آب در ترکیب داشته‌اند (Burnham, 1979). نکته قابل ذکر در خصوص این سازندگان آبدار، وجود هورنبلندهای با حواشی سوخته (هورنبلند بالزتی) و بیوتیت‌های کدر (opacity) یا تیره شده در تعدادی از نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳-پ و ت). این رخداد نشانگر برقراری شرایط ناپایدار برای این کانی‌ها در هنگام تبلور ماگمایی است و نوعی واکنش کانی با مذاب اطراف خود به شمار می‌رود. مذابی که این کانی با آن در تعادل ترکیبی قرار ندارد. چنین شرایط ناعادلی به علل مختلفی برای کانی‌های ذکر شده می‌تواند ایجاد شود. برای مثال خروج مواد فرار از ماگما در حین بالا آمدن به سطح، محدوده پایداری این دو کانی را کاهش می‌دهد و

دگرگونی همبری ناشی از نفوذ سنگ‌های گرانیتوئیدی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مشاهده نمی‌شود، که این امر، به احتمال، در ارتباط با اختلاف گرمایی اندک سنگ‌های گرانیتوئیدی با سنگ‌های آتشفشانی همبر و یا نفوذ سنگ‌های گرانیتوئیدی در ژرفای کم است. سنگ‌های آندزیت بالزتی و تراکی آندزیت به رنگ خاکستری تیره، ریزدانه، شیشه‌ای و فاقد درشت بلور و سنگ‌های آندزیتی که فراوان‌ترین سنگ آتشفشانی منطقه هستند به رنگ خاکستری و دارای درشت بلورهای پلاژیو کلاز و کانی‌های مافیک هستند. بارزترین ویژگی سنگ‌های آذرین منطقه (بعجز سنگ‌های آتشفشانی جوان) وجود دگرسانی گرمایی در آنهاست که در این میان سنگ‌های آتشفشانی و آذر آواری انوسن بیشترین دگرسانی را تحمل کرده‌اند. شکستگی‌ها و دره‌های گسلی زیادی در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود که محلول‌های ماگمایی حاصل از توده نفوذی باعث تشکیل رگه‌های سیلیسی، زون‌های خرد شده و شبکه استوک‌ورک (stockwork) در این سنگ‌ها شده است. مطالعات اکتشافی حاکی از وجود پتانسیل مس پورفیری (معدن سوناجیل) در منطقه است که در زون هیپوژن و شواهد تشکیل زون سوپرژن ضعیف در آن مشخص شده است. عمده‌ترین کانی‌سازی مس به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده و شامل کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت است (عطالو و همکاران، ۱۳۸۳).

نام‌گذاری و سنگ‌نگاری

با توجه به وجود بافت ریزدانه و شیشه‌ای در اغلب سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد بررسی، تشخیص و محاسبه درصد کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها در زیر میکروسکوپ و نامگذاری مودال آنها ناممکن است لذا برای نام‌گذاری این سنگ‌ها از رده‌بندی شیمیایی TAS (Total Alkali Silica) ارائه شده توسط (Le Maitre 1989) استفاده شده است (اکسیدهای اصلی مورد استفاده در جدول ۱ آمده است). بر این اساس، سنگ‌های آتشفشانی در محدوده آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بالزالت قرار می‌گیرند (شکل ۲a). بر اساس رده‌بندی (Winchester & Floyd 1977) بر مبنای عناصر جزئی (جدول ۲) که بیشتر برای سنگ‌های دگرسان شده به کار می‌رود، سنگ‌های مورد بررسی در محدوده آندزیت و آندزیت بالزالی قرار می‌گیرند (شکل ۲b).
 بافت عمومی سنگ‌های فوق پورفیری، میکروولیتی پورفیری و هیالومیکروولیتی است. زمینه این سنگ‌ها به نسبت‌های مختلف از شیشه، پلاژیو کلاز، فلدسپار قلیایی، کلینوپروکسن، بیوتیت، آمفیبول، کوارتز، آپاتیت و کانی‌های تیره تشکیل شده است. آپاتیت به صورت بلورهای سوزنی هم در زمینه و هم در پلاژیو کلازها (شکل ۳-ج) به صورت میانبارحضور دارد، این بافت به عنوان یکی از بافت‌های حاصل از آمیختگی ماگمایی معرفی شده است (Didier et al., 1982). در زیر به بررسی کانی‌شناسی و بافتی درشت بلورهای موجود در این سنگ‌ها می‌پردازیم:

پلاژیو کلاز: پلاژیو کلاز فراوان‌ترین کانی تشکیل دهنده سنگ‌های آتشفشانی به شمار می‌رود که بر اساس زاویه خاموشی بیشتر از نوع آندزین هستند. فراوانی پلاژیو کلاز در این سنگ‌ها حاکی از آن است که در هنگام فوران ماگمای آندزیتی، پلاژیو کلاز، فاز لیکیدوس ماگما بوده است. این کانی‌ها هم به صورت درشت بلور و هم به صورت میکروولیت در زمینه سنگ‌ها دیده شده و بافت سریتی (seriate texture) نشان می‌دهند. برخی از پلاژیو کلازها دچار دگرسانی شدید گرمایی شده‌اند در حالی که عده‌ای دیگر از پلاژیو کلازها سالم باقی مانده و یا دچار دگرسانی ضعیفی شده‌اند (شکل ۳-ث). به چند دلیل امکان دارد در متن یک سنگ دو نسل پلاژیو کلاز در کنار یکدیگر قرار گیرند که در حالت اول می‌توان به پالس‌های (pulse) متعدد تزریق در انباشتگاه‌های ماگمایی و آمیختگی ماگمایی اشاره کرد. زمانی که ماگمای مافیک و اجد پلاژیو کلازهای کلسیک، با مذاب فلسیک دچار آمیختگی می‌شود فلدسپارهای سدیک موجود در ماگمای

