

ماگماتیسیم کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان (شمال باختر ایران) و مقایسه آن با ماگماتیسیم مشابه در خاور ترکیه

نوشته: نصیر عامل*، محسن مؤید*، علی عامری*، منصور وثوقی عابدینی*، محمد هاشم امامی*** و محسن مؤذن*

*گروه زمین شناسی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
**دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
*** پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

The Plio-Quaternary Calc-Alkaline Magmatism in Azerbaijan (NW Iran) and Comparison with Similar Magmatism in Eastern Turkey

By: N. Amel*, M. Moayyed*, A. Ameri*, M. Vosoghi Abedini**, M.H. Emami*** & M. Moazzen*

*Faculty of Natural Sciences, Department of Geology, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

**Faculty of Earth Sciences, University of Shahid-Behesti, Tehran, Iran.

***Research Institute of the Earth Sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۱۰/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۲/۰۹

چکیده

ماگماتیسیم کلسیمی-قلیایی با سن پلیو-کواترنری در منطقه آذربایجان و شمال باختر ایران به شکل های گوناگون از جمله آتشفشان چینه ای، گنبد و روانه های آتشفشانی ظاهر شده و شامل آتشفشانی-آواری ها، بازالت های آندزیتی، آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ریولیت است. این مجموعه آتشفشانی با مرز دگرشیب بر روی واحدهای رسوبی با سن میوسن قرار دارد. بررسی ترکیب شیمیایی سنگ های حد واسط تا اسید نشان می دهد که ماگمای تشکیل دهنده سنگ های یاد شده کلسیمی-قلیایی است و با نسبت $Na_2O / K_2O > 1$ مشخص می شود و در محدوده ماگماهای پتاسیم متوسط و متاآلو مینوس قرار می گیرند. این سنگ ها غنی شدگی در LILE، U و تهی شدگی در عناصر Y و Nb و HREE نشان می دهند. الگوی عناصر خاکی کمیاب این سنگ ها به شدت تفریق یافته است و فاقد بی هنجاری منفی Eu است. محیط زمین ساختی این سنگ ها در محدوده کمان های ماگمایی پس برخوردی و کمان های حاشیه قاره ای فعال قرار می گیرد. ادامه همگرایی صفحه های عربستان و اوراسیا پس از برخورد در اواخر میو-پلیوسن به اوج خود رسیده و سبب سترشدگی، کوتاه شدگی و فراخاست قابل توجه پسته در شمال باختر ایران و خاور ترکیه شده و فلات مرتفع ایران-ترکیه را به وجود آورده است. در اثر به هم خوردن و آشفته گی در ترازهای حرارتی و فراخاست، گوشته سست کره ای دچار ذوب بخشی با آهنگ کم، با حضور گارنت در بازمانده شده است و ماگمای بازی قلیایی تشکیل شده است. صعود ماگمای بازی داغ و استقرار آن در پسته سبب توسعه ذوب بخشی در این ناحیه شده و ماگماهای اسیدی تشکیل شده است. این ویژگی باعث شده است که ابتدا ماگمای اسید از ذوب پسته و محصولات پرتابی آن خارج شده و سپس ماگمای بازی قلیایی فوران کند، لذا وجود سری های معکوس آتشفشانی که در آن واحدهای بازالتی قلیایی اولیوین دار در بالا و سنگ های حدواسط تا اسیدی در زیر قرار گرفته اند، از علائم فعالیت آتشفشانی دونمایی (بایمودال) در پلیو-کواترنر آذربایجان است. ماگمای هیبرید حاصل از آمیختگی ماگمای اسیدی با منشأ پسته ای و بازی با منشأ گوشته مولد سنگ های حدواسط بوده است. ویژگی های شیمیایی دو ماگما با هم متفاوت بوده و یکی از آنها خاصیت کلسیمی-قلیایی داشته و دیگری قلیایی-بازی است. در تحول ماگمایی سنگ های آتشفشانی پلیو-کواترنر آذربایجان فرایندهای (AFC) نیز مؤثر بوده است و این مسئله با شواهد کانی شناسی و نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و جزئی قابل درک است. مقایسه شواهد زمین شناختی و ویژگی های زمین شیمیایی واحدهای آتشفشانی شمال باختر ایران و خاور ترکیه در پلیو-کواترنر نشان می دهد که سیر تحولی یکسانی در تکوین ماگمای این مناطق وجود داشته است.

کلید واژه ها: ماگماتیسیم، کلسیمی-قلیایی، پلیو-کواترنر، آذربایجان، آتشفشانی دونمایی

Abstract

The Plio-Quaternary calc-alkaline magmatism in Azerbaijan, northwest Iran, occurs as stratovolcanoes, lava flows and domes consisting of andesitic basalts, andesites, dacites, rhyodacites, and pyroclastic materials. The volcanic rocks unconformably cover the Miocene sedimentary formations. The chemistry of the felsic-intermediate volcanic rocks indicates that the parent magmas are medium-K calc-alkaline and metaluminous in nature, and are distinguished by $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} > 1$. The volcanic rocks are enriched in LILE and LREE, and depleted in Y, Nb, and HREE, and display highly fractionated REE patterns, with no Eu anomaly. They display post-collision and continental margin arcs affinities. The post collision convergence between Arabia and Eurasia continental plates, starting in Miocene, resulted in significant shortening, thickening, and uplift of the crust in northwestern Iran and eastern Turkey, and shaped the present Iran-Turkey Plateau.

The thermal perturbation processes in the underlying asthenospheric mantle led to partial melting at a low degree, producing alkali-basalt magmas, with garnet remaining stable in the source region. The ascent of the basaltic magma and its emplacement in the lower crust resulted in the partial melting of the crustal materials and development of acidic magma. These processes led to the ascent and eruption of the felsic magmas prior to the mafic magmas. Mixing of mantle-derived mafic magmas with felsic magmas of crustal origin, produced hybrid magmas of intermediate composition. The occurrence of inverted volcanic sequences, where olivine-alkaline basalts are underlain by calc-alkaline felsic-intermediate rocks, are typical features of bimodal volcanic activities in the Plio-Quaternary times in Azerbaijan.

There are mineralogical as well as geochemical evidences that AFC-type processes were involved in the evolution of the Plio-Quaternary volcanic rocks in Azerbaijan. A comparison of geological and geochemical characteristics of the Plio-Quaternary volcanic rocks from northwest Iran with those from eastern Turkey indicates that the two areas share similar evolution paths in the petrogenesis of magmatic rocks.

Key words: Magmatism, Calc-alkaline, Plio-Quaternary, Azerbaijan, Bimodal Volcanism

مقدمه

دور جدیدی از فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه به وقوع پیوسته است که احتمالاً سنی در حدود ۱۲ میلیون سال تا کواترنری (۲/۸) میلیون سال را دارد (Keskin et al., 1998). در این مقاله ویژگی‌های زمین‌شیمیایی (ژئوشیمی) سنگ‌ها و سیر تحولات سنگ‌زادی (پتروژنتیکی) ماگما در ارتباط با نواحی فرورانش و برخورد بررسی می‌شود و وابستگی سنگ‌های آندزیتی و اسیدی با مناطق فرورانش و فراوانی این سنگ‌ها و نظریه‌های مختلف در ارتباط با پیدایش آنها بحث خواهد شد. همچنین الگوها و مدل‌های ارائه شده برای خاور آناتولی در پلیو-کواترنر که سرگذشت زمین‌شناسی مشابهی با شمال باختر ایران دارد، با مدل ارائه شده برای آذربایجان مقایسه خواهد شد.

بحث و بررسی

در این مطالعه، از مناطق مختلفی که دارای بیشترین بروزدهای سنگی

گدازه‌های آتشفشانی و نیمه آتشفشانی حدواسط تا اسیدی در منطقه آذربایجان گسترش وسیعی دارند. منطقه آذربایجان دارای کامل‌ترین توالی‌های در ارتباط با فعالیت آتشفشانی مناطق پس برخوردی از زمان میوسن میانی تا پلیوسن و کواترنر است. اعضای سری کلسیمی-قلیایی شامل بازالت‌ها، آندزیت‌ها و داسیت‌ها و ریولیت‌ها هستند و در آتشفشان‌های جزایر کمانی در حاشیه‌های فعال قاره‌ها و در کمربندهای کوهزایی یافت می‌شوند. در جزایر کمانی، آندزیت‌ها با مقدار زیادی بازالت و اندکی داسیت و ریولیت همراه هستند. در حاشیه‌های فعال قاره‌ای، آندزیت‌ها با مقدار کمی بازالت و مقدار زیادی داسیت و ریوداسیت همراه هستند. منطقه آذربایجان به عنوان بخشی از نوار ماگمایی البرز باختری - آذربایجان، در شمال باختر ایران و در زون برخوردی بین صفحه عربستان - اوراسیا قرار دارد. پس از برخورد دو صفحه عربستان و اوراسیا، و رخداد سترشدگی پوسته‌ای و بالاآمدگی،

و NW-SE صورت گرفته و پیروی فعالیت‌های آتشفشانی از ساختارهای زمین‌ساختی منطقه را نشان می‌دهد. سن مطلق مجموعه‌های سنگی فوق با استفاده از روش سن سنجی K/Ar در نمونه‌های سنگی معادل و مشابه که در شمال خاور ترکیه قرار دارد محاسبه شده است و برای فلات کارس-ارز روم در حدود ۱۲-۵ میلیون سال به دست آمده است (Keskin et al., 1998). همچنین برای مجموعه‌های آتشفشانی داسیتی و ریولیتی ارمنستان که با روش K / Ar و Rb / Sr انجام شده سنی در حدود ۱۷-۱۰ میلیون سال به دست آمده است که به نظر می‌رسد سن میوسن پسین تا پلیوسن را داشته باشد (Karapetian et al., 2001).

سنگ‌نگاری

مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه برای ۷۵ عدد از نمونه‌های سنگی انتخاب شده به عمل آمد و براساس این مطالعات دو گروه سنگی به شرح زیر تفکیک شده است.

(۱) آندزیت‌ها و تراکی آندزیت‌ها

به طور کلی در کلیه مناطق مورد مطالعه سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی نسبت به داسیت‌ها و ریولیت‌ها فراوانی بیشتری دارند. در نمونه دستی این سنگ‌ها، طیف متنوعی از رنگ‌های خاکستری روشن، قهوه‌ای، سرخ و سبز تیره را به خود اختصاص می‌دهند. در برخی از نمونه‌ها، بافت فانریتیک و پورفیری دیده می‌شود و در برخی دیگر بافت ریز بلور و آفانتیک وجود دارد. سنگ‌های آندزیتی به طور عمده به صورت آگلومرا و برش آتشفشانی، و روانه‌های برشی گدازه‌ای هستند که به صورت بمب، و گاه به صورت گنبد (دم) و گنبد-گدازه (دم کوله) دیده می‌شوند. در منطقه زنوز و اهر گدازه‌های آندزیتی ساختار منشوری دارند. در شمال تبریز، باختر و جنوب باختر مرنند، سراب و سرعین، زنوز و سهند، واحدهای آندزیتی گسترش وسیعی دارند و اغلب به صورت روانه، گدازه‌های برشی شده و آگلومرای دیده می‌شوند. در مناطقی مانند انامک و محبوب آباد در جنوب باختر مرنند، ورزقان، قره‌تپه در زنوز، سراب و سهند، سنگ‌های آندزیتی به صورت گنبد‌های کوچک‌تر و دم کوله‌ها تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۳).

ویژگی‌های سنگ‌نگاری سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی عبارتند از: (۱) کانی‌های اصلی سنگ‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، هورنبلند که به صورت شکل دار و نیمه شکل دار هم به صورت درشت بلور و هم کانی‌های ریزتر در متن قرار دارند. اغلب درشت بلورها دارای ساختار منطقه‌ای و بافت باخترالی (غربالی) هستند. در برخی از نمونه‌ها هورنبلندها دارای حاشیه سوخته و در برخی دیگر دارای حواشی تحلیل رفته هستند. همچنین برخی از هورنبلندها دارای بافت

حدواسط تا اسیدی در آذربایجان بوده‌اند نمونه‌برداری شده است. این مناطق عبارتند از: (۱) شمال تبریز (منطقه منور و سهرل) و بهلول داغی، (۲) منطقه مرنند، (۳) منطقه خاور مرنند (بناب و کوه‌ناب)، (۴) منطقه اهر - ورزقان، (۵) منطقه سراب - نیر و سرعین، (۶) منطقه خواجه (قلعه‌لر)، (۷) منطقه جنوب باختر مرنند (محبوب آباد)، (۸) منطقه انامک و کشکسرای و گچی قلعه‌سی، (۹) منطقه سهند (متنق)، (۱۰) منطقه ولدیان و زنجیره، (۱۱) منطقه زنوز و قره‌تپه، (۱۲) میانه.

موقعیت جغرافیایی مناطق فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.

