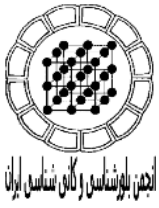
مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و نهم، شمارهٔ دوم، تابستان ۱۴۰۰، از صفحهٔ ۴۴۱ تا ۴۵۴



سنگ‌شناسی و خاستگاه سنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترنر جنوب شرق نیر، جنوب استان یزد

شهزاد شرافت*، محمدرضا اسدالهی نژاد اناری

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(دریافت مقاله: ۹۹/۶/۲، نسخه نهایی: ۹۹/۸/۵)

چکیده: در جنوب شرق نیر و جنوب استان یزد، رخنمون‌های بسیاری از آتشفشان‌های اسیدی برونزد دارند که جوانترین تظاهرهای آتشفشانی منطقه با ترکیب داسیتی- ریوداسیتی را تشکیل داده‌اند. این سنگ‌ها از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت و کوارتز تشکیل شده‌اند و بافت‌های جریانی و شیشه‌ای ریز سنگی پورفیری دارند. بر پایه داده‌های زمین شیمیایی، سرشت ماگمایی سنگ‌ها آهکی قلیایی و غنی از عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) و تهی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) است. این ویژگی به همراه الگوی جدایش یافته عناصر خاکی نادر و ناهنجاری منفی عنصرهای با شدت میدان بالا (Nb، Ti و P) بیانگر شکل‌گیری ماگما در موقعیت‌های وابسته به کرانه فعال قاره‌ای است. مقادیر بالای SiO_2، Sr، Sr/Y و La/Yb به همراه مقادیر پائین MgO، Yb و Y، سرشت آداکیتی پرسیلیس این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد که تشکیل ماگمای سازنده سنگ‌ها پیامد ذوب بخشی خاستگاه گارنت آمفیبولیتی یا اکلوژیتی ناشی از دگرگونی سنگ‌کره اقیانوسی فرورو نئوتتیس در پهنه برخوردی ایران مرکزی- عربستان در دوره نئوژن باشد.

واژه‌های کلیدی: *سنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترنر؛ آهکی قلیایی؛ آداکیت؛ کمان ماگمایی ارومیه دختر؛ یزد.*

مقدمه

گنبدهای آتشفشانی جوان جنوب نیر در استان یزد، بخشی از فعالیت ماگمایی پهنه ماگمایی ارومیه- دختر در کرانه غربی پهنه ساختاری ایران مرکزی و پهنه برخوردی ایران مرکزی- عربستان را تشکیل داده‌اند. پهنه ماگمایی ارومیه- دختر جایگاه فعالیت‌هاي ماگمائي سنوزوئیک و ناشی از فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی نئوتتیس به زیر ورقه قاره‌ای ایران مرکزی است [۱]. فعالیت ماگمایی این پهنه در ائوسن با فعالیت شدید آتشفشانی شروع شده [۲] و پس از برخورد صفحه عربی و ایران مرکزی، فرایند فرورانش تا نئوژن [۳] و فعالیت ماگمایی پس از برخورد تا کواترنر ادامه یافته‌است [۴]. فعالیت‌های آتشفشانی جوان ایران ادامه فعالیت‌های ترشیری بوده است و اغلب آتشفشان‌های جوان، فعالیت خود را از میوسن شروع کرده و تا کواترنر ادامه داده‌اند.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری پیرامون آتشفشان‌های جوان ایران به‌ویژه در بخش میانی پهنه ماگمایی ارومیه- دختر انجام شده [۵-۹] که منجر به شناسایی و گزارش برخی از آنها به نام سنگ‌های آداکیتی وابسته به فرورانش شده است. آداکیت‌ها واحدهای سنگی حدواسط- اسیدی سرشار از سیلیس (۵۶ درصد وزنی)، آلومین (بیش از ۱۵ درصد وزنی) و سدیم (بیش از ۳٫۵ درصد وزنی) با کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت هستند [۱۰] که نسبت به دیگر سنگ‌های رخنمون یافته در مرزهای فعال قاره‌ای، نسبت‌های Sr/Y و La/Yb بالا و مقادیر Yb و Y کمی دارند [۱۱]. بررسی‌های انجام شده بر مجموعه آتشفشانی پلیوکواترنری حسن آباد دره زرشک در جنوب غرب شهرستان یزد نشانگر سرشت آداکیتی پرسیلیس و تشکیل آن