نقش فرعی و کم محسوس داشته‌اند. لازم به ذکر است که نسبت این عناصر ناسازگار که در عین حال کم تحرک نیز هستند در طول مراحل آغازین و میانی تبلور تفریقی تغییر چندانی نمی‌کند. علاوه بر این نمودار، نمودار Ti/Y در برابر Rb/Ba نیز با توجه به آرایش تجمعی و پراکنده نمونه‌ها در آن به نقش اساسی تبلور تفریقی در تحول سنگ‌های مورد بررسی اشاره می‌کند (شکل ۶ c) (Soesoo, 2000). در صورتی که آرایش کمان‌دار از این نمودار استنتاج می‌شد می‌بایست آمیختگی ماگماهای مشتق شده گوشته‌ای و پوسته‌ای را در تحول سنگ‌های مورد بررسی در نظر می‌گرفتیم. در نمودارهای چند عنصری بهنجارسازی شده به کندریت (شکل ۷ a)، سنگ آندزیتی معرف منطقه با انواع موجود در آند، ترو (پاکستان) و قونیه (ترکیه) مقایسه شده است. سنگ‌های آندزیتی ترو و قونیه در نوار کوهزایی آلپ-همالیا قرار داشته و سن آنها از ائوسن تا پلیوسن در تغییر است. سنگ‌های آتشفشانی ترو نتیجه آتشفشانی مرتبط با فرورانش در زون برخوردی هند-آسیا بوده و تا ۳۳ میلیون سال قبل فعال بوده است (Khan et al., 2004)؛ اما سنگ‌های آتشفشانی قونیه احتمالاً در ارتباط با فرورانش صفحه آفریقا به زیر بلوک آنتاتولی در زمان میوسن میانی-پسین بوده و تقریباً به موازات مرز صفحه آفریقا-آنتاتولی قرار دارند (Şengör et al., 1985; Temel et al., 1998). چنان‌که از نمودار شکل ۷ a مشخص است سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی نسبت به آند در عناصر Cr, Ni و نسبت به قونیه در Cr از تهی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای برخوردارند. این تهی‌شدگی‌ها می‌تواند نشانگر تفریق شدید کانی‌های اولیون (Ni) و کلیئوپیروکسن (Cr) از ماگمای اولیه باشد (Rollinson, 1993). با این وجود، برخی از محققان بر این باورند که تهی‌شدگی مشخص Cr و Ni در چنین سنگ‌هایی حاکی از دخالت ماگمای تفریق یافته گوشته‌ای در زایش آنهاست نه ماگمای اولیه. عدد منبزمین پایین ($100\text{Mg}/\text{Mg}+\text{Fe} < 70$) سنگ‌های مورد بررسی می‌تواند تأییدی بر گفته اخیر باشد ($\text{Mg}\# \approx 40.35$). در کل باید گفت که سنگ‌های آتشفشانی ائوسن خاور هریس از نظر عناصر ناسازگار و سازگار منتخب، تطابق بهتری با سنگ‌های آتشفشانی قونیه نشان می‌دهند. با توجه به این‌که سنگ‌های مورد مطالعه گرایش پتاسیک دارند، لذا برای تعیین محیط زمین‌ساختی آنها از نمودارهای چند عنصری بهنجارسازی شده به کندریت که توسط Muller & Groves (1997) برای سنگ‌های آتشفشانی منتسب به محیط‌های زمین‌ساختی کمان‌قاره‌ای (شکل ۷ b) و کمان پس‌برخوردی (شکل ۷ c) ارائه گردیده، استفاده شد. چنان‌که شکل‌های ۷ b و ۷ c مشخص است، الگوی شیمیایی سنگ آتشفشانی معرف خاور هریس با توجه به عناصر کمیاب موجود به هر دو محیط زمین‌ساختی کمان قاره‌ای و کمان پس‌برخوردی، شباهت دارد. با این وجود رسم نمونه‌ها در نمودارهای دو تایی و مثلثی (Muller & Groves (1997) که باز برای تفکیک محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی پتاسیم بالا مناسب هستند، نشان می‌دهد که سنگ‌های مورد بررسی جزو سنگ‌های مرتبط با کمان بوده و به طور مشخص از محیط زمین‌ساختی داخل صفحه‌ای مجزا می‌شوند (شکل ۸ a). به تازگی محققان به وجود دو نوع کمان آتشفشانی معتقدند، یکی کمان‌های فرورانش (نظیر حاشیه فعال قاره‌ای) و دیگری کمان‌های پس از برخورد. سنگ‌های آندزیتی خاور هریس چنان‌که از نمودار شکل ۸ b پیداست در مرز مشترک این دو محدوده قرار می‌گیرند و در این بین بیشتر نمونه‌ها در محدوده کمان پس‌برخوردی جای گرفته‌اند. با این وجود، گرایش نمونه‌ها به موقعیت زمین‌ساختی اخیر در نمودار مثلثی $\text{Zr}^*3\text{-Nb}^*50\text{-Ce}/\text{P2O5}$ بهتر قابل اثبات است (شکل ۸ c).