واحدهای آتشفشانی در این مناطق، شامل انواع سنگ‌های آندزیتی، داسیتی، ریوداسیتی و ریولیتی است که به همراه مقادیر کمتری از سنگ‌های بازی در مناطق مورد مطالعه دیده می‌شوند. شکل و فرم جایگیری سنگ‌های مذکور در مناطق مورد مطالعه به طور عمده به صورت مجموعه‌های آذرآواری شامل انواع توف‌ها، آگلومراها و بمب‌ها و برش‌های آتشفشانی است و در برخی دیگر از مناطق، آندزیت‌ها و داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها روانه‌های گدازه و گنبد‌های نیمه آتشفشانی را تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۲ و ۳). شکل‌های گنبدی در مناطق فوق به دو صورت دیده می‌شود: (۱) گنبد‌های آتشفشانی منفرد و بزرگ (۲) توده‌های گنبدی شکل با اندازه‌های کوچک‌تر و متعدد. از نظر چینه‌شناسی، بهترین مقطع برای مطالعه و تعیین سن نسبی مجموعه‌های سنگی فوق و تطابق سنی واحدهای دیگر با آن، در منطقه منور واقع در شمال تبریز قرار دارد که در آن واحدهای سنگی آتشفشانی حدواسط و اسیدی به همراه میان لایه‌هایی از گدازه‌های بازی‌تر با یک مرز دگرشیب بر روی واحدهای رسوبی سازند سرخ بالایی (U. R. F) با سن میوسن میانی، قرار گرفته‌اند. در این مجموعه ستر که در حدود ۵۰۰ متر ستبر دارد، دو سری قابل مشاهده است، سری قدیمی‌تر که بلافاصله پس از واحدهای رسوبی میوسن با رخساره آذرآواری و انفجاری دیده می‌شود و توسط سری جوان‌تر دوم، متشکل از گدازه‌های یکدست آندزیتی به صورت روانه و آگلومرا پوشیده می‌شوند. گنبد‌های آتشفشانی بزرگ مخروطی شکل منفرد، مانند گچی قلعه‌سی و مگاته در اطراف مرنند، بهلول داغی و قلعه‌لر در اطراف تبریز و گنبد‌های نیمه آتشفشانی اطراف سهند، همگی واحدهای رسوبی سازند سرخ بالایی را قطع کرده و سبب خرد شدگی و شیب‌دار شدن سنگ‌های مجاور شده‌اند. در آذربایجان همه مجموعه‌های فوق توسط رسوبات جوان‌تر آبرفتی واپی کلاستیک باسن پلیوسن پوشیده شده‌اند (شکل F-۳). آرایش و جایگیری خطی واحدهای آتشفشانی آندزیتی و در برخی موارد جایگیری گنبد‌های نیمه آتشفشانی در هسته تاقدیس‌های موجود در سازند سرخ بالایی در نقشه‌های بزرگ مقیاس، نشان می‌دهد که فوران‌های آتشفشانی شکافی بوده و در اثر حرکات گسل‌های امتدادلغز و عمدتاً از محل برخورد گسل‌های متقاطع با روندهای NE-SW

نوع هورنبلند آندزیت، پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالتی هستند. در پیروکسن آندزیت‌ها، کلینوپیروکسن‌ها از نوع اوژیت شکل‌دار با بافت گلومروپورفیری دیده می‌شوند.

۲) داسیت‌ها، تراکی داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها

بیشترین گسترش داسیت‌ها، تراکی داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها در مناطق منور در شمال تبریز، سهند، زنوز، خواجه (قلعه‌لر)، مرند، اهر، و انامک و کشکسرای (قخلار) در جنوب باختر مرند دیده می‌شود. این واحدهای سنگی به‌طور عمده به صورت گنبد‌های منفرد نیمه آتشفشانی و یا به صورت آگلومرا و برش‌های آتشفشانی قابل مشاهده‌اند. در نمونه دستی، اغلب به رنگ قهوه‌ای روشن تا خاکستری و خاکستری روشن هستند. بلورهای آمفیبول و پیروکسن به صورت دگرسان شده در یک متن ریزبلور و شیشه‌ای قرار دارند.

در مجموع ویژگی‌های زیر را برای گدازه‌های داسیتی می‌توان در نظر گرفت: (۱) کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلازهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار هستند و با زون‌بندی و بافت غربالی به صورت درشت‌بلور در اندازه‌های ۱-۵ میلی‌متر در یک متن دانه‌ریز و یا شیشه‌ای قرار دارند. پلاژیوکلازهایی که فاقد زون‌بندی هستند با استفاده از روش میشل لوی در حد اولیگو کلاز تعیین شده است. هورنبلند و بیوتیت نیز به صورت درشت بلور مشاهده می‌شوند و دارای حاشیه سوخته‌اند. در ریوداسیت‌ها، بیوتیت‌ها دارای حاشیه کدر شده و نوارهای شکنجی هستند. کوارتز در نمونه‌ها به صورت ریزبلور در متن قرار دارد و در برخی از نمونه‌های ریولیتی در زنوز به صورت درشت بلور با حاشیه‌های خورده و خلیجی و گرد شده قابل مشاهده است. در برخی از نمونه‌های منطقه سهند درشت بلورهایی از آنورتوکلاز با میانبرهای شیشه دیده می‌شود (شکل AC, D).

(۲) پیروکسن، اسفن، آپاتیت، فلدسپار قلیایی و کانی‌های کدر از کانی‌های فرعی محسوب می‌شوند. در برخی از نمونه‌ها فلدسپارهای قلیایی هم به صورت درشت بلور دیده می‌شوند.

(۳) کانی‌های تیره شامل بیوتیت‌ها و آمفیبول‌ها به شدت دگرسان شده و به مجموعه‌ای از کانی‌های تجزیه‌ای مانند کلسیت، کلریت، اپیدوت، و کانی‌های تیره تبدیل شده‌اند. پلاژیوکلازها به سریسیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. (۴) خمیره از ریزبلورهای متشکل از فلدسپات‌های قلیایی و پلاژیوکلاز، ساینیدین و بلورهای ریز کوارتز است.

(۵) بافت اغلب سنگ‌ها پورفیری، گلومروپورفیری، همراه با بافت پیلوتاکیستی است. جهت‌دار شدن میکرولیت‌های ریز در اطراف درشت بلورها شاخص است. وجود فلدسپارهای قلیایی فراوان، کم شدن از تعداد کانی‌های مافیک، در تراکی داسیت‌ها قابل مشاهده است. افزایش کانی‌های کوارتز و فلدسپار قلیایی و کم شدن از کانی‌های مافیک، پیروکسن و آمفیبول، در انواع

پویکلیتیک هستند و در آنها میانبارهایی از آپاتیت و اسفن و شیشه دیده می‌شوند. بیوتیت و کلینوپیروکسن‌های اوژیتی به مقدار کمتر در متن و گاه به صورت درشت بلور دیده می‌شوند. برخی از آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها دارای حاشیه کدری هستند و در اثر اکسایش شدید کانی‌ها از حاشیه به مجموعه‌ای از کانی‌های کلینوپیروکسن و کانی‌های تیره تبدیل شده‌اند. شیشه با رنگ قهوه‌ای روشن و خاکستری کمرنگ حد فاصل کانی‌های دیگر را پر می‌کند (شکل ۸).

(۲) کانی‌های فرعی و عارضه‌ای شامل ریز بلورهایی از اوژیت، اسفن، آپاتیت، فلدسپار قلیایی و کانی‌های کدر هستند و به‌طور عمده در متن و یا به صورت میانبار در کانی‌های دیگر قرار دارند.

(۳) کانی‌های تجزیه‌ای عبارتند از سریسیت، کلریت، کلسیت، اپیدوت، زئولیت و پره‌نیت. کانی‌های تیره به کلسیت، کلریت، اپیدوت، زئولیت و کانی‌های کدر تبدیل شده‌اند و فلدسپارها به سریسیت و کوارتز پره‌نیت تجزیه شده‌اند.

(۴) بافت غالب نمونه‌های مطالعه شده، پورفیری، میکرولیتیک پورفیری و هیالومیکرولیتیک پورفیری است. در برخی از نمونه‌ها بافت تراکیتی نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۵ و ۶ و ۷ و ۸).

(۵) قطعات ریزی از بیگانه‌سنگ‌های آمفیبولیتی و بازی در برخی از نمونه‌های سنگی مناطق محبوب آباد و انامک مرند دیده می‌شود.

(۶) آثاری از آمیختگی ماگمایی و هضم در نمونه‌های منطقه مرند، زنوز، اهر دیده می‌شود (شکل ۵).

(۷) وجود ساختار منطقه‌ای، بافت باخترالی، حواشی سوخته و کدر و حواشی تحلیل رفته بلورها نشان دهنده شرایط ناپایدار در محیط تبلور بوده و احتمالاً در اثر صعود سریع ماگما و یا فرایندهای آلاش و هضم و آمیختگی ماگمایی ایجاد شده است. شکل‌دار بودن آمفیبول‌ها نسبت به پلاژیوکلازها تقدم تشکیل آنها را نشان می‌دهد و صعود بعدی ماگما به سطوح بالاتر و یا آمیختگی با ماگمای بازی قلیایی سبب ناپایداری این نوع کانی‌ها شده و حاشیه‌های سوخته و کدر شده می‌تواند نشان دهنده این فرایند باشد. آمیختگی ماگمای بازی و اسیدی سبب تغییر در میزان سیلیس مذاب شده و تحلیل رفتن حاشیه برخی از کانی‌های زودتر تشکیل شده، از جمله آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازها و ایجاد زون‌بندی می‌تواند گویای این مسئله باشد (شکل‌های ۶ و ۷ و ۸).

(۸) ترکیب نورماتو پلاژیوکلازها در حد آندزین (An 32-35) است. (۹) درشت بلورهای اولیون شکل‌دار در نمونه منطقه میانه که احتمالاً نوعی آندزیت بازالتی است، دیده می‌شود. اولیون در بیش از ۶۰٪ آندزیت‌های بازالتی و ۴۰٪-۱۰٪ آندزیت‌ها به صورت درشت بلور یافت می‌شود (Ewart & Stipp, 1968). با توجه به کانی‌شناسی سنگ‌ها، اغلب نمونه‌ها از

سیلیس، روند صعودی محسوسی دارد ولی در مورد Ba پراکندگی بیشتری در نمودار دیده می‌شود که می‌تواند در ارتباط با آلودگی پوسته‌ای باشد. Nb، Zr، Y دارای روند نزولی با افزایش SiO_2 می‌باشد. Zr در اولویت اول، تمایل به ورود در ساختار کانی زیرکن دارد و در صورت نبود زیرکن، عنصر زیرکیم در آمفیبول‌ها وارد می‌شود (Rollinson, 1993). تغییرات عنصر Nb در ارتباط با جدایش ایلمنیت، اسفن، و در مرحله بعد می‌تواند در ارتباط با تفریق کانی‌های بیوتیت و هورنبلند باشد. Sr در ارتباط با افزایش SiO_2 باید با وارد شدن در ساختار پلاژیوکلازها روند منفی داشته باشد ولی در نمودارها پراکندگی بیشتری نشان می‌دهد که می‌تواند حاکی از آلاش (هضم یا آمیختگی) باشد.

عناصر سازگار V، Cr، Ni و Ti با افزایش SiO_2 همبستگی منفی نشان می‌دهند (شکل ۱۱). این مسئله می‌تواند در ارتباط با تفریق کانی‌های فرومنیزین مانند پیروکسن و مگنتیت در حین صعود ماگما و استقرار آن در محفظه‌های ماگمایی باشد. با توجه به همبستگی‌های مشاهده شده در نمودارها، نمونه‌های آندزیتی، داسیتی و ریولیتی مناطق مختلف می‌توانند از یک منشأ پوسته‌ای حاصل شده باشند که با مقادیر مختلفی از ماگمای بازی آمیختگی یافته و ماگمای هیبرید را به وجود آورده‌اند و متعاقب آن تحول چنین ماگمایی هنگام صعود و استقرار در محفظه‌های ماگمایی در طی فرایندهای هضم و تفریق با نرخ‌های متفاوت انواع سنگ‌های مناطق مختلف را به وجود آورده است. واحدهای جوان اولیون بازالتی واقع در روی مجموعه‌های اسیدی و حدواسط مناطق مورد مطالعه در نمودارها موقعیت جداگانه‌ای را به خود اختصاص می‌دهند و ماهیت شیمیایی ماگمای این سنگ‌ها بازی قلیایی است.

نمودارهای مربوط به الگوهای عناصر خاکی کمیاب، نمونه‌های حدواسط و اسیدی نسبت به مقادیر کندریت و MORB با روش پیشنهادی McDonough et al. (1991) به‌نحیج شده‌اند. همان‌طور که در نمودارها ملاحظه می‌شود، شیب منفی محسوسی وجود دارد. این مسئله می‌تواند در ارتباط با غنی‌شدگی انتخابی از LREE (از Nd تا La) باشد. به طور کلی، تمام نمونه‌ها الگوی تفریق یافته‌ای نشان می‌دهند. تقریباً در تمامی آنها تهی‌شدگی از عناصر HREE وجود دارد که می‌تواند در اثر تفریق کانی‌های اولیون، زیرکن و یا هورنبلند باشد. Eu بی‌هنجاری منفی ندارد و نشان دهنده حضور پلاژیوکلازهای کلسیک به عنوان عامل کنترل کننده تحول ماگما و یا عدم حضور آنها در فاز بازمانده و یا فوگاسیته بالای O_2 است و در این حال Eu^{2+} به Eu^{3+} تبدیل شده و نمی‌تواند وارد شبکه پلاژیوکلازهای کلسیک شده و در مایعات تفریق یافته بعدی متمرکز خواهد شد و ارتباط منطقی خود را با درصد CaO گدازه از دست خواهد داد (McCur et al., 1985; Rollinson, 1993). در نمودارهای عنکبوتی،

ریوداسیت دیده می‌شود. در برخی از نمونه‌های داسیتی بیگانه‌سنگ همزاد مشاهده می‌شود که احتمالاً منشأ آنها از حاشیه انجماد سریع گنبد‌ها است.

زمین شیمی (ژئوشیمی)

برای مطالعات زمین‌شیمیایی ۷۵ نمونه سالم از سنگ‌های حدواسط و اسید برای تجزیه شیمیایی اکسیدهای عناصر اصلی و جزئی با روش‌های XRF و ICP-MS به کشور کانادا (شرکت Als Chemex) ارسال شدند و نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. از نتایج مطالعات زمین‌شیمیایی عناصر مورد تجزیه می‌توان در تعیین پتروژنز (سنگ‌زایی) سنگ‌ها و سیر تحولی ماگما و تأثیرات فرایندهای AFC به طور گسترده استفاده کرد. نمونه‌های مورد مطالعه دارای دامنه تغییرات SiO_2 از ۷۹-۵۳ درصد بوده و عدد منیزی آنها از ۰/۲۲ الی ۰/۶۵ تغییر می‌کند.

در همه نمونه‌های مورد مطالعه، نسبت $\text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} > 1$ است و در نمودار K_2O در برابر SiO_2 پیشنهادی Middlemost (1975) اغلب نمونه‌ها در محدوده کلسیمی-قلیایی و کلسیمی-قلیایی پتاسیم بالا قرار می‌گیرند (شکل ۹a). سری ماگمایی نمونه‌های مطالعه شده با استفاده از نمودار SiO_2 در برابر K_2O پیشنهادی Pearce (1983) در محدوده کلسیمی-قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۹d).