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۱۶۵۱۱۰، نمابر: ۰۳۱۴۵۲۰۰۸۱۵، پست الکترونیکی: sh_sherafat@yahoo.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

از ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی فرورانده است [۹]. سنگ‌های آداکیتی رابر- لاله‌زار در جنوب شرق کرمان از ذوب‌بخشی پوسته زیرین مافیک (آمفیبولیت گارنت‌دار) در عمق بیش از ۵۰ کیلومتر بوجود آمده‌اند [۸]. تاکنون پژوهش مستقلی پیرامون سنگ‌زایی و خاستگاه گنبدهای آتشفشانی جنوب نیر صورت نگرفته و تنها بررسی‌های انجام شده بر بخشی از گنبدهای آتشفشانی غرب منطقه متمرکز بوده است [۱۲]. در این پژوهش، برای نخستین بار ویژگی‌های سنگ‌نگاری، زمین شیمیایی، محیط دینامیکی، خاستگاه و سنگ‌زایی گنبدهای آتشفشانی آداکیتی منطقه بررسی شده است. نتایج این پژوهش کمک شایانی به درک چگونگی شکل‌گیری سنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترنر پهنه ارومیه- دختر، سرنوشت صفحه فرورو و مباحث مربوط به فرورانش در پهنه برخوردی ایران و عربستان می‌نماید.

روش بررسی

در این پژوهش، براساس تصاویر ماهواره‌ای، مسیرهای دستیابی به برونزدهای سنگی تعیین گردیده و بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری انجام شد. در مرحله بعد، ۸۰ مقطع نازک میکروسکوپی از گنبدهای آتشفشانی منطقه تهیه و از نظر سنگ‌نگاری به دقت بررسی شدند. پس از بررسی میکروسکوپی نمونه‌ها، ۱۰ نمونه با کمترین دگرسانی و با روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی[1] (ICP-MS) در آزمایشگاه ACME کانادا تجزیه شدند. حد آشکارسازی برای عناصر اصلی ۰/۰۱ درصد و برای عناصرکمیاب ۵ppm- ۰/۵ است. برای نتیجه‌گیری بهتر، از یافته‌های پیشین [۱۳] نیز استفاده شد. در مرحله آخر، داده‌های برآمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ-نگاری و زمین شیمی با هم ترکیب و تحلیل شدند.

بحث و بررسی

گنبدهای آتشفشانی جوان جنوب شرق نیر میان فروافتادگی کرانه‌ی جنوبی کوهستان شیرکوه و دشت گسترده بهادران یزد، به فاصله تقریبی ۱۰۰ کیلومتری جنوب یزد واقع بوده و بخشی از چارگوش ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی نیر بین عرض‌های شمالی '۱۰ °۳۱ تا '۲۰ °۳۱ و طول‌های شرقی '۰۵ °۵۴ تا '۳۰ °۵۴ هستند. بر پایه تقسیم‌بندی ساختاری ایران، منطقه مورد پژوهش در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه دختر و کرانه غربی پهنه ایران مرکزی قرار دارد [۱۴]. در این منطقه، سازندهای پالئوزوئیک تا کواترنر دیده می‌شوند. ارتفاع‌های شمال و شمال شرقی منطقه از سازندهای دوران اول و دوم تشکیل شده‌اند. ارتفاع‌های جنوب شرقی را سنگ‌های آتشفشانی و ارتفاع های جنوب‌غربی را نهشته‌های تخریبی ترشیری به وجود آورده‌اند. گنبدهای اسیدی جوان در بخش میانی نقشه در تل‌کفتری، تل‌گدارباغ، تل‌شکارگاه، چاه‌زرد، ارنان و دامنه‌های جنوبی آن با دو ریختار ناهمسان، یکی با سطح خشن و ستیغ ساز و دیگری با سطحی تپه ماهوری، دیده می-شوند و مرتفع‌ترین آنها ارنان با ارتفاع ۲۸۹۹ متر است [۱۵]. بیشتر این گنبدها منفرد و مستقل هستند و درون ته‌نشست-های رسوبی نئوژن جایگزین شده‌اند (شکل ۱).