نتیجه‌گیری

بر اساس رده‌بندی‌های شیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی آندزیت،

باعث واکنش آنها با ماده مذاب می‌شود یا ممکن است کانی در فشارهای بالا پایدار باشد، ولی با صعود ناگهانی مذاب و قرارگیری در فشارهای پایین ناپایدار شده و با مذاب به حالت ناعادلی قرار گرفته و دچار واکنش شوند (Shelley, 1993)، همچنین می‌توان به پدیده آمیختگی ماگما اشاره کرد که در نتیجه آن کانی‌های مزبور با مذاب خود در یک شرایط ناعادلی واکنش داده و همراه با خوردگی و انحلال، به کانی جدیدی مانند مگنتیت، پیروکسن و غیره تبدیل شوند. Kleiman et al. (1992) فرایند کدر شدن در بیوتیت‌ها و آمفیبول‌ها را معلول اکسایش گرمایی، تغییرات دما، میزان فوگاسیته اکسیژن و آب، آهن‌گ سردشدگی و فوران، کاهش فشار جانبی و فوگاسیته اکسیژن بالا معرفی می‌نماید، که اغلب این فرایندها توأم با آندزیتی هستند. نتایج حاصل از نمونه‌های تجزیه شده به روش XRD به همراه بررسی‌های سنگ‌نگاری وجود دگرسانی پروپیلتیک با کانی‌هایی مانند اپیدوت و کلریت به همراه کانی‌های فرعی پیریت، سریست و زئولیت، دگرسانی آرژیلیک با کانی‌های کائولینیت و مونتوریلونیت به همراه سریست، کوارتز و کلسیت، دگرسانی فلیک با کانی‌های سریست، کوارتز و پیریت، و دگرسانی سیلیسی را در سنگ‌های آندزیتی دگرسان شده تأیید کرده است. علاوه بر دگرسانی‌های فوق، دگرسانی پتاسیک نیز در منطقه مورد بررسی توسط عطالو و همکاران (۱۳۸۳) تشخیص داده شده است.

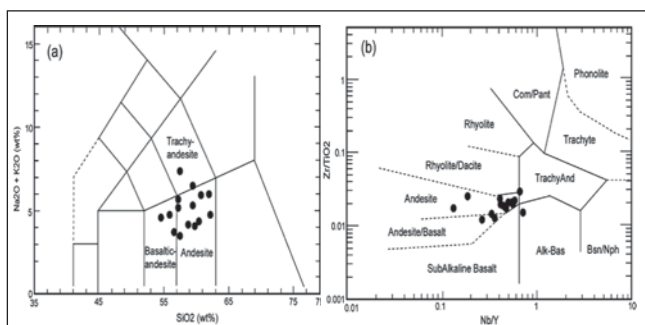
ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و موقعیت زمین‌ساختی

سری ماگمایی سنگ‌های مورد بررسی بر اساس اکسیدهای عناصر اصلی نیمه قلبایی و کلسیمی - قلبایی بوده (شکل ۴ a, b)، با این وجود، یک یا دو نمونه در نمودار Middlemost (1991) در محدوده قلبایی تحولی قرار می‌گیرد (شکل ۴ c). این سنگ‌ها جزو سنگ‌های پتاسیم متوسط تا بالا به شمار می‌روند (شکل ۴ d)، ویژگی اخیر توسط وجود تیغک‌های کوچک قلبایی فلدسپار در زمینه سنگ‌های مورد بررسی هم قابل اثبات است. نمودارهای متمایزکننده (Pearce & Cann (1973)، که بر اساس عناصر کمیاب و کم تحرک استوار هستند، نشان می‌دهند که سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی از ماگماهایی با ویژگی کلسیمی-قلبایی و در یک محیط کمانی تشکیل شده‌اند (شکل ۵). سری ماگمایی کلسیمی - قلبایی معمولاً خاص مناطق کوهزایی بوده و در موقعیت‌های زمین‌ساختی جزایر کمانی، حاشیه فعال قاره‌ای و کمان‌های پس‌برخوردی مشاهده می‌شود. به منظور تعیین روند غنی‌شدگی عنصری سنگ‌های مورد بررسی در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی از نمودار Nb/Y در برابر Rb/Y استفاده شد (شکل ۶ a). چنان‌که از این نمودار مشهود است، به نظر می‌رسد تغییرات Rb و Nb در سنگ‌های آندزیتی خاور هریس، حاصل غنی‌شدگی در زون فرورانش یا آرایش پوسته‌ای است. لازم به توضیح است که در محیط‌های درون صفحه‌ای روند غنی‌شدگی متفاوت بوده و از روند خط $\text{Rb}/\text{Nb}=1$ پیروی می‌کند (Edwards et al., 1991). همان‌گونه که می‌دانیم نسبت‌های عناصر به شدت ناسازگار در هنگام ذوب بخشی یا تبلور بخشی تغییر نمی‌کند اما نسبت‌های عناصر سازگار در هنگام ذوب بخشی به شدت تغییر کرده و بازتاب‌کننده نسبت‌های سنگ منشأ هستند (Rollinson, 1993). این ویژگی‌ها باعث شده که با مطالعه اختلاف در نحوه رفتار عناصر سازگار و عناصر ناسازگار حتی بتوان نوع آمیختگی (آمیختگی ماگمایی و آمیختگی منشأ) را از یکدیگر تفکیک کرد. به کمک این ویژگی‌ها، در زیر به بررسی برخی فرایندهای مهم سنگ‌شناسی برای سنگ‌های مورد مطالعه می‌پردازیم؛ آرایش نمونه‌های مورد بررسی در نمودار Nb در برابر Nb/Zr (شکل ۶ b) (Soesoo, 2000) شیب زیاد محسوسی از خود نشان نمی‌دهد به طوری که می‌توان نسبت Nb/Zr را تقریباً ثابت فرض کرد. بنابراین به نظر می‌رسد که آمیختگی ماگماهای مشخص و یا تفاوت در ذوب منشأ نقش اساسی در تحول سنگ‌های آتشفشانی خاور هریس نداشته باشند. به عبارتی تبلور بخشی نقش اساسی در تحول سنگ‌های مورد بررسی داشته و سایر فرایندهای مذکور به احتمال