مقدار کوارتز نورماتو از صفر تا ۷۵ درصد در تغییر است و اولیون نورماتو بجز برخی نواحی، از جمله منطقه قلعه‌لر، قره تپه در زون و محبوب‌آباد در جنوب باختر مرند، برای بقیه مناطق صفر است. تمامی نمونه‌ها متآلومینوس هستند (شکل ۹c). در رده‌بندی‌های سنگ شناختی اغلب نمونه‌ها در نمودار TAS پیشنهادی Le Bas & Le maitre (1986) در محدوده آندزیت، آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت، داسیت و تراکی داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۹b).

در نمودارهای متغیر اکسید-اکسید هارکر و عناصر فرعی، رفتار سیلیس نسبت به عناصر اصلی و کمیاب مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱۰). در این نمودارها با افزایش مقدار سیلیس، اکسیدهای اصلی CaO ، MgO ، Fe_2O_3 و TiO_2 روند نزولی نشان می‌دهند. این مسئله می‌تواند احتمالاً در ارتباط با تفریق و تبلور کانی‌های پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین مانند اولیون، پیروکسن و کانی‌های تیره مانند تیتانومگنتیت و ایلمنیت در مسیر صعود و استقرار ماگمای هیبرید در محفظه‌های ماگمایی بالاتر در ارتباط باشد. مقدار K_2O با افزایش SiO_2 روند صعودی دارد این روند عادی در تفریق ماگمایی مشاهده می‌شود. Na_2O دارای روند صعودی با شیب اندک و پراکنده است، داخل شدن Na در شبکه پلاژیوکلازها می‌تواند روند صعودی ایجاد کند و پراکنده بودن آن می‌تواند در ارتباط با هضم یا آمیختگی باشد. Pb با افزایش

اولیه بودن این ماگماها بوده و افرادی مانند (Ishizaka & Carlson, 1983) و (Harmon et al., 1984) به منشأ ثانویه این نوع ماگماها معتقد هستند. آندزیت‌ها بخصوص آندزیت‌های کوهزایی در هر چهار منطقه در ارتباط با زمین- ساخت صفحه‌ای دیده می‌شوند. این مناطق عبارتند از مرز صفحه‌ها و اگرآ و همگرا، محیط‌های درون صفحه‌ها و مرزهای گسل‌های تراس و مناطق برخوردی صفحه‌ها که می‌توانند مقادیر زیادی از سنگ‌های آندزیتی را داشته باشند. ولی به طور عمده آندزیت‌های کوهزایی در ارتباط با مرزهای صفحه‌ها همگرا هستند. حجم سنگ‌های همراه با آندزیت و یا نبود آنها می‌تواند در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی و منشأ ماگمای سازنده آندزیت بحث شود. آندزیت‌های کوهزایی همراه با مجموعه‌های بازی دیده می‌شوند و در به وجود آمدن آنها علاوه بر زمین‌ساخت، تفریق، آلیش و یا ذوب پوسته نیز مؤثر است. در مناطق آتشفشانی جزایر کمانی بازالت‌های همراه آندزیت‌ها تولییتی هستند و با دور شدن از گودال اقیانوسی به انواع غنی از آلومینیم تبدیل می‌شوند. آندزیت‌های خارج شده از مناطق حاشیه قاره و جزایر کمانی تفاوت‌های زیادی دارند. از جمله نبود و یا کم بودن هورنبلند و فقر Al_2O_3 در آندزیت‌های جزایر کمانی از مهم‌ترین تفاوت‌هاست (Gill, 1981). منشأ آندزیت‌ها و داسیت‌ها در مناطق فرورانشی می‌تواند از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرو رونده با یا بدون رسوبات سطحی روی آن، گوّه گوشته‌ای متاسوماتیزه روی آن و یا لایه گوشته تهی شده از عناصر زودگذاز واقع در زیر پوسته فرو رونده باشد (Aramaki, 1982). همچنین با توجه به کارهای تجربی که تاکنون انجام گرفته تشکیل آندزیت‌ها در روی و یا نزدیک پوسته اقیانوسی فرو رو با احتمالاتی از قبیل ذوب بخشی آمفیبولیت در ژرفای کم و یا تبلور بخشی هورنبلند از یک مذاب بازالتی، ذوب بخشی اکلوتیت در ژرفای زیاد و ذوب بخشی پریدوتیت (گوشته) در حضور آب مطرح بوده است (Green, 1982). همچنین عده‌ای دیگر ایجاد ماگماهای حدواسط را با ذوب بخش‌های بازی پوسته قاره‌ای توجیه می‌کنند (Picher & Zill, 1972). از آنجا که میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای با ترکیب شیمیایی آندزیت‌ها چندان تفاوتی ندارد (جدول ۲، شکل ۱۰). لذا ذوب وسیع در پوسته می‌تواند به تشکیل ماگماهای حدواسط منجر شود. منشأ ثانویه ماگماهای حدواسط با فرایندهای تفریق ماگماهای بازالتی، آلیش ماگمای بازالتی با مواد پوسته‌ای و آمیختگی ماگماهای بازی با ماگماهای اسیدی توجیه می‌شود. بدیهی است در ارائه مدل سنگ‌زادی مناسب برای تولید ماگماهای حدواسط علاوه بر در نظر گرفتن واقعیت‌های زمین‌شناسی منطقه باید از نتایج کانی‌شناسی و شیمیایی به‌دست آمده بهره برد. دونهایی بودن فعالیت آتشفشانی در پلیو-کواترنر آذربایجان و حضور دو نوع ماگمای کلسیمی-قلیایی و ماگمای بازالتی قلیایی با ترکیب شیمیایی متفاوت، شواهد

که نسبت به مقادیر کندریت، مورب و گوشته اولیه بهنجار شده‌اند عناصر ناسازگار درشت یون LILE، مانند Ba، K، Rb و عناصر خاکی کمیاب سبک مانند La، Ce، غنی شدگی نشان داده و Nb تهی شدگی نشان می‌دهد. برای عناصر خاکی کمیاب سنگین مانند Yb، Y، الگوی تهی شده ملاحظه می‌شود. در نمودار بهنجار شده نسبت N-MORB، Yb، Gd، Tm، Y، Tb، Ti، Dy، Ho، Lu بی‌هنجاری پایینی را نشان می‌دهند. این مسئله می‌تواند در ارتباط با تهی شدگی ماگمای اولیه با منشأ گوشته سست کره‌ای با بازمانده گارت از عناصر خاکی کمیاب سنگین باشد که باعث ذوب بخشی در پوسته شده و در اثر آمیختگی با مواد پوسته‌ای نسبت این عناصر را در مذاب پایین آورده است. ولی عناصر درشت یون مانند Ba، K، Rb، Sr و عناصر خاکی کمیاب سبک مانند La و Ce بی‌هنجاری مثبت دارند (شکل ۱۲). تهی شدگی Zr، Nb و Ti نیز از ویژگی‌های ماگماهای کلسیمی-قلیایی در ارتباط با قوس‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای درون صفحات سنگ کره‌ای است. وجود بی‌هنجاری منفی برای P، می‌تواند در ارتباط با تبلور بخشی آپاتیت و همچنین بی‌هنجاری مثبت U می‌تواند در ارتباط با آلیش پوسته‌ای باشد. در این مطالعه نمودارهای عنکبوتی و عناصر کمیاب منطقه فلات کارس-ارز روم در خاور ترکیه با شمال باختر ایران و آذربایجان مقایسه شده است (شکل ۱۲). آتشفشان‌های این منطقه به عنوان آتشفشان‌های تیپ مناطق پس برخوردی معرفی شده‌اند و از نوع دونهایی (bimodal) هستند (Keskin et al., 1998). گدازه‌های اسیدی و حدواسط دارای ویژگی‌های کانی‌شناختی مشابه با آذربایجان هستند. وجود آمفیبول‌ها با حاشیه جذبی، پلاژیوکلازهای زون‌بندی شده، بافت تراکیتی و گلوپورفیری از ویژگی‌های کانی‌شناختی سنگ‌های این منطقه به شمار می‌آیند. غنی شدگی در عناصر LILE و LREE نسبت به HFSE و بی‌هنجاری منفی Nb، Ta و پایین بودن Y از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های این منطقه می‌باشد.

سنگ زایشی (پتروژنز)

ماگمای مولد سنگ‌های حدواسط و اسید پلیو-کواترنر آذربایجان متعلق به سری کلسیمی-قلیایی است. تمامی نمونه‌ها به غیر از نمونه‌های مربوط به منطقه باختر مرند در کشکسرای که ماهیت پتاسیک دارند، بقیه نمونه‌ها ماهیت کالک-قلیایی سدیک نشان می‌دهند. سری‌های کلسیمی-قلیایی مختص مناطق حواشی فعال قاره‌ای و جزایر کمانی و کمرندهای کوهزایی هستند. انواع غالب سنگی در سری کلسیمی-قلیایی آندزیت و داسیت و ریولیت‌ها هستند که همراه با سنگ‌های بازی دیده می‌شوند. نظریات مختلفی در ارتباط با به وجود آمدن ماگمای کلسیمی-قلیایی و منشأ آن وجود دارد. (Stern & ITO, 1983; Ryabchikov & Aramaki, 1982) معتقد به

ویژگی‌های ماگماهای کلسیمی-قلیایی آذربایجان به شدت تحت تأثیر فرایندهای (AFC) است و شواهد کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه این مسئله را نشان می‌دهد. با توجه به جایگیری اغلب گنبد‌های پلیو-کواترنر آذربایجان در درون نهشته‌های تخریبی و تبخیری سازند سرخ بالایی می‌توان گرایش زمین‌شیمیایی آنها به سمت بخش‌های سدیمی را از طریق هضم مواد تبخیری از جمله نمک توضیح داد. به گونه‌ای که در نمونه‌های منطقه زنوز و قره تپه و مرند این پدیده در مقاطع میکروسکوپی دیده می‌شود. برای بررسی تأثیر فرایندهای (AFC) از نمودار $Ta/Yb - Th/Yb$ پیشنهادی (Pearce 1983) استفاده شده است. روندهای FC و AFC در این نمودار دخالت سنگ کره قاره‌ای و نیمه‌قاره‌ای را در سنگ‌زایی سنگ‌ها نشان می‌دهد. تغییرات نسبت‌های $Ta/Yb - Th/Yb$ برای نمونه‌های آذربایجان دخالت فرایندهای آلاش پوسته‌ای در سنگ‌زایی ماگمای مولد این سنگ‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۱۳d). در منطقه آذربایجان، بهترین مسیر و معبر برای خروج مواد آتشفشانی گسل‌های با راستای NE-SW راستالغز و گسل‌های با امتداد شمالی-جنوبی و محل تقاطع این دو سامانه گسلی و نیز عوامل ساختاری از جمله چین‌های با راستای محوری NW-SE بوده است. عملکرد گسل‌های NW-SE از نوع فشارشی و معکوس بوده است، شیب اغلب این گسل‌ها تند بوده و علاوه بر عملکرد فشاری دارای مؤلفه راستالغز راست‌گرد نیز هستند (گسل تبریز). وجود انحنا در مسیر این نوع گسل‌ها نیز می‌تواند در تولید محیط‌های تراکشی و توسعه فعالیت‌های آتشفشانی و یا ایجاد فضای لازم برای جایگیری گنبد‌های نیمه‌آتشفشانی نقش عمده‌ای داشته باشد.

نتیجه‌گیری

۱) واحدهای آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان طیف ترکیبی وسیعی داشته و شامل آندزیت‌ها، داسیت و ریوداسیت‌ها هستند که به طور گسترده با مرزهای دگرشیب بر روی واحدهای رسوبی میوسن قرار گرفته‌اند. گنبد‌های بزرگ نیمه‌آتشفشانی منفرد شامل داسیت‌ها و گنبد-گدازه‌های آندزیتی مهم‌ترین شکل ریخت‌شناسی واحدهای آتشفشانی جوان به سن پلیو-کواترنر آذربایجان را تشکیل می‌دهند. ادامه این واحدها در خاور آناتولی و قفقاز و ارمنستان نیز قابل مشاهده است. فلات وسیع و مرتفع شمال باختر ایران و خاور آناتولی و قفقاز از میوسن میانی تا کواترنر شاهد رخداد‌های ماگمایی مشابهی بوده و جایگیری این مجموعه‌ها در امتداد گسل‌های مهم امتدادلغز منطقه و گسل‌ها و شکستگی‌های فرعی آنها است.

۲) سنگ‌های مطالعه شده دارای بافت پورفیری و میکرولیتیک پورفیری است. کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول‌های شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار مهم‌ترین درشت بلورها می‌باشند. در برخی از نمونه‌ها به علت شرایط عدم تعادل در

کانی‌شناسی و میکروسکوپی نمونه‌های سنگی مانند حضور بیگانه‌سنگ‌های آمفیبولیتی و گویچه‌هایی از مواد بازی، آثاری از آمیختگی ماگمای بازی با ماگمای اسیدی، وجود آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای زون‌بندی‌شده با حواشی خورده شده و سوخته و یا کدر شده، بافت باخترالی، گلوپورفیری و پویی‌کلیتیک، بالا بودن نسبت Na_2O/K_2O ، الگوی تفریق یافته برای REE، نبود بی‌هنجاری منفی برای Eu، پایین بودن Y, Ti, Nb و الگوی تهی‌شده از HREE از جمله ویژگی‌هایی هستند که باید در مدل سنگ‌زادی پیشنهادی در نظر گرفته شوند. برای تعیین محیط زمین‌ساختی نمونه‌های مورد مطالعه از نمودارهای پیشنهادی (Muller & Groves 1997) برای تفکیک موقعیت ماگماتیسزم کمانی از درون صفحه‌ای و همچنین تفکیک کمان‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره و کمان‌های ماگمایی پس برخوردی استفاده شده است و اغلب نمونه‌ها در موقعیت کمان‌های پس برخوردی و حاشیه فعال قاره قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳).