کهن‌ترین رخنمون سنگی ارتفاع‌های شمال‌شرقی منطقه، واحدهای سنگ‌چینه‌ای پالئوزوئیک- مزوزوئیک هستند که با آهک‌های خاکستری کربونیفر پسین- پرمین پیشین شروع شده و با سنگ‌های کربناتی و ماسه‌سنگ وابسته به پرمین پوشانده می‌شوند. آهک‌ها و دولومیت‌های تریاس با یک همبری گسله در کنار واحدهای کرتاسه پیشین قرار دارند. واحدهای کرتاسه با نهشته‌های کربناتی- تخریبی به نام سازند تفت شروع شده و با سازندهای کنگلومرایی و آهکی کرتاسه بالایی پایان می‌یابند. نهشته‌های سنوزوئیک منطقه با کنگلومرای چندزادی پالئوسن (هم‌ارز کنگلومرای کرمان) شروع شده و با مارن‌های سنگ گچ، آهک، شیل و توف ماسه‌ای پالئوسن ادامه یافته‌است. حجم گسترده‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن شامل تراکیت، داسیت، ریوداسیت، بازالت، آندزیت، توف و آهک‌های بازتبلوریافته، ارتفاع‌های تپه‌ماهوری بخش جنوبی منطقه را تشکیل داده‌اند.

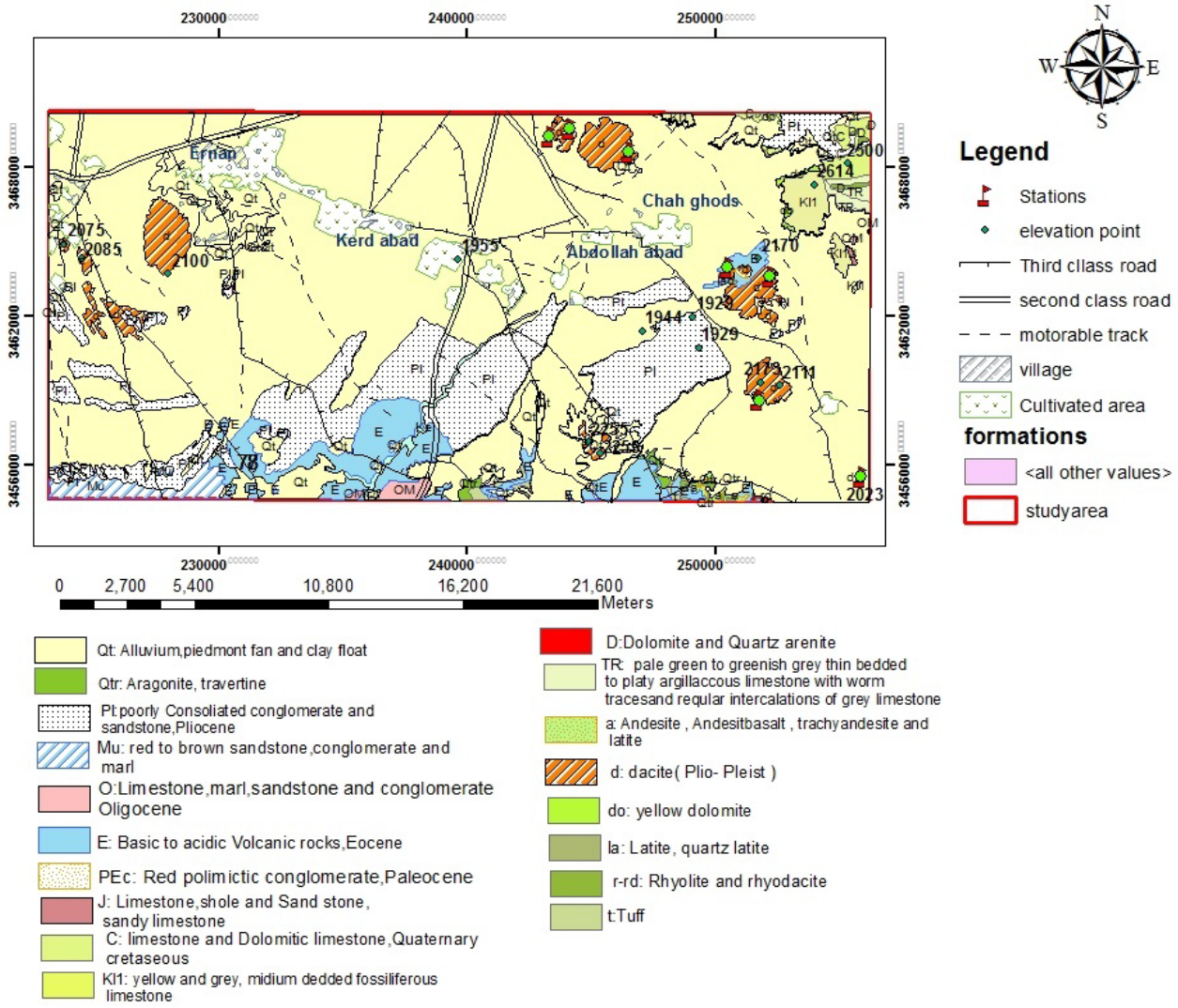
نهشته‌های نئوژن در بخش غربی منطقه با ماسه‌سنگ قرمز، کنگلومرا و مارن میوسن شروع شده و با کنگلومرای چندزادی پلیو- پلیستوسن ادامه می‌یابند. برونزدهای متعدد گنبدهای آذرین جوان (پلیو-پلیوستوسن) با ریختار به نسبت خشن و مرتفع، کنگلومرای کرتاسه، نهشته‌های ائوسن و گاهی رسوب-های جوانتر را قطع کرده‌اند. جدیدترین نهشته‌های منطقه را