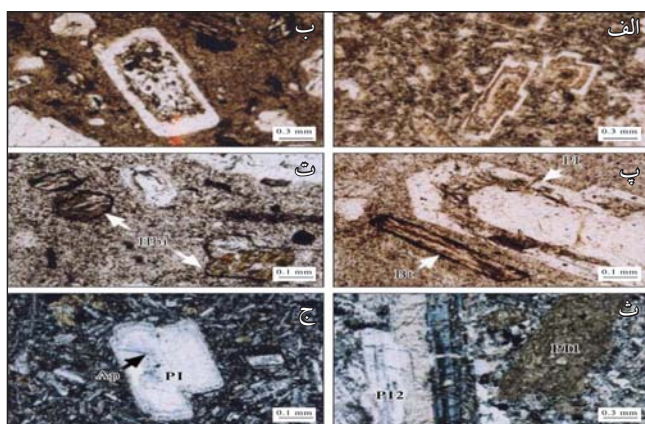
بافرض خاتمه‌فرورانش اقیانوس نوتیس در کرتاسه پسین، که نتیجه آن برخورد صفحه عربی با بلوک ایران مرکزی بوده است، محیط پس‌برخوردی، بهتر می‌تواند ویژگی‌های ترکیبی، مکانی و زمانی ماگماتیسیم ائوسن را توضیح دهد. بدین صورت که کشش‌های پس از برخورد در زمان پالئوژن، بویژه در ائوسن احتمالاً موجب تولید مذاب‌های دو رگه و ظهور آتشفشان‌های متعدد و پراکنده در زون‌های البرز-آذربایجان شده است. به بیانی دیگر، به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پسین که با دگرگونی، چین‌خوردگی، بالاآمدگی و جابه‌جایی افولیت‌ها همراه بوده، فاز کششی مهمی در سراسر ایران (بجز زاگرس و کپه داغ) حکمفرما شد؛ و نتیجه آن فعالیت آتشفشانی شدید ائوسن بود که گسترش آن در بیشتر نقاط دیده می‌شود (امامی، ۱۳۷۹). به نظر می‌رسد کشش‌های پوسته‌ای ائوسن که به دنبال ستبرشدگی پوسته قاره‌ای و احتمالاً هم‌زمان با شکسته شدن پوسته اقیانوسی نوتیس اتفاق افتاده، در ایجاد ماگماتیسیم شدید ائوسن نقش داشته است.

سیاسگزاری

نویسندگان از دکتر S. Ramanathan از دانشکده پرزیدنسی مدرس هندوستان، به‌خاطر مطالعه مقاطع میکروسکوپی با عدسی فدروف کمال تشکر و قدردانی را دارند.



شکل ۲- نامگذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه؛ (a) بر اساس نمودار مجموع قلیایی‌ها در برابر سیلیس (Le Maitre, 1989) و (b) بر اساس عناصر کم تحرک (Winchester & Floyd, 1977)