در نقشه‌های زمین‌ساخت جهانی، ایران جزئی از حاشیه فعال قاره‌ای در نظر گرفته می‌شود و در نهایت بخشی از زون برخوردی قاره-قاره و متعلق به نوار کوهزایی آلپ-همالیا محسوب شده است.

با ادامه همگرایی صفحه‌های عربستان و اوراسیا دور جدیدی از آتشفشانی برخوردی در شمال باختر ایران و خاور آناتولی در میو-پلیوسن شروع شد. در اثر کوتاه‌شدگی و بالا آمدگی قابل توجه پوسته‌ای در فلات ایران-آناتولی در اثر آشفته‌گی گرمایی (Thermal perturbation) در گوشته سنگ‌کره‌ای ستر شده ذوب بخشی اتفاق افتاده و ماگمای بازی قلیایی به‌وجود آمد (Pearce et al., 1990). صعود این ماگمای بازی داغ و استقرار آن در پوسته زیرین سبب توسعه ذوب بخشی در این ناحیه شده و ماگماهای اسیدی شکل گرفت. آمیختگی ماگماهای بازی و اسیدی در بخش‌های میانی حجره ماگمایی سبب تشکیل مذاب‌هایی با ترکیب حدواسط شده است. فعالیت آتشفشانی دونمایی در آذربایجان با فوران‌های انفجاری آغاز شده و ابتدا مذاب‌های اسیدی از حجره ماگمایی خارج شده و سنگ‌های ریولیتی و داسیتی با ترکیب اسیدی را ساخته است. سپس با ادامه فعالیت آتشفشانی ماگمای هیبرید شده با ترکیب حدواسط تا بازی فوران نموده و سنگ‌های آندزیتی و آندزیت‌های بازالتی را به‌وجود آورده است. در آخرین مرحله، فوران‌های بازالتی قلیایی اولیوین‌دار از بخش بازی حجره ماگمایی به‌وقوع پیوسته است و سنگ‌های بازالتی اولیوین‌دار جوان آذربایجان را به‌وجود آورده است. این نوع توالی‌ها سری‌های معکوس آتشفشانی را ایجاد می‌کنند که در آن دو نوع ماگما با ترکیب شیمیایی متفاوت در روی هم قرار می‌گیرند به‌طوری که سری‌های اسیدی و حدواسط در پایین و واحدهای بازی در بالا قرار می‌گیرند.

شمال باختر ایران باید به سری‌های معکوس و دونمایی آتشفشانی توجه ویژه مبذول شود. به گونه‌ای که فعالیت‌های آتشفشانی بعد از میوسن در منطقه آذربایجان، ابتدا با واحدهای سنگی اسیدی شروع شده و سپس واحدهای بازی قلیایی در روی آنها قرار می‌گیرند. چنین توالی با مخازن ماگمایی زون‌بندی شده قابل توجیه است. استقرار ماگمای بازی و قلیایی اولیه در مناطق عمقی پوسته، سبب ذوب بخشی پوسته شده و ماگمای اسیدی شکل گرفته است. ماگمای کم چگال اسیدی، مانند فیلتری مانع عبور مذاب بازی به سطوح بالاتر می‌شود و در اثر آمیختگی ماگمای یک بخش حدواسط بین ماگمای اسید و بازی شکل می‌گیرد. با شروع فوران ابتدا ماگمای اسید به بیرون راه پیدا می‌کند و در ادامه ماگماهای حدواسط با شواهد آمیختگی بین ماگمای اسید و بازی تشکیل می‌شود و در نهایت در ادامه فعالیت آتشفشانی در اثر فعالیت گسل‌ها و حاکمیت رژیم‌های زمین‌ساختی کششی، ماگماهای بازی عمقی فوران کرده و بدون علائم قابل توجه آلایشی و با سرعت زیاد به سطح می‌رسند. این گدازه‌ها در منطقه آذربایجان تشکیل بازالت‌های قلیایی اولیه‌ترین دار را داده‌اند. نمونه شاخصی از سری معکوس آتشفشانی در منطقه منور در شمال تبریز قرار دارد.

تبلور ماگما، احتمالاً به علت تغییر سریع ژرفا و یا آمیختگی، آمفیبول‌ها و کلینوپیلروکسن‌ها دارای حواشی واکنشی و خورده شده بوده، بلورها کدر و دارای زون‌بندی هستند. بویژه در سنگ‌های داسیتی کانی‌های تیره به شدت دگرسان شده‌اند.

(۳) در برخی از نمونه‌های آندزیتی، قطعات و تکه‌هایی از سنگ‌های بیگانه با ترکیب آمفیبولیتی و بازی دیده می‌شود.

۴) سری ماگمایی سنگ‌ها، کلسیمی-قلیایی بوده و اغلب متا آلومینوس هستند. غنی شدگی LILE و تهی شدگی در عناصر Y, Nb, HREE و الگوی تفریق یافته برای REE و نبود بی‌هنجاری منفی Eu از ویژگی‌های مورد مطالعه است.

(۵) محیط زمین‌ساختی نمونه‌های مطالعه شده کمان‌های پس برخوردی و کمان‌های حاشیه فعال قاره‌ای تعیین شده است.

۶) با توجه به بالا آمدگی در منطقه برخوردی، و ستبرای زیاد پوسته، امکان فرایندهای (AFC) با مواد پوسته‌ای وجود داشته و این مسئله با شواهد کانی‌شناسی و نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و فرعی قابل درک است.

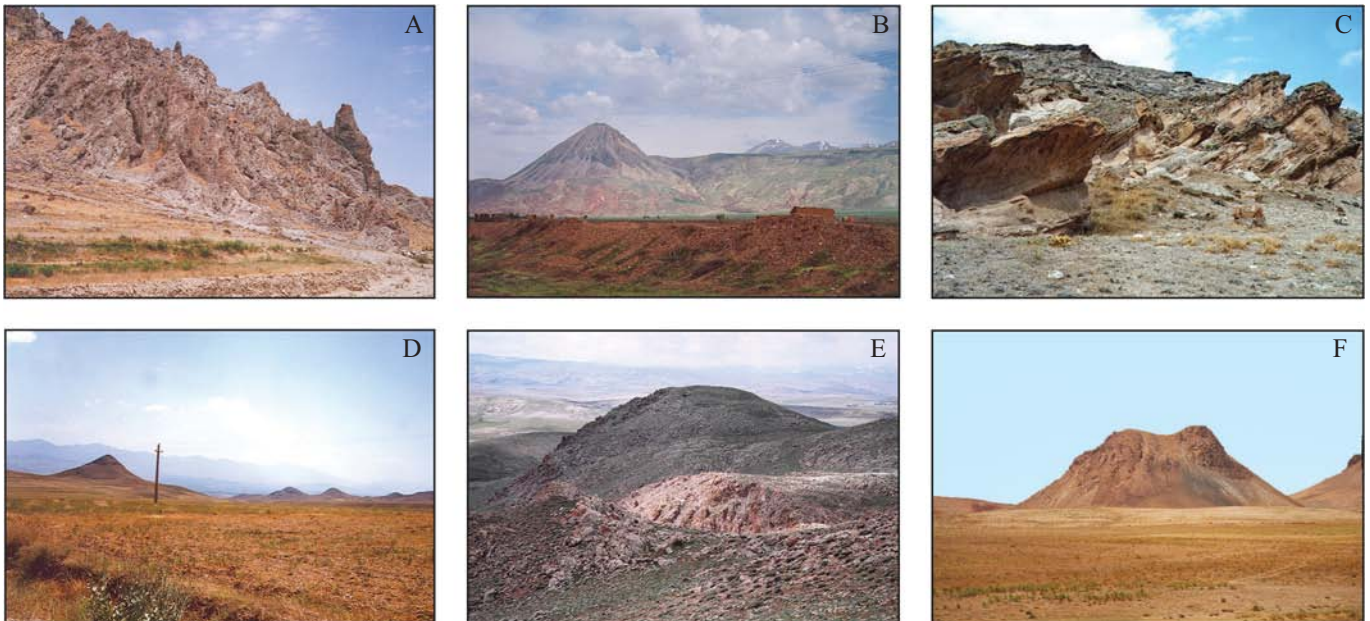
(۷) در مطالعه تحولات ماگمای تشکیل دهنده واحدهای کلسیمی - قلیایی

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی، پیلو- کوآترنر آذربایجان، اکسیدهای اصلی، به درصد و عناصر فرعی، و کمیات به ppm می‌باشد.