1- ICP-MS

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

پادگانه‌های آبرفتی و انباشته‌های آواری سخت‌نشده تشکیل داده که بخش اعظم منطقه را پوشانده‌اند.

توده‌های اسیدی جوان (پلیو- پلیوستوسن) به شکل گنبد و یا مخروط آتشفشانی مرکب برونزد یافته‌اند (شکل ۲ الف). گنبدها بدون فعـالیت‌های انفجاری هستند و تنها گاهی برش-های ریزشی پیرامون آنها وجود دارد (شکل ۲ ب). مخروط‌های آتشفشانی از انواع مواد آذرآواری و جریان گدازه (شکل ۲ پ) تشکیل شده‌اند. شکل ۲ ت نهشته‌های ریزشی با ذرات جور نشده خاکستر و لاپیلی در پای تل شکارگاه را نشان می‌دهد. درزه‌های انحنادار ناشی از کشش طی سرد شدن در محیط خمیری و یا حرکت‌های نامنظم درونی مذاب و ساخت نواری جریانی، از نمودهای ساختاری جالب در سنگ‌های منطقه هستند (شکل‌های ۲ ث و ج). ریخت و عمق جایگزینی توده ماگمایی و دگرشکلی لایه‌های دربرگیرنده توسط تفاوت گرانروی ماگمای بالارو با سنگ‌های دربرگیرنده کنترل می‌شود [۱۶]. تفاوت ناچیز گرانروی منجربه شکل‌گیری نهان‌گنبدها یا گنبدهای خروجی و تفاوت بسیار آن موجب گدازه، مواد آذرآواری یا مخلوطی از هر دو (آتشفشان چینه‌ای) می‌شود که در منطقه مورد پژوهش، هر دو ساختار گنبدی و مخروط آتشفشانی دیده می‌شود.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه، برگرفته از مرجع [۱۵] با تغییرات.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

شکل ۲ الف) رخنمون گنبدی شکل تل گدارباغ، دید به سمت غرب؛ ب) برش ریزشی پای گنبد تل گدارباغ؛ پ) مخروط آتشفشانی مرکب تل شکارگاه، دید به سمت جنوب غرب؛ ت) نهشته‌های ریزشی جور نشده خاکستر و لاپیلی؛ ث) درزه‌های انحنادار ناشی از کشش طی سرد شدن؛ ج) ساخت نواری جریانی در تل کفتری.

سنگ‌نگاری