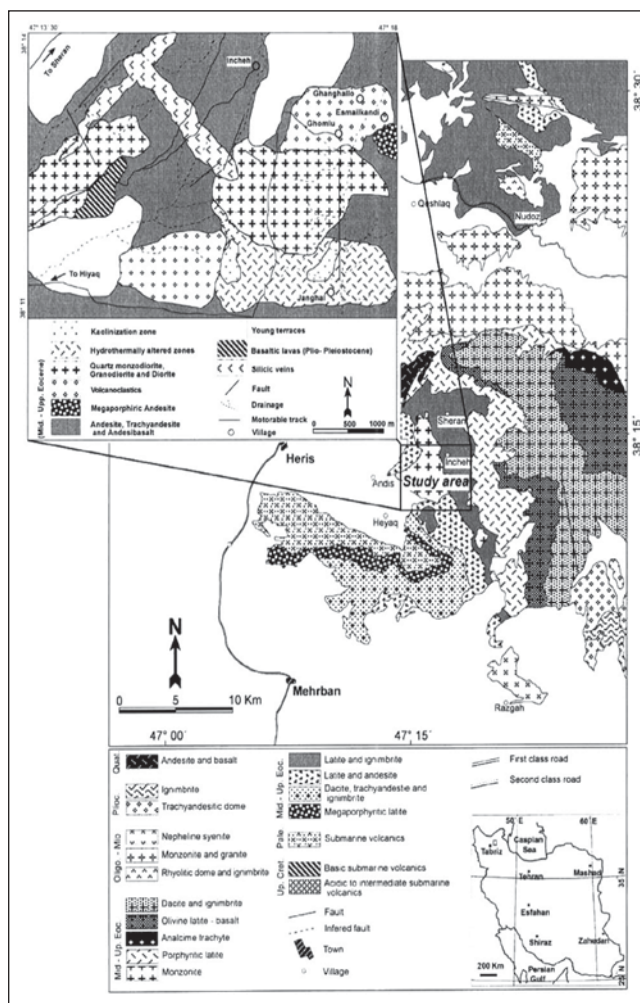


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های آندزیتی خاور هریس؛

الف و ب) بافت غربالی در پلاژیو کلازاها، PPL؛ پ) بیوتیت با حواشی سوخته به همراه پلاژیو کلازا با بافت غربالی، PPL؛ ت) هوربلندهای بازالتی (اکسی هوربلند)، PPL؛ ث) پلاژیو کلازهای نسل اول (P11) و پلاژیو کلازهای نسل دوم (P12) احتمالی، XPL؛ ج) آپاتیت‌های سوزنی در بلورهای پلاژیو کلازا، XPL.

آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت است. وجود کانی‌های هوربلند و بیوتیت در سنگ‌های مزبور نشانگر بالا بودن آب ماگمای سازنده این سنگ‌ها بوده بنابراین نمی‌توان نقش تغییرات فشار بخار آب در حین صعود ماگما را در تشکیل بافت‌های ناتعادلی مانند پلاژیو کلازهای غربالی، هوربلندها و بیوتیت‌های با حواشی سوخته رد کرد، اما مشاهده پلاژیو کلازهای دو نسلی یا چند نسلی احتمالی در کنار بافت‌های مذکور این فرضیه را که آمیختگی ماگمایی یا تزریق ماگماهای مختلف به آناشنگ ماگمایی می‌توانسته علت تشکیل این بافت‌ها باشد، تقویت می‌کند.

سری ماگمایی سنگ‌های آندزیتی خاور هریس کلسیمی-قلیایی با پتاسیم متوسط تا بالاست. کلسیمی-قلیایی بودن این سنگ‌ها از روی نمودارهای عناصر کمیاب نیز قابل اثبات است. داده‌های زمین‌شیمیایی موجود در مورد سنگ‌های مورد بررسی حاکی از نقش اساسی فرایند تبلور تفریقی و نقش نه‌چندان محسوس آمیختگی ماگمایی در تحول ماگمایی آنهاست. در کل سنگ‌های آندزیتی ائوسن منطقه خاور هریس از لحاظ شیمی عناصر کمیاب با سنگ‌های آندزیتی شاخص حاشیه فعال قاره‌ای و محیط‌های پس‌برخوردی تطابق نسبتاً خوبی دارند. با این وجود، تطابق‌های بهتر می‌تواند با سنگ‌های آتشفشانی و آندزیت‌های محیط‌های پس‌برخوردی و بویژه با سنگ‌های آندزیتی قونیه (ترکیه) مشاهده کرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و واحدهای زمین‌شناسی نواحی مجاور (بخشی از نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر که توسط بااخانی و همکاران (۱۳۶۹) تهیه شده است) به همراه نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (تهیه شده بر اساس عکس‌های هوایی و پیمایش‌های صحرائی)

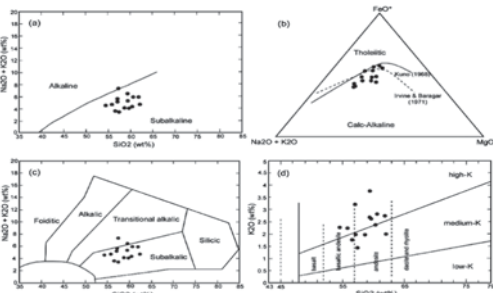
جدول ۱- درصد وزنی اکسیدهای اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه به همراه درصد کانی‌های نورم آنها