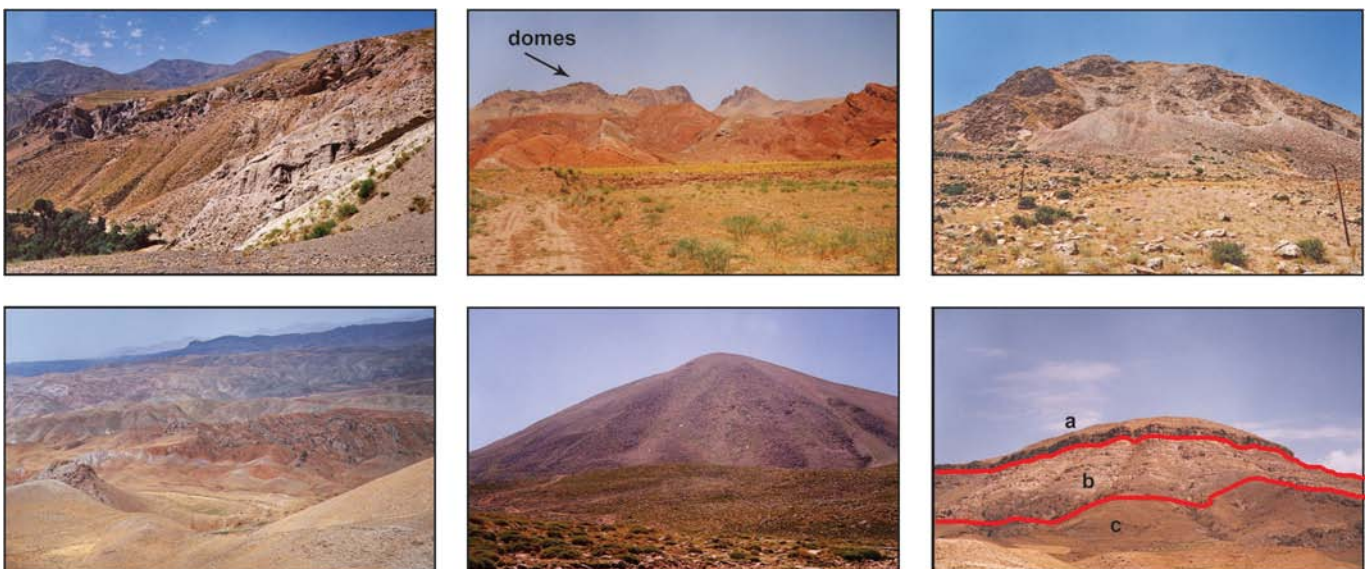
Location	سید						قلمه ل						منور													
Sample	SAHL10	SAHD7	SAHD8	SAHL1	SAHL8	SAHL4	GHAD3	SOL1	SOL2	SOL3	SOP2	SOP4	SOP5	SOP13	MO1	MO2	MO4	MO5	MOB1	MOB4	BAH	BAHD	MYAB6	ANA	ANB	ANA1LA
SiO2	66.93	69.29	69.41	66.36	66.6	67.53	67.56	55.92	65.44	63.56	62.02	58	62.18	66.65	60.1	54.49	68.71	62.25	61.62	62.49	69.08	69.18	55.46	55.98	54.55	64.44
TiO2	0.44	0.35	0.31	0.31	0.41	0.47	0.33	0.85	0.71	0.64	0.68	0.85	0.67	0.52	0.88	1.14	0.52	1.03	0.82	0.75	0.27	0.35	0.79	0.9	0.91	0.52
Al2O3	16.79	16.14	16.45	19.99	16.2	16	15.92	17.29	14.03	16.8	16.37	17.14	16.45	16.05	16.76	16.44	16.84	18.3	16.19	16.42	15.91	16	18.29	18.05	18.07	16.8
P2O3i	3.05	2.1	2.13	1.87	2.69	2.64	2.69	7.29	3.89	4.02	4.42	6.7	2.41	3.13	4.49	7.75	2.12	3.54	4.93	4.3	2.17	2.02	7.15	7.11	8.02	3.5
Fe2O3	1.44	1.08	1.05	0.93	1.31	1.29	1.28	2.72	1.86	1.81	1.97	2.7	2.41	1.45	2.02	3.25	1.03	1.62	2.17	2.02	1.1	1.06	3.49	3.2	3	1.61
FeO	1.49	0.99	1.04	0.93	1.3	1.28	1.32	4.07	1.86	2.02	2.22	3.56	2.61	1.56	2.46	4.49	1.08	1.91	2.76	2.27	1.06	0.94	5.23	3.91	4.54	1.74
MnO	0.04	0.04	0.04	0.03	0.06	0.04	0.04	0.14	0.05	0.06	0.07	0.17	0.06	0.04	0.07	0.11	0.02	0.04	0.054	0.088	0.01	0.01	0.17	0.11	0.16	0.05
CaO	0.43	0.99	1.05	0.81	1.07	1.03	1.06	0.35	2.33	0.78	2.73	3.08	1.28	1.79	2.99	4.76	0.31	1.12	2.76	3.02	1.09	0.9	3.09	3.12	3.31	1.75
MgO	2.89	3.32	3.44	3.1	3.38	3.26	3.93	6.9	4.39	5.34	5.04	6.97	4.75	3.66	6.93	7.65	2.92	3.14	5.49	5.12	3.28	2.58	8	4.21	8.05	4.85
Na2O	4.15	4.55	4.74	4.64	4.27	4.59	3.8	3.31	5.26	4.22	5.03	4.02	4.06	3.53	4.71	4.59	4.12	4.71	4.46	4.34	3.97	4.63	3.76	6.2	3.61	4.68
K2O	2.45	1.88	1.85	1.88	2.3	2.29	2.76	1.95	1.79	1.75	1.8	1.61	3.06	1.79	1.94	1.17	1.95	1.84	1.78	2.14	3.1	2.97	1.27	0.86	1.03	1.89
P2O5	0.17	0.12	0.1	0.11	0.16	0.15	0.12	0.24	0.45	0.25	0.33	0.28	0.26	0.19	0.37	0.33	0.09	0.25	0.25	0.3	0.12	0.11	0.33	0.26	0.27	0.27
Total	99.39	99.24	100.05	99.7	99.48	99.95	99.62	99.79	99.97	98.47	100.05	99.94	99.41	99.96	100.5	100.58	100.15	100.41	100.64	100.43	99.62	99.41	99.94	99.76	99.98	100
LOI	1.92	0.34	0.43	0.48	2.22	1.82	1.21	6.17	1.45	0.87	1.4	0.96	1.1	0.64	1.28	2.15	2.53	4.19	2.29	1.46	0.62	0.48	1.43	2.87	1.89	0.89
Ba	774	515	507	580	683	428	1025	917	669	1085	711	855	1235	635	530	1100	850	1400	1200	1200	590	966	814	780	452	859
Rb	56.6	45.4	50.9	45.4	51.4	35.3	70.5	60.9	43	45	41	43.3	73.7	41.5	97	93	68	86	38	120	84	80.2	50	88	28.1	39.8
Sr	515	431	442	457	436	291	600	479	1020	616	736	568	609	657	100	210	140	250	150	170	97	516	543	462	785	
Y	7.3	5.1	4.9	4.4	7.5	4.8	5.1	24.4	8.6	15.7	10.1	16.8	15.6	5.8							4.6	23.2	23.2	7.7		
Zr	151	111	113	124	123	78	115	155	136	133	124	134	165	107	130	280	220	360	320	310	240	129	132	127	128	
Nb	11.4	7.7	7.6	8.8	10.2	6.9	9.3	9.6	20	8.3	14.1	8.6	13.6	9.2							9	11.4	10.2	14.1		
Pb	9.34	7.67	7.97	8.44	7.17	4.81	8.4	9.42	9.63	6.5	7.58	7.28	9.77	6	40	24	71	26	34	35	36	9.68	6.71	4.14	6.73	
Th	20	14	14	13	14	9	12	12	14	14	12	15	15	11	40	24	71	26	34	35	36	11	44	34	14	
Ga	23.9	15.2	16	16.6	23.9	23.7	16.3	18.6	16.7	18.5	19.9	17.8	17.8	15.2	170	190	250	260	210	190	150	18.8	16.2	180	21.6	
Zn	57	39	40	44	50	32	33	108	61	72	63	92	67	48	6	7	6	7	5	6	6	12	288	8	114	
Cu	42	13	22	18	29	19	23	84	22	15	24	22	32	23	42	35	38	31	36	37	29	6	21	36	56	
Ni	31	7	5	5	20	16	5	5	23	5	64	5	5	22	93	85	57	79	98	100	66	5	5	5	5	
V	61	31	23	27	50	31	27	188	82	112	88	155	115	54	210	180	180	170	180	180	180	24	161	163	45	
Cr	20	20	20	20	20	10	20	10	40	10	70	20	20	50	170	190	190	260	210	190	150	20	10	0	30	
Co	7.8	5.6	6.1	4.9	6.9	4.4	8.5	21.4	12.3	7	13.7	15.2	11.5	8.9	40	24	71	26	34	35	38	42	15.5		21.9	
La	31	20	2	25	24.5	16.4	24.9	26.2	38.3	21.9	27.3	24.6	32.5	20.1								32.7	28		20.9	
Ce	50	31.1	31.9	37.9	41.4	26.7	38.4	58.0	70.2	42	49.5	46.4	57.6	39.4	93	85	57	79	98	100	66	47.5	53	76	41.8	
Pr	5.38	3.07	3.07	3.67	4.21	2.93	3.59	6.07	7.88	4.96	5.56	5.52	6.55	4.66	64	46	73	71	59	43	38	4.27	6.2	33	5.08	
Nd	18.8	10.2	10.6	12.1	14.7	10.8	11.7	23	27.7	19.5	19.2	20.8	22.7	17.2								13.4	23.3		19.8	
Sm	2.74	1.86	1.69	1.93	2.42	1.8	1.81	4.73	4.45	3.72	3.36	4.31	3.94	2.56								1.91	4.68		4.13	
Eu	0.88	0.51	0.53	0.53	0.74	0.45	0.81	1.24	1.08	1.01	1.06	1.24	1.09	0.72								0.56	1.35		1.34	
Gd	2.5	1.58	1.68	1.61	2.29	1.52	1.69	4.3	3.53	3.31	3.1	3.74	3.64	2.19	1	2.1	1.4	2.5	1.5	1.7	0.97	1.8	4.59	2.6	4.22	
Tb	0.3	0.2	0.2	0.19	0.29	0.18	0.21	0.72	0.41	0.5	0.35	0.6	0.48	0.27								0.18	0.69		0.69	
Dy	1.48	1.17	1.01	1.06	1.39	0.96	0.93	4.39	1.84	2.97	2.02	3.65	2.91	1.25								0.95	4.24		4.29	
Ho	0.25	0.190	0.15	0.24	0.16	0.19	0.85	0.31	0.58	0.36	0.74	0.55	0.24									0.16	0.94		0.88	
Er	0.67	0.57	0.5	0.43	0.71	0.44	0.53	2.6	0.87	1.64	1.07	1.97	1.71	0.62								0.47	2.68		2.61	
Tm	0.11	0.08	0.07	0.07	0.11	0.06	0.07	0.43	0.12	0.24	0.15	0.31	0.24	0.07								0.07	0.42		0.39	
Yb	0.57	0.49	0.47	0.43	0.61	0.42	0.47	2.65	0.71	1.63	0.84	2.14	1.53	0.52	0.63	1.2	0.79	0.95	1.6	1.5	0.73	0.4	2.77		2.77	
Lu	0.09	0.07	0.06	0.06	0.1	0.04	0.07	0.4	0.1	0.24	0.12	0.32	0.25	0.07	0.21	0.16	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.07	0.41	0.23	0.41	

ادامه جدول ۱

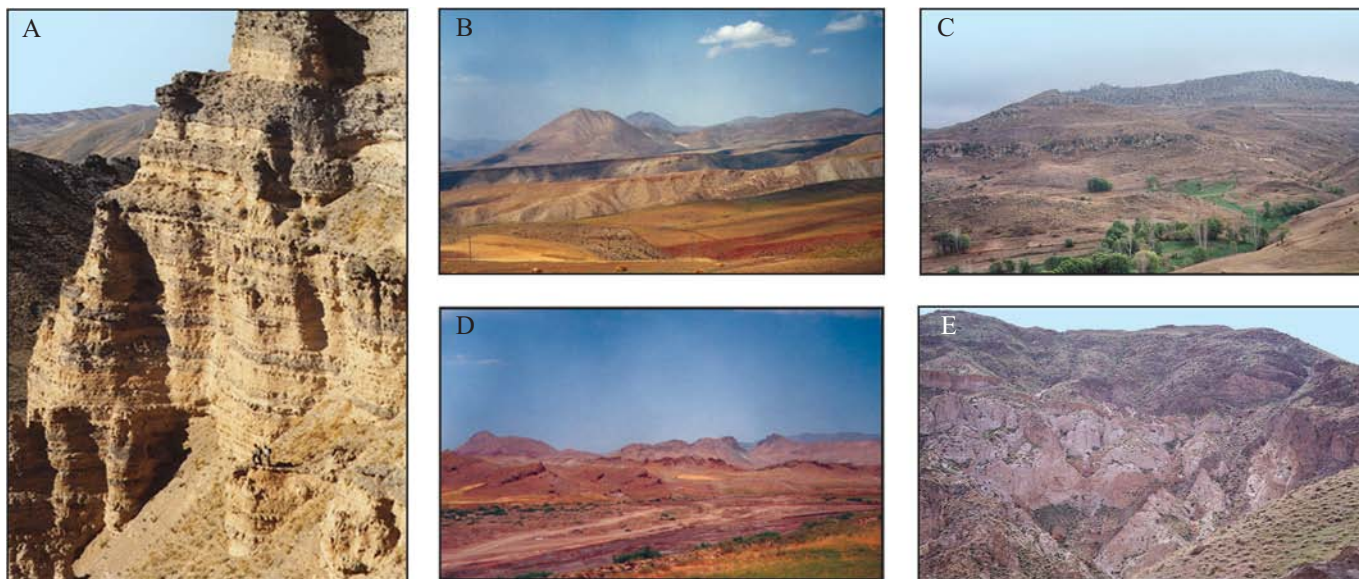
Location	مرکز-کلیسای تانک																									
Sample	AND3	MAK4	MAK3	MAK9	MAK13	MAK11	GED1	ZA3	ZA2	VA1	VA2	MBD10	MBD6	MA3	MBD4	MBD1	MBOR	AHP7	AH3	AHP4	AHP6	AHD1	AH-VA3	AH-VA7		
SiO ₂	63.02	56.17	53.21	53.31	61.11	64.67	66.3	70.44	61.88	59.7	59.5	56.54	53.44	62.03	66.57	68.01	74.18	57.85	58.33	58.59	58.75	59.21	59.27	63.55		
TiO ₂	0.7	1.14	1.09	1.41	0.81	0.54	0.3	0.2	0.68	0.88	0.96	0.73	0.9	0.64	0.45	0.4	0.1	0.83	0.9	0.65	0.85	0.94	0.68	1.22		
Al ₂ O ₃	15.59	16.61	14.43	17.17	17.21	17.31	16.62	16.08	17.61	16.87	16.3	18.79	18.2	15.74	16.25	16.03	14.96	17.29	17.93	17.21	16.85	17.8	17.2	14.43		
FeO	6.07	6.55	7.07	7.78	5.21	3.49	1.81	2.61	4.74	4.68	5.33	6.73	7.94	6.08	2.68	2.65	0.7	7.09	5.21	6.64	6.73	5.84	6.39	7.77		
Fe ₂ O ₃	2.22	2.96	2.85	3.07	2.5	1.78	1.89	1.43	2.41	2.29	2.58	3.02	3.25	2.5	1.3	1.29	0.42	2.65	2.46	2.54	2.65	2.3	2.51	3.35		
MnO	0.1	0.06	0.11	0.07	0.08	0.02	0.03	0.04	0.05	0.09	0.09	0.14	0.11	0.11	0.04	0.03	0.02	0.12	0.07	0.15	0.12	0.31	0.12	0.11		
MgO	1.48	3.06	5.11	2.88	1.84	0.46	0.04	0.11	2.27	3.61	3.33	2.21	3	1.61	1.37	1.45	0.1	2.69	2.12	2.88	2.74	2.36	2.09	5.98		
CaO	6.34	6.29	8.25	7.57	4.48	2.64	2.33	1.85	3.61	5.11	6.01	4.41	5.8	5.66	3.9	3.49	1.4	7.13	6.52	6.88	6.56	6.79	5.96	7.55		
Na ₂ O	3.36	4.95	4.08	3.37	4.5	5.38	8.6	4.34	4.09	4.71	4.96	7.56	6.09	4.01	4.72	4.89	3.87	3.33	5.45	3.37	3.42	3.53	3.38	4.73		
K ₂ O	1.54	3.15	2.58	3.02	3.04	3.43	0.39	4.2	4.26	3.35	3.11	0.77	1.13	1.56	2.03	1.71	2.55	1.13	1.65	1.27	1.3	1.13	1.41	1.54		
P ₂ O ₅	0.3	0.66	0.86	0.68	0.34	0.19	0.16	0.1	0.23	0.37	0.37	0.35	0.39	0.29	0.17	0.17	0.11	0.19	0.8	0.2	0.19	0.2	0.22	0.67		
Total	100.1	99.93	99.9	99.67	99.94	99.58	98.84	100.56	100.56	99.47	100.62	99.75	99.07	99.5	99.77	99.89	98.61	99.73	99.68	100	99.38	99.84	99.81	99.72		
LOI	1.43	1.01	2.82	2.18	0.91	1.24	2.3	0.59	1.13	0.37	0.65	1.44	1.91	1.6	1.43	0.85	0.49	1.98	0.85	2.04	1.79	1.89	2.74	0.62		
Ba	805	1360	1405	1255	1220	880	220	1600	1300	790	1200	295	954	1010	719	658	398	387	691	620	400	833	685	876		
Rb	38.8	82.8	71.7	93.3	92.7	118	6.8	140	84	74	96	10.8	16.1	31.5	55.1	41.8	20.8	26.5	23.4	24.3	27.2	16.5	36.8	22		
Sr	520	1175	1020	968	748	728	110.5	53	150	79	160	281	301	593	281	592	561	351	1500	500	345	532	514	1337		
Y	18.7	19.7	22.2	28.1	18.9	9.8	12.1					25.7	27.8	16.9	5.4	5.5	32	17.6	8.7	15.7	17.9	15.7	14.2			
Zr	136	281	283	197	146	184	88					181	184	137	112	110	253	115	143	111	123	88	119			
Nb	12.4	35.1	34.6	15.3	14.2	12.3	4.5					9.6	10.5	10.4	26.1	8.3	23.1	8.3	7.8	7	7	10.5				
Th	6.76	20.7	25.9	14.1	14.65	12.45	2.54					7.72	6.85	9.3	7.1	6.93	4.27	4.87	8.36	7.14	5.04	5.09	7.33	48		
Pb	11	27	25	70	39	22	5	32	30	32	23	8	15	14	11	33	5	10	12	7	9	13	32	10		
Ga	19.9	20.1	23.9	20.4	21.1	23.7	20.8	27	10	28	12	19.6	19.8	17.8	15.8	16.2	20.4	23.4	28.1	21.7	23.6	24	25.7	22.6		
Zn	77	84	88	224	88	95	16	5	6	5	6.3	105	65	84	35	35	145	82	86	71	80	75	75			
Cu	39	28	79	42	10	23	6	33	33	37	30	19	8	23	25	20	24	31	38	41	27	26	34	28.9		
Ni	5	27	91	25	5	9	18					5	5	5	13	16	5	5	8	29	5	5	14			
V	113	158	153	227	113	68	35					115	163	122	48	45	213	170	126	116	150	111	109			
Cr	10	130	230	60	10	50	10					10	10	10	10	20	30	60	60	40	50					
Co	12.4	17.7	24.5	31.5	11.9	7.8	2					9.5	14	14.3	7.7	6.8	30.8	20.1	17.2	17.5	17.1	18.1	16.9			
La	29.5	73.6	58.9	51.8	39	26.8	9.4					30.1	32.1	47.7	22.3	22.5	36.5	20	49	30	22.4	22.5	32	22		
Ce	55	135.5	114	101.5	75.5	48.9	18.5	120				65.5	63.5	79.4	37.8	37.5	72.7	37.3	87.2	50	38.9	39.2	53.6	11		
Pr	6.34	15.15	13.45	12.2	6.71	5.37	2.25	67	48	97	78	45	80.9	7.79	8.39	3.89	3.95	8.05	4.38	9.35	5.3	4.54	4.96	5.57		
Nd	24.7	54.3	55.4	46.9	32.3	19.9	9.1					31	30.4	27.2	13.5	13.3	35.3	16.8	32.4	20.5	17.3	19.7	21.6			
Sm	4.77	9.03	9.73	8.85	8.04	3.06	1.84					4.23	2.22	4.23	2.22	2.18	7.06	3.61	5.16	3.66	3.45	3.72	3.98			
Eu	1.38	2.13	2.35	2.19	1.48	0.89	0.85					1.69	1.75	1.19	0.58	0.64	1.98	1.07	1.31	1.18	1.07	1.09	1.13			
Gd	4.05	7.26	8.02	7.8	5.24	2.95	2.05					5.06	5.64	3.79	1.75	1.76	6.53	3.15	4.06	3.66	3.28	3.33	3.41			
Tb	0.61	0.91	1	1.07	0.73	0.38	0.34					0.55	0.87	0.55	0.24	0.26	0.98	0.5	0.44	0.52	0.54	0.5	0.49			
Dy	3.54	4.3	4.73	5.32	3.87	1.8	1.93					4.93	5.32	2.94	1.19	1.17	6.21	3.31	2.05	2.74	2.37	2.92	3.1			
Ho	0.75	0.79	0.8	0.71	0.35	0.44						0.95	1.09	0.64	0.2	0.19	1.2	0.66	0.32	0.56	0.68	0.62	0.54			
Er	2.11	2	2.28	2.95	1.89	0.96	1.21					2.85	3.02	1.79	0.57	0.58	3.32	1.99	0.85	1.63	1.96	1.74	1.67			
Tm	0.31	0.28	0.32	0.42	0.28	0.15	0.2					0.48	0.49	0.28	0.09	0.09	0.49	0.3	0.13	0.24	0.31	0.28	0.24			
Yb	2.02	1.84	1.87	2.46	1.88	0.98	1.31					3.15	3.27	1.67	0.43	0.43	1.57	1.67	0.85	1.64	1.72	1.68	1.68			
Lu	0.34	0.23	0.25	0.37	0.29	0.15	0.2	0.19	0.2	0.16	0.14	0.44	0.49	0.27	0.07	0.07	0.49	0.29	0.11	0.27	0.33	0.26	0.28	0.18		
سراب																										
AH-VA9	63.08	62.04	64.17	64.88	64.88	70.26	59.28	59.46	59.54	59.92	57.68	66.28	58.24	69.79	56.83	79.15	59.15	62.73	61.18	63.49	59.05	59.61	63.64	65.07		
AH-VA6	0.7	0.8	0.5	0.7	0.6	0.4	0.73	0.76	0.73	0.76	0.92	0.56	1.35	0.53	0.82	0.24	0.94	0.55	0.62	0.49	0.64	0.61	0.47	0.45		
AH-VA10	14.49	15.59	14.03	13.78	14.64	13.48	17.72	17.98	17.44	17.4	17.15	15.65	17.77	15.44	18	8.54	17.14	16.44	16.55	16.08	18.11	17.42	15.86	15.93		
SRAD1	4.25	6.66	6.28	6.33	5.89	3.27	5.83	5.86	6.08	5.18	6.1	3.04	5.6	2.33	6.78	0.9	5.51	5.27	6.11	4.72	3.4	3.92	2.85	2.86		
SRAD5	1.9	2.75	2.57	2.61	2.43	1.64	2.47	2.64	2.62	2.46	2.53	1.53	2.61	1.36	2.78	0.52	2.34	2.17	2.52	2	1.78	1.68	1.36	1.38		
SRAD4	2.14	3.48	3.27	3.3	3.08	1.5	3	2.86	3.07	2.68	3.2	1.41	2.71	0.84	3.53	0.48	2.88	2.77	3.19	2.44	1.56	2.05	1.4	1.38		
SRAB3	0.05	0.19	0.12	0.09	0.03	0.02	0.12	0.12	0.12	0.1	0.1	0.05	0.04	0.04	0.13	0.05	0.08	0.12	0.12	0.11	0.08	0.05	0.05	0.04		
SRAB5	2.13	2.02	2.91	2.32	1.57	1.29	2.28	1.85	1.9	2.59	3.37	1.33	1.1	0.19	2.82	0.13	2.65	2.18	1.9	2.22	4.08	3.89	1.28	0.95		
SS10	6.23	6.22	6.04	6.19	5.11	2.81	5.36	5.37	5.22	6.08	2.97	4.07	5.07	4.07	5.07	2.65	5.34	6.05	5.34	4.18	6.35	4.87	4.23			
SAL	4.54	3.66	3.28	2.8	3.1	3.93	4.04	4.09	3.99	3.67	3.55	4.52	4.91	4.66	3.81	1.69	3.87	3.95	3.09	4.13	5.62	5.51	4.53	4.67		
SALA2	1.56	1.4	1.22	1.36	1.41	2.48	2.78	2.87	2.87	2.89	2.59	3.33	2.93	5.27	2.34	3.41	2.68	1.57	1.687							