Major Oxides (Wt%)	CIPW Norm														
	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6	AN7	AN8	AN9	AN10	AN11	AN12	AN13	AN14	AN15
SiO2	۹۱/۶۱	۷۲/۵۹	۹۱/۵۵	۴۶/۵۹	۱۲/۶۲	۴۳/۵۹	۱۲/۵۷	۱۷/۵۷	۳۹/۶۰	۴۰/۵۷	۷۱/۵۸	۵۱/۵۷	۶۱/۵۶	۵۵/۵۴	۶۵/۶۰
TiO2	۵۰/۰	۹۴/۰	۸۰/۰	۷۱/۰	۶۰/۰	۷۱/۰	۷۷/۰	۶۹/۰	۶۸/۰	۹۵/۰	۸۲/۰	۹۷/۰	۰۴/۰	۹۴/۰	۶۰/۰
Al2O3	۶۹/۱۴	۷۹/۱۵	۳۲/۱۵	۱۶/۱۵	۱۷/۱۴	۲۷/۱۴	۴۱/۱۵	۳۱/۱۵	۵۸/۱۲	۸۱/۱۳	۳۷/۱۴	۴۵/۱۴	۹۹/۱۴	۷۴/۱۵	۵۷/۱۵
Fe2O3	۶۸/۲	۴۹/۵	۴۳/۳	۳۰/۳	۱۰/۳	۰۷/۳	۸۶/۳	۵۹/۳	۲۸/۳	۱۰/۵	۹۸/۳	۶۷/۳	۸۸/۳	۷۶/۳	۷۷/۳
FeO	۲۸/۳	۲۴/۸	۳۷/۵	۸۸/۳	۱۰/۴	۰۷/۴	۰۹/۵	۱۷/۵	۷۲/۴	۷۵/۵	۹۸/۵	۶	۳۴/۶	۸۸/۵	۳۹/۳
MnO	۱۰/۰	۰۴/۰	۱۲/۰	۰۹/۰	۱۲/۰	۱۷/۰	۲۱/۰	۱۵/۰	۱۶/۰	۱۹/۰	۱۴/۰	۱۷/۰	۱۴/۰	۱۶/۰	۱۱/۰
MgO	۴۸/۲	۶۸/۰	۱۷/۴	۶۶/۲	۵۳/۳	۸۹/۲	۰۹/۵	۹۲/۳	۳۶/۲	۶۹/۳	۱۸/۳	۴۴/۳	۱۸/۴	۴۴/۳	۵۹/۲
CaO	۲۳/۵	۵۱/۱	۱۶/۷	۴۳/۵	۴۲/۶	۰۶/۷	۹۷/۴	۳۱/۷	۱۴/۹	۸۷/۳	۶۰/۷	۰۵/۸	۷۲/۷	۸۶/۷	۸۸/۵
Na2O	۱۹/۳	۴۸/۱	۴۸/۲	۷۳/۲	۷۲/۲	۶۳/۲	۴۶/۲	۱۸/۳	۹۵/۱	۹۲/۰	۱۸/۲	۰۳/۲	۹۰/۱	۲۸/۲	۱۰/۳
K2O	۲۵/۲	۴۲/۲	۴۴/۲	۷۶/۳	۰۰/۲	۶۸/۲	۲۲/۳	۹۹/۱	۳۸/۲	۴۱/۴	۹۴/۱	۴۴/۱	۷۷/۱	۲۸/۲	۸۲/۲
P2O5	۲۵/۰	۲۲/۰	۲۸/۰	۴۷/۰	۱۲/۰	۲۶/۰	۳۶/۰	۲۸/۰	۱۶/۰	۲۹/۰	۳۶/۰	۴۴/۰	۴۹/۰	۳۵/۰	۲۶/۰
مجموع	۰۶/۹۷	۷۵/۹۶	۲۸/۹۷	۶۰/۹۷	۱۰/۹۹	۲۴/۹۷	۵۵/۹۸	۷۷/۹۸	۳۸/۹۸	۳۰/۹۹	۰۶/۱۰۰	۰۶/۹۹	۲۸/۹۷	۷۴/۹۷	
#Mg	۷۱/۴۳	۴۲/۸	۷۷/۴۶	۹۰/۴۰	۷۳/۴۷	۹۸/۴۲	۴۹/۵۱	۴۰/۴۵	۲۱/۴۵	۸۸/۳۸	۲۱/۳۷	۷۲/۳۹	۱۱/۴۲	۸۲/۳۹	۹۶/۳۴

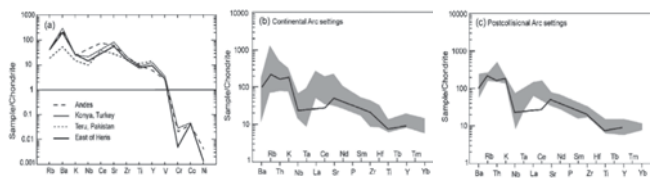
جدول ۲- مقادیر برخی عناصر فرعی و کمیاب سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه

Elements (ppm)	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6	AN7	AN8	AN9	AN10	AN11	AN12	AN13	AN14	AN15
Cr	۱	۹	۳	۱	۱	۶	۱	۴	۱۰	۶	۱	۱۲	۱۶	۱	۱
Ni	۲	۲۱	۱۰	۱۱	۶	۴	۱۰	۱۱	۶۷	۱۶	۷	۱۰	۱۸	۶	۱۰
Co	۱۰	۴۱	۲۴	۱۹	۱۷	۲۴	۱۵	۱۹	۲۰	۲۰	۱۹	۲۴	۲۰	۱۳	۱۵
V	۷۶	۱۹۸	۱۷۰	۱۲۳	۱۰۰	۱۳۳	۱۵۵	۱۰۵	۱۳۳	۱۴۵	۱۳۳	۱۴۵	۱۴۶	۱۳۸	۹۷
Cu	۳۱	۴۰۵	۱۰۳	۱۰۶	۲۴	۶۱	۸۲	۵۲	۲۳	۷۹	۱۵	۶۵	۸۸	۹۲	۱۵۰
Pb	۱۷	۳۷	۱۳	۱۹	۱۳	۵۳	۴	۱۷	۱۲	۱۱	۱۰	۱۵	۲۰	۲۲	۱۸
Zn	۷۶	۳۶	۷۹	۹۲	۷۷	۸۱	۸۲	۶۸	۵۹	۷۰	۷۳	۸۱	۸۲	۸۷	۷۲
W	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Mo	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>	>
Rb	۸۵	۸۴	۲۳	۱۰۷	۵۲	۶۷	۶۹	۳۸	۶۱	۲۲۱	۶۹	۶۷	۶۹	۶۰	۷۷
Ba	۸۱۶	۸۶۵	۷۸۸	۷۸۷	۵۸۰	۷۶۰	۵۵۱	۷۰۸	۶۹۳	۹۱۳	۲۶۶	۶۹۰	۵۳۹	۵۳۵	۸۷۹
Sr	۷۷۰	۴۹۱	۸۴۹	۷۱۵	۵۳۳	۵۰۵	۷۶۶	۷۹۹	۶۱۸	۳۳۰	۵۳۰	۵۵۱	۵۲۴	۵۱۷	۵۹۴
Nb	۳	۱۲	۴	۱۴	۲	۸	۱۰	۵	۱۰	۱۳	۱۱	۵	۱۱	۸	۷
Zr	۱۲۴	۱۹۱	۹۵	۲۰۷	۱۰۳	۱۲۳	۱۴۴	۸۶	۱۰۱	۱۶۹	۱۴۶	۱۳۶	۲۰۰	۱۷۶	۱۳۷
Y	۱۶	۲۴	۱۵	۲۱	۱۵	۱۷	۱۸	۱۴	۱۴	۲۹	۱۹	۱۵	۲۰	۱۹	۱۷
Th	۲	۱۳	۲	۱۷	۲	۵	۴	۲	۶	۱۱	۱۱	۴	۵	۱۲	۴
U	۱	۳	۱	۲	۱	۱	۱	۱	۵	۴	۴	۳	۴	۴	۱
Ce	۲	۲۰	۲۵	۲۸	۱۸	۱۲	۲۴	۲۷	۱۵	۲۲	۲۶	۲۳	۱۷	۲۵	۲۲

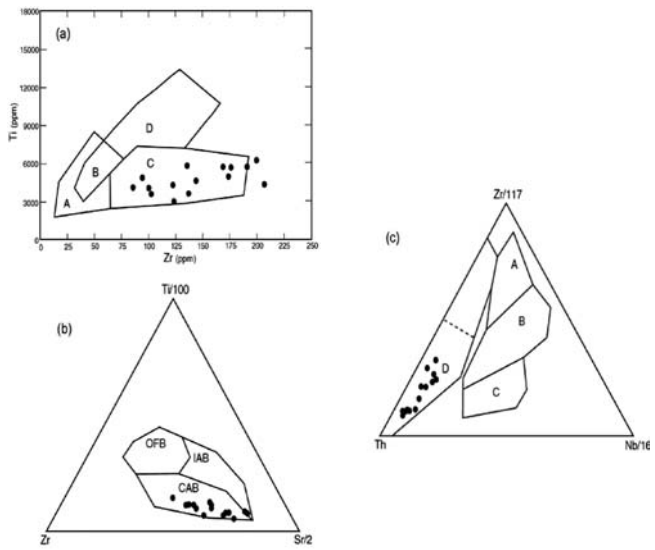
شکل ۴- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مورد بررسی بر اساس اکسیدهای عناصر اصلی؛ (a) نمودار تفکیک سری قلیایی از سری نیمه قلیایی؛ (b) نمودار تفکیک سری تولیتی از سری کلسیمی-قلیایی (Irvine & Baragar, 1971)؛ (c) نمودار متمایز کننده سری‌های نیمه قلیایی، سیلیسی، قلیایی تحولی، قلیایی و فویدیتی (Middlemost, 1991)؛ (d) نمودار تعیین محتوای پتاسیم در سریهای کلسیمی-قلیایی (Le Maitre, 1989).



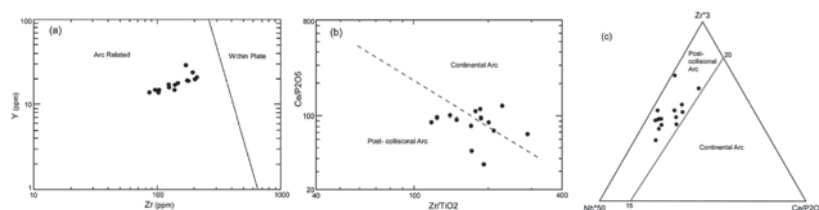
شکل ۶- نمودارهای نسبت عناصر کمیاب سازگار و ناسازگار برای تعیین برخی ویژگی‌ها و تحولات ماگمایی؛ (a) نمودار Rb/Y در برابر Nb/Y برای تعیین نوع روند غنی‌شدگی Nb (Edwards et al., 1991)؛ (b) آرایش شیب‌دار نمونه‌ها در نمودار Nb/Zr در برابر Nb (Soesoo, 2000)؛ (c) آرایش پراکنده نمونه‌ها در نمودار Rb/Ba در برابر Ti/Y.



شکل ۷- نمودارهای چند عنصری بهنجار سازی شده به کندریت جهت (a) مقایسه سنگ آتشفشانی معرف خاور هریس با انواع موجود در آند (Ewart, 1982)؛ ترکیه (Temel et al., 1998)؛ و پاکستان (Khan et al., 2004) (داده‌های کندریت از Wood et al., 1982)؛ (b, c) مقایسه سنگ آتشفشانی معرف خاور هریس با انواع موجود در کمان‌های قاره‌ای و کمان‌های پس برخوردی (داده‌های کندریت از Thompson (1982) و مناطق سایه‌دار از Muller & Groves (1997)).



شکل ۵- نمودارهای متمایز کننده محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی (Pearce & Cann, 1973)؛ (a) بازالت‌های کلسیمی-قلیایی (C)، مورب (B, D)، و تولیتی جزایر کمانی (A)؛ (b) بازالت‌های کلسیمی-قلیایی (CAB)، تولیتی جزایر کمانی (IAB) و مورب (OFB)؛ (c) بازالت‌های کمان آتشفشانی (D)، بازالت‌های قلیایی درون صفحه‌ای (C)، مورب عادی (A)، و مورب غنی شده (B)؛ در بخش بالایی محدوده D، تولیتی جزایر کمانی قرار می‌گیرند.