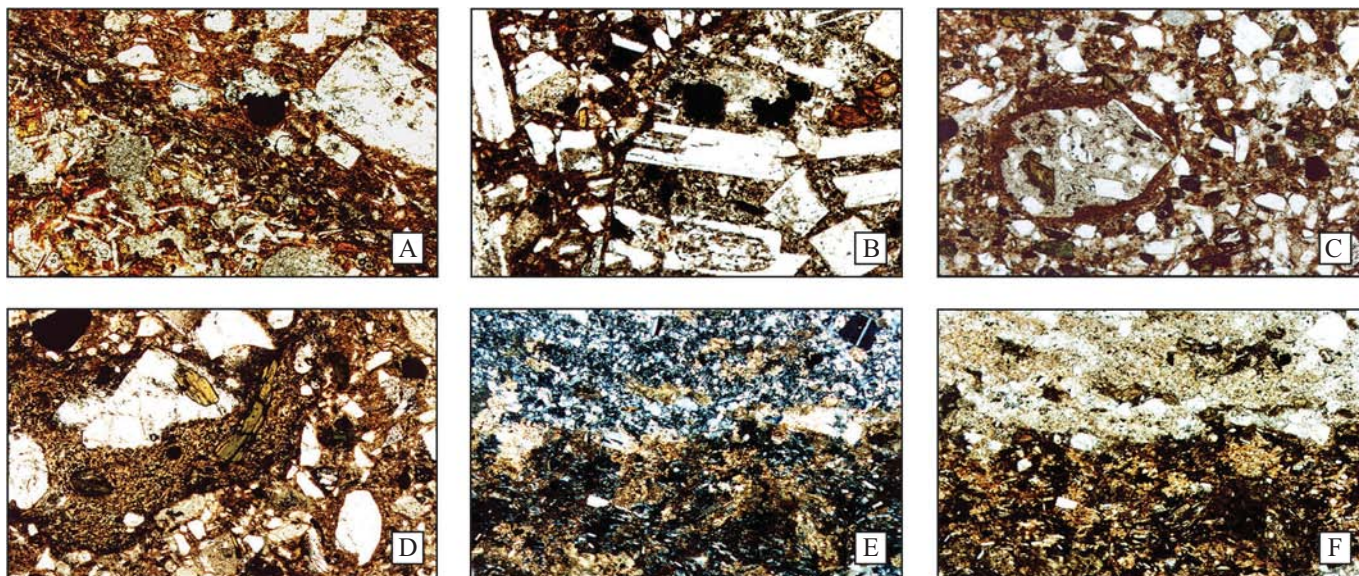
شکل ۲- نمایی از واحدهای آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان. A) واحدهای آندزیتی منور در شمال تبریز- دید به سمت شمال خاور. B) گنبد گچی قلعه سی در باختر مرنند- دید به سمت جنوب باختر. C) واحدهای آذرآواری سراب- سرعین- دید به سمت شمال باختر. D) گنبد های (دم) ریو داسیتی در بناب و کوهتاب مرنند- دید به سمت شمال خاور. E) گنبد های آندزیتی در جاده اهر- ورزقان- دید به سمت خاور. F) گنبد قلعه لر در جاده تبریز- اهر (منطقه خواجه)- دید به سمت خاور.



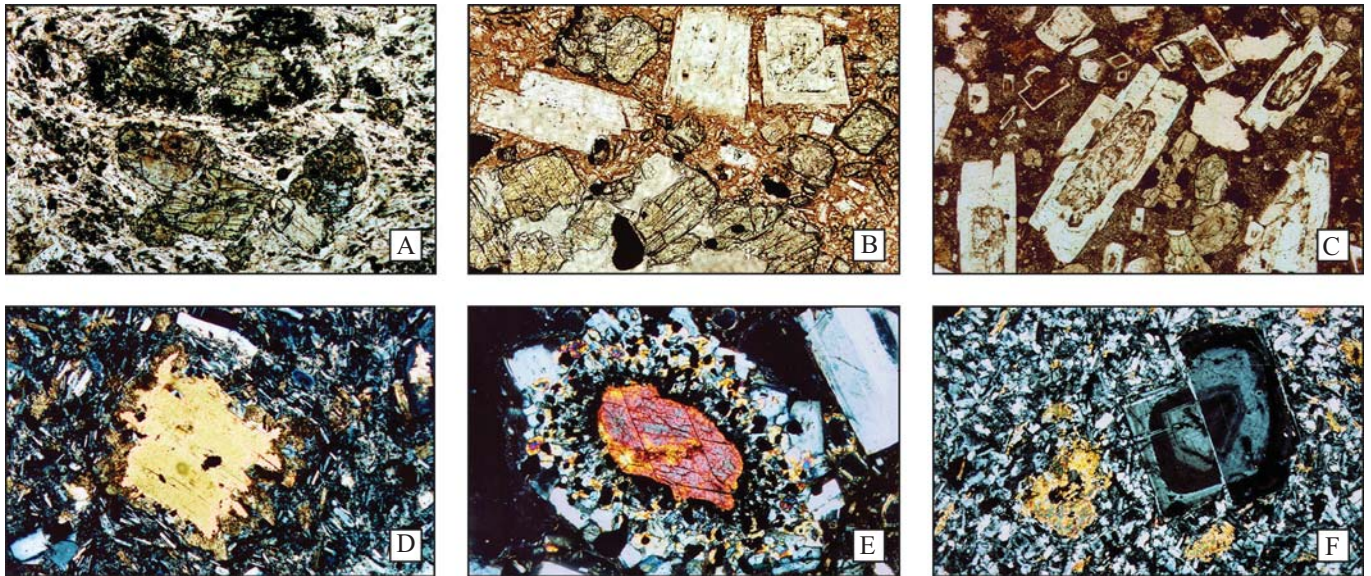
شکل ۳- نمایی از واحدهای آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان A) واحدهای آذرآواری در روستای انامک در جنوب باختر مرنند- دید به سمت جنوب باختر. B) دم های نیمه آتشفشانی قلعه لر در شمال خاور تبریز- دید به سمت شمال خاور. C) گنبد محبوب آباد واقع در جنوب باختر مرنند- دید به سمت جنوب باختر. D) گنبد بهلول در شمال تبریز- نفوذ گنبد و قطع رسوبات سرخ بالایی میوسن- دید به سمت جنوب. E) گنبد داسیتی در منطقه سهند (متنق) واقع در جنوب تبریز- دید به سمت جنوب. F) نمایی از سری آتشفشانی معکوس منطقه منور در شمال تبریز- a) اولیوین بازالت قلیایی- b) آذرآواری ها c) آندزیت- دید به سمت شمال



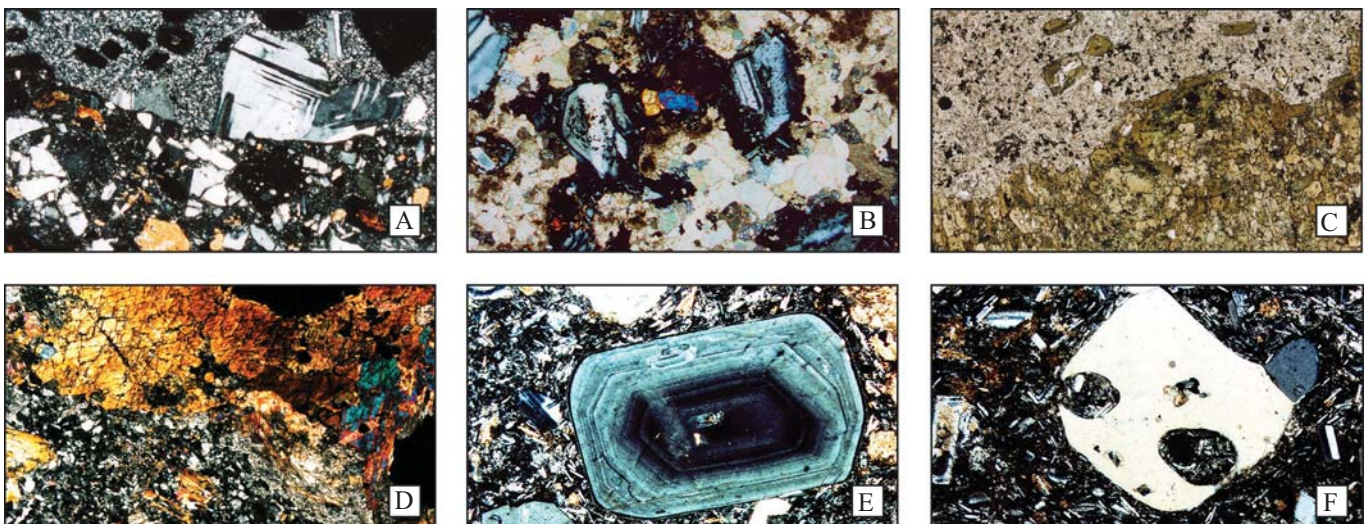
شکل ۴- نمایی از واحدهای آتشفشانی کلسیمی - قلیایی پلیو- کواترنر آذربایجان (A) واحدهای آذرآواری پلیوسن در منطقه شمال منور (ایوند) در شمال تبریز- دید به سمت شمال. (B) گنبدهای نیمه آتشفشانی منطقه زنوز واقع در شمال مرنند- دید به سمت شمال خاور. (C) گدازه‌های آندزیتی منطقه سراب- دید به سمت شمال. (D) گنبدهای خطی شکل قلعه لر در شمال تبریز که از یک روند خطی پیروی می‌کند- دید به سمت شمال خاور. (E) واحدهای آذرآواری و آندزیتی کشکسرای در جنوب باختر مرنند- دید به سمت جنوب باختر.



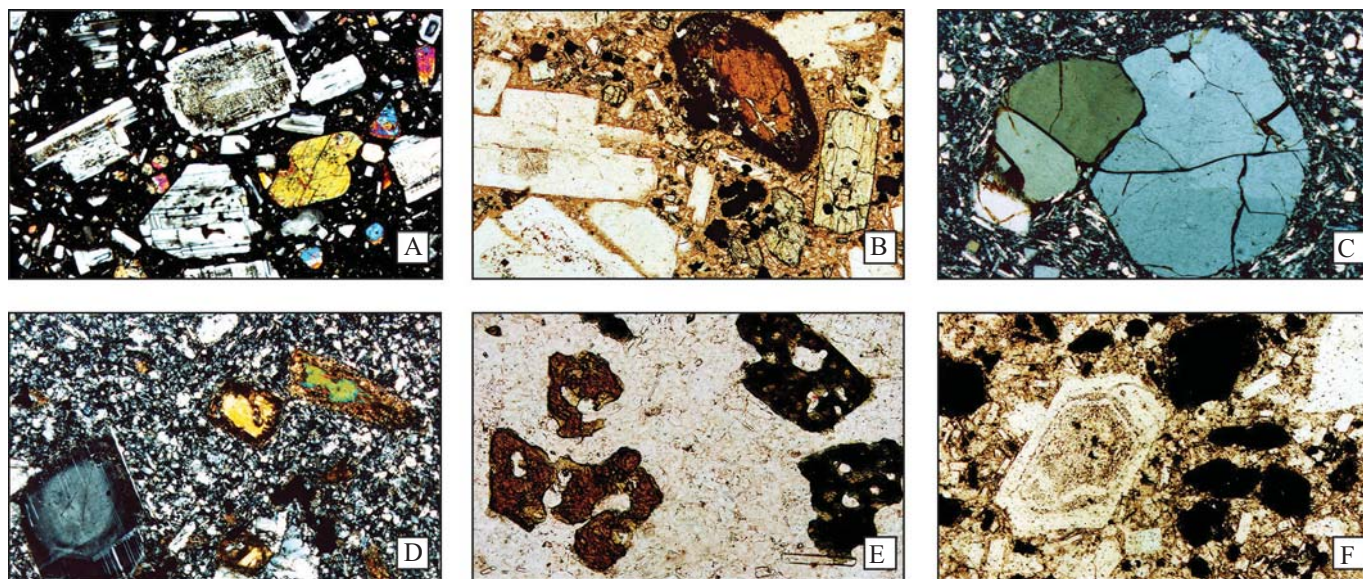
شکل ۵- (A) آثار آمیختگی ماگمای بازی و اسیدی با دو بافت متفاوت- (PPL, 40x)، منطقه اهر. (B) آثار آمیختگی ماگمایی- پلاژیوکلازهای زون‌بندی شده و آمفیبول‌های حاشیه سوخته در بخش تیره- (PPL, 40x)، منطقه مرنند. (C) آثاری از هضم میان‌بارهای هم‌منشأ- سنگی- بلوری (لیتیک کریستال)، توف- قطعه سنگی (لیتیک) با حاشیه اکسیده- (PPL, 40x)، منطقه مرنند. (D) آثاری از برخورد دو نوع مذاب با بافت و کانی‌شناسی متفاوت- (PPL, 40x)، منطقه مرنند. (E) هضم قطعاتی از سنگ‌های آهکی و شیلی در یک مذاب بازیگ- (PPL, 40x)، منطقه زنوز. (F) هضم قطعاتی از آهک و شیل در داخل گدازه‌های آندزیتی، بخش روشن آهک و بخش‌های تیره شیل می‌باشد- (PPL, 40x)، منطقه زنوز.



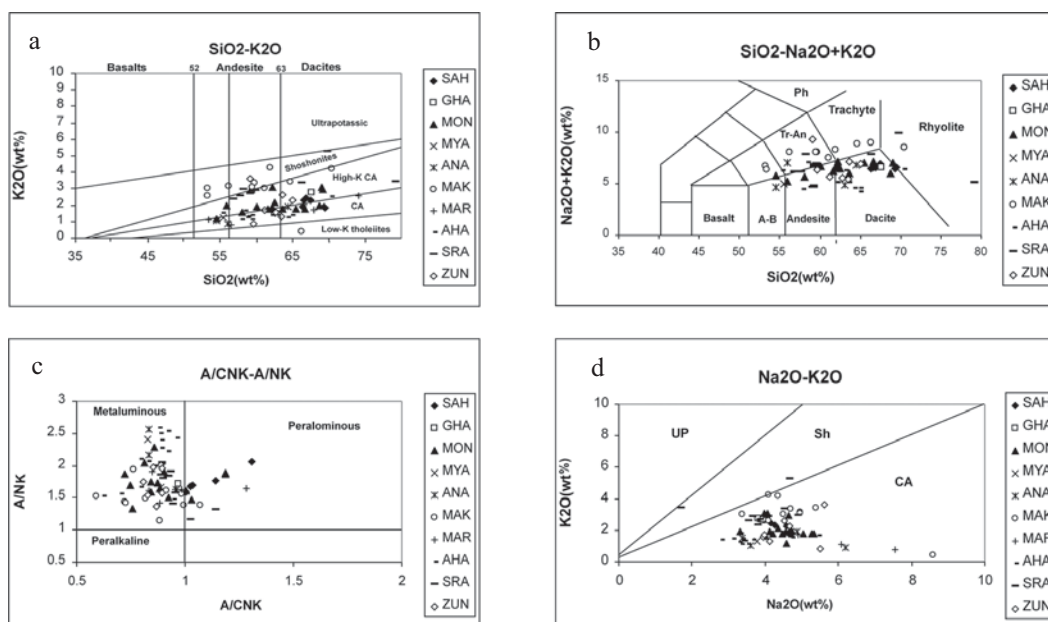
شکل ۶ - A) بافت میکرولیتی پورفیری، جهت دار شدن میکرولیت‌ها در اطراف آمفیبول‌ها و حاشیه کدر - (PPL, 40x)، منطقه انامک. B) بافت پورفیری، خوردگی و انحلال در پلاژیوکلازها - (PPL, 40x)، گنبد‌های آندزیتی منطقه انامک مرنده. C) بافت پورفیری و زون‌بندی در پلاژیوکلازها و بافت باخترالی در مرکز بلورها - (PPL, 40x)، منطقه انامک مرنده. D) آمفیبول با حاشیه خورده شده در نمونه آندزیتی - (PPL, 40x)، منطقه زنوز در شمال مرنده. E) آمفیبول با حاشیه کدر و آزاد شدن اکسید آهن، فلدسپار و کوارتز - (PPL, 40x)، منطقه انامک. F) پلاژیوکلاز با زون‌بندی نوسانی، بافت پورفیری با زمینه ریز بلور از کوارتز و پلاژیوکلاز، آمفیبول‌های بی‌شکل - (PPL, 40x)، گنبد نیمه آتشفشانی بهلول در شمال تبریز.



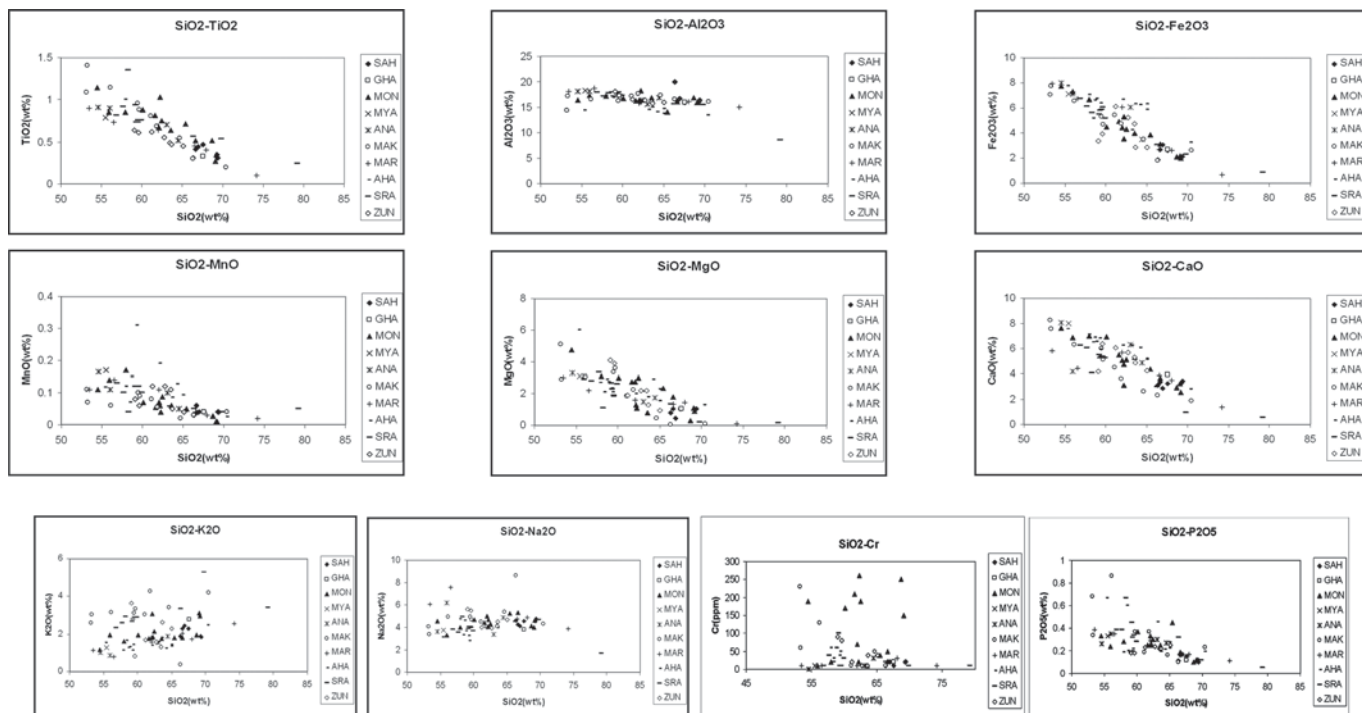
شکل ۷ - A) قرار گرفتن یک قطعه بیگانه‌سنگ داسیتی در مذاب آندزیت بازالتی - (PPL, 40x)، واقع در قره تپه در زنوز. B) تبلور بلورهای کلسیت در خمیره و حد فاصل بلورها، هضم مواد آهکی توسط مذاب آندزیت بازالتی - (PPL, 40x)، در منور واقع در شمال تبریز. C) قرار گرفتن یک قطعه بیگانه‌سنگ آمفیبولیتی ریزبلور در درون گنبد آندزیتی محبوب آباد در جنوب باختر مرنده - (PPL, 40x). D) یک بیگانه‌سنگ آمفیبولیتی در درون بازالت آندزیتی با حاشیه در حال انحلال - (PPL, 40x)، در محبوب آباد مرنده. E) درشت بلور شکل دار پلاژیوکلاز با ساختار زون‌بندی شده - (PPL, 40x)، منطقه زنوز. F) درشت بلور کوارتز با خوردگی خلیجی و بافت باخترالی (غربالی) به همراه پلاژیوکلاز در داسیت - (PPL, 40x)، منطقه زنوز.