شکل ۸- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی خاور هریس در نمودارهای متمایز کننده محیط‌های زمین‌ساختی؛ (a) تفکیک محیط درون صفحه‌ای از محیط مرتبط با کمان و (b, c) تفکیک کمان قاره‌ای از کمان پس برخوردی (Muller & Groves, 1997).

کتابنگاری

- امامی، م.ه.، ۱۳۷۹- ماگماتیسم در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۲۲ صفحه.
- باباخانی، ع.ر.، لسکویه، ل.، ریو، ر.، ۱۳۶۹- شرح نقشه زمین‌شناسی چهار گوش اهر مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۳ صفحه.
- عامری، ع.، اشرفی، ن.، کریمی، ح.، ۱۳۸۵- بررسی سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های پلوتونیک منطقه خاور هریس، آذربایجان خاوری- شمال باختر ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۹، صفحه ۱۶۱-۱۵۰.
- عطالو، ص.، کریمی، ا.، اصفهانی پور، ر.، ۱۳۸۳- معرفی و اکتشافات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی کانسار مس پورفیری سوناجیل، چکیده مقالات بیست و سومین همایش علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- کریمی، ح.، ۱۳۸۳- مطالعه پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین شرق هریس در ارتباط با ژنز مس، استان آذربایجان شرقی- شمال غرب ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ۱۳۵ صفحه.
- نوبی، م.ح.، ۱۳۵۵- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.

References

- Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-Emami, K. & Lasemi, Y., 1997- "Teriasic and associated rocks of the Naxhlak and Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnant of the southern Turanian active continental margin", Geological Society of America Bulletin, 109: 1563-1575.
- Burnham, C.W., 1979- "The importance of volatile constituents", Ch. 16, pp. 439-482, in Yoder H.S. (ed.), the evolution of the igneous rocks: fiftieth anniversary perspectives, Princeton Univ. Press, Princeton, New Jersey, USA
- Didier, J., Duthou, J.L. & Lameyre, J., 1982- "Mantle and crustal granites: genetic classification of orogenic granites and the nature of their enclaves", J. Volcanol. Geotherm. Res. 14: 169-186.
- Dorais, M.J., Whitney, J.A. & Rodon, M.F., 1990- "Origion of mafic enclaves in the Dinkey Creek Pluton, Central Sierra Nevada Batholith, California", J. Petrol., 31: 853-881.
- Edwards, C., Menzies, M. & Thirwall, M., 1991- "Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra-subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas", J. Petrol., 32: 555-592
- Ewart, A., 1982- "The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesitic-basaltic composition range", In: Thorpe R.S. (ed.), Andesites, Wiley, Chichester, pp. 25-87.
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971- "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences, 8: 523-548.
- Khan, S.D., Stern, R.J., Manton, M.I., Copeland, P., Kimura, J.I. & Khan, M.A., 2004 - "Age, geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis of Teru Volcanics, Northern Kohistan Terrans, Pakistan", Tectonophysics, 393: 263-280.
- Kleiman, L.E., Savagovi, C., Puglisi, C. & Laben Skide Kanter, F., 1992- "Biotite Oxidation processes in ash flow tuffs (Mendoza, Argentina): Amossbaure spectroscopy and chemical study", Chem. Geol. 97: 251-264.
- Kuno, H., 1968- "Differentiation of basalt magmas", In Hess H.H. and Poldervaart A. (Eds.), Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition, Vol. 2. Interscience, New York, pp. 623-688.
- Le Maitre, R.W., 1989- "A classification of igneous rocks and glossary of terms", Blackwell Scientific, Oxford, p.193
- Middlemost, E.A.K., 1991- "Towards a comprehensive classification of igneous rocks and magmas", Earth Sci. Rev. 31:73-87
- Muller, D. & Groves, D.I., 1997- "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", Sec. Updated, Springer Verlag, p. 242.
- Pearce, J.A. & Cann, J.R., 1973- "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses", Earth Planet. Sci. Lett. 19: 290-300.
- Pearce, T.H., Russell, J.K. & Wolfson, I., 1987- "Laser- interference and Normarski interference imaging of zoning profiles in plagioclase phenocrysts from the May 18, 1980 eruption of Mount St. Helens, Washington" American Mineralogist, 72: 1131-1143.
- Rollinson, H.R., 1993- "Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation", Longman Scientific and Technical, London.
- Şengör, A.M.C., Görür, N. & Saroglu, F., 1985- "Strike slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study", In: Biddle T.R., Christie-Blick N. (Eds.), Strike-slip Deformation, Basin formation and Sedimentation. Soc. Econ. Paleontol. Min. Spec. Publ., 37: 227-264.
- Shelley, D., 1993- "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman & Hall, University Press, Cambridge, Great Britain, p. 445
- Soesoo, A., 2000- "Fractional crystallization of mantle-derived melts as a mechanism for some I-type granite petrogenesis: an example from Lachlan Fold Belt, Australia", Journal of the Geological Society, London, 157: 135-149.
- Temel, A., Gündoğdu, M.N. & Gourgau, A., 1998- "Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85: 327-354
- Thompson, R.N., 1982- "Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province", Scott J. Geol., 18: 50-107.
- Vernon, R.H., 1990- "Crystallization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: Microstructural evidence", J. Geophys. Res. 95: 17849-17859.
- 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
- Wood, D.A., Tarney, J., Varet, J., Saunders, A.D., Bougault, H., Joron, J.L., Treuil, M. & Cann, J.R., 1979b- "Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg 49: implications for mantle heterogeneity", Earth Planet. Sci. Lett. 42: 77-97.