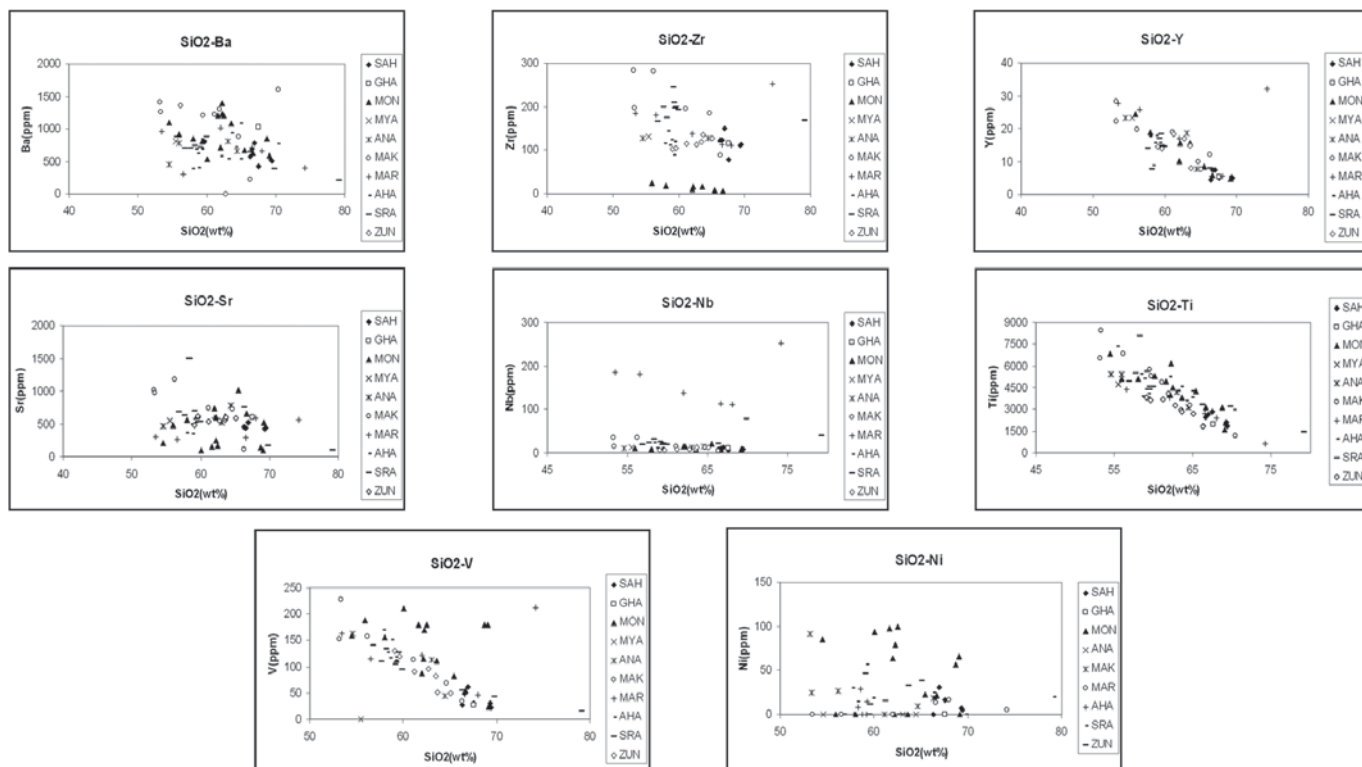
شکل ۸ - A) بافت هیالوپورفیری، پلاژیوکلز با بافت باخترالی و آمفیبول‌های شکل‌دار (PPL، 40x)، از منور. B) بافت پورفیری، آمفیبول‌های حاشیه سوخته، (PPL، 40x)، منطقه انامک در جنوب باختر منرد. C) درشت بلور کوارتز با حواشی گرد شده در داسیت (PPL، 40x)، منطقه کوه‌ناب در خاور منرد. D) درشت بلورهای بیوتیت با حاشیه کدر و سوخته و پلاژیوکلزهای زون‌بندی شده (PPL، 40x)، داسیت‌های منطقه بناب در خاور منرد. E) آمفیبول‌ها با خوردگی‌های خلیجی شکل و بلورهای مدادی شکل آپاتیت در آندزیت (PPL، 40x)، منطقه کلیر. F) آمفیبول‌های ریخت‌نما شده (پسودومرف) با اکسید آهن و پلاژیوکلزهای زون‌بندی شده با بافت باخترالی در آندزیت (PPL، 40x)، منطقه اهر.



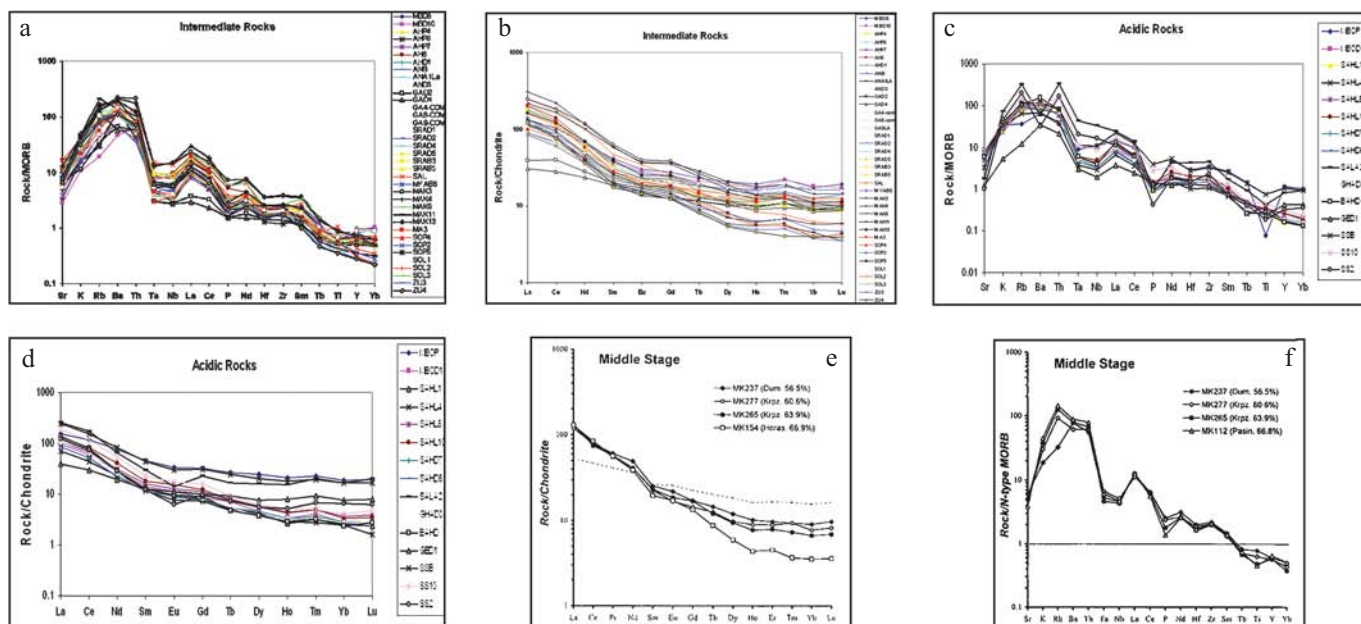
شکل ۹ - a) رده‌بندی سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان در نمودار پیشنهادی (Peccerillo & Taylor 1976) رده‌بندی شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس نمودار پیشنهادی (Le Bas & Le maitre 1989). c) نمودار پیشنهادی (Shand 1979). d) نمودار $\text{Na}_2\text{O}-\text{K}_2\text{O}$ پیشنهادی (Middlemost 1975) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در آن.



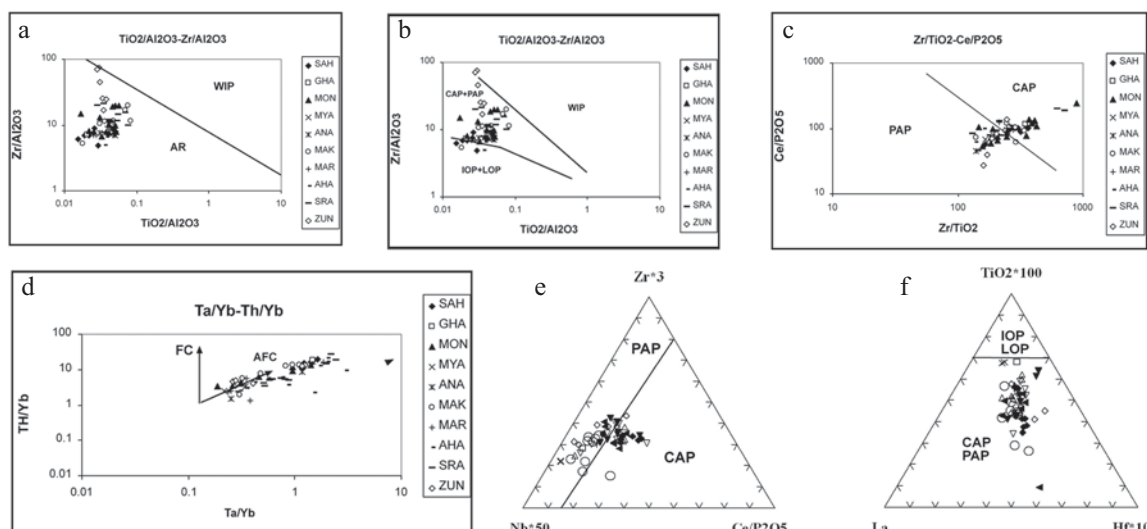
شکل ۱۰ - تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی در برابر SiO_2 برای سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان.



شکل ۱۱- تغییرات عناصر Cr , V , Ni (عناصر تحولی) و سایر عناصر کمیاب در برابر SiO_2 برای سنگ‌های آتشفشانی حدواسط پلیو- کواترنر آذربایجان.



شکل ۱۲- مقایسه نمودارهای عنکبوتی و تغییرات عناصر خاکی کمیاب سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پلیو-کواترنر آذربایجان با فلات کارس-ارز روم در خاور ترکیه. a و b و c و d (نمودارهای مربوط به آذربایجان) و e و f (نمودارهای مربوط به خاور ترکیه (Keskine et al., 1998)). نمودارهای a و b برای سنگ‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی رسم شده و در نمودارهای c و d سنگ‌های داسیتی و ریوداسیتی و ریولیتی در نظر گرفته شده است. نمودارهای مناطق نشان داده شده کاملاً شبیه هستند. علائم به کار رفته در نمودارها به شرح زیر است: MB (مرند-محبوب آباد) - AH (اهر) - AN (مرند، انامک) - GA (قره تپه)، ZUN (زنوز) - SRA (سراب) - MYA (میانه) - MAK (مرند کشکسرای) - MA (مرند) - SOP (سهرل، شمال تبریز) - ZU (زنوز) - MON (منور) - SAH (سهند) - MBO (مرند، بناب) - BAH (بهلول داغی) - ANA (انامک) - SS (سراب، سرعین) - GED (گنبد گچی قلعه سی)



شکل ۱۳- a) تفکیک موقعیت درون صفحه و کمان‌های آتشفشانی در نمودارهای پیشنهادی (Muller & Groves 1997). b, f) تفکیک کمان‌های آغازین و تأخیری (LOI-LOP) از حواشی فعال قاره‌ای و کمان‌های پس‌برخوردی (PAP+CAP) و موقعیت درون صفحه‌ای (WIP). c, e) تفکیک حواشی فعال قاره و کمان‌های پس‌برخوردی. d) نمودار پیشنهادی (Pearce 1983)، تأثیر فرایند (AFC) در نمونه‌های مورد مطالعه.

References

- Aramaki, S., Ui, T., 1982-Japan, pp. 259-92 in Thorpe (1982).
- Ewart, A., Stipp, J.J., 1968- Petrogenesis of the volcanic rocks of the central North Island, New Zealand as indicated by a study of Sr87/ Sr86 ratio, and Sr,Rb,K,U and Th abundances. G.C.A. 32,699-736.
- Gill, J., 1981- Orogenic Andesites and Plate tectonics. Springer, 390 pp.
- Green, H., 1982- Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite, pp. 465-87 in Thorpe (1982).
- Harmon, R. S. & 8 co- authors, 1984- Regional Q., Sr., and Pb- isotope relationships in late Cenozoic calc-alkaline lavas of the Andean Cordillera. J. Geol. Soc. Lond. 141, 803-22.
- Ishizaka, K., Carlson, R. W., 1983- Nd – Sr systematics of the Setouchi volcanic rocks, south – west Japan: a clue to the origin of orogenic andesites, E.P.S.L. 64, 327-40.
- Karapetian, S.G., Jrbashian, R.T., Mnatsakanian, A.K. H., 2001- Late collision rhyolitic volcanism in the north-eastern part of the Armenia highland. Journal of Volcanology and geothermal Research 12, 189-220-
- Keskin, M., Pearce, J. A., Mitchell, J.g., 1998- Volcano – Stratigraphy and geochemistry of Collision – related Volcanism on the Erzurum – Kars Plateau, northeastern Turkey. J. of Volcanology
- Le Bas, M. J., Le Maitre, R. W., Streckeisen, A., Zanettin, B., 1986- A chemical classification of Volcanic rocks based on the total alkali – silica diagram. J Petrol 27,745-750
- Le Maitre, R.W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Le Bas, M.J., Sabine, P.A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Woolly, A.R., Zanettin, B., 1989- A classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms. Blackwell, Oxford, 193 pp.
- McCurry, W.J., Atherton, M. P., Sanderson, L. M., Warden, V., 1985- The volcanic cover chemical composition and the origin of the magma of the calipuy. (In magmatism at a plate edge). 273-284-
- McDonough, W.F., Sun, S., Ringwood, A.F., Jagoutz, E. & Hofmann, A.W., 1991 - K, Rb, and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle. Geochim. Cosmochim. Acta, Ross Taylor Symposium Volume.
- Middlemost, E., A. K., 1975 - The Basalt Clan. Earth-Science Reviews, 11, 337-364.
- Muller, D., Groves, D.I., 1997-Potassic rocks and associated gold-copper mineralization, Sec. Updated. Springer-Verlag, 242 pp.
- Pearce, J.A., Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Guner, Y., Saroglu, F., Yilmaz, Y., Morbath, S., Mitchell, J.J., 1990- Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia Turkey. J. Volcano. Geotherm. Res. 189-229.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub – continental lithosphere in magma genesis at active Continental margins, In: Hawkesworth, C. J., Norry, M. J. (Eds). Continental Basalts and Mantle Xenoliths – Shira, Nantwich, PP. 230-249-
- Peccerillo, A., Taylor, S. R., 1976a- Geochemistry of Eocene Calc – alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area northern Turkey. Contrib. Mineral. Petrol., No. 58, 63-81.
- Pichler, H., Zeil, W., 1972-The Cenozoic rhyolite- andesite association of the Chilean Andes, Bull. Vol. 35-424-52-
- Rollinson, H., 1993- Using geochemical data: evaluation. Presentation, interpretation. Singapore. Ongman, 352 p.
- Ryabchikov, I.D., Babansky, A. D. & Dmitriev, Y. L., 1982- Genesis of calc – alkaline magmas: experiments with partial melting of mixed sediments and basalts from the Middle America trench, Southern Mexico transect, Init. Rep. Deep Sea Drilling Proj. 66,669-702.
- Shand, S.J., 1979- Eruptive rocks, their genesis, composition, classification and their relation to ore deposits. John Wiley and Sons, 448p.
- Stern, R. J. & ITO, E., 1983- Trace element and isotopic constraints on the source of magmas in the active Volcano and Mariana island arcs. Western Pacific, J. Vol. Geotherm. Res. 18. 461-82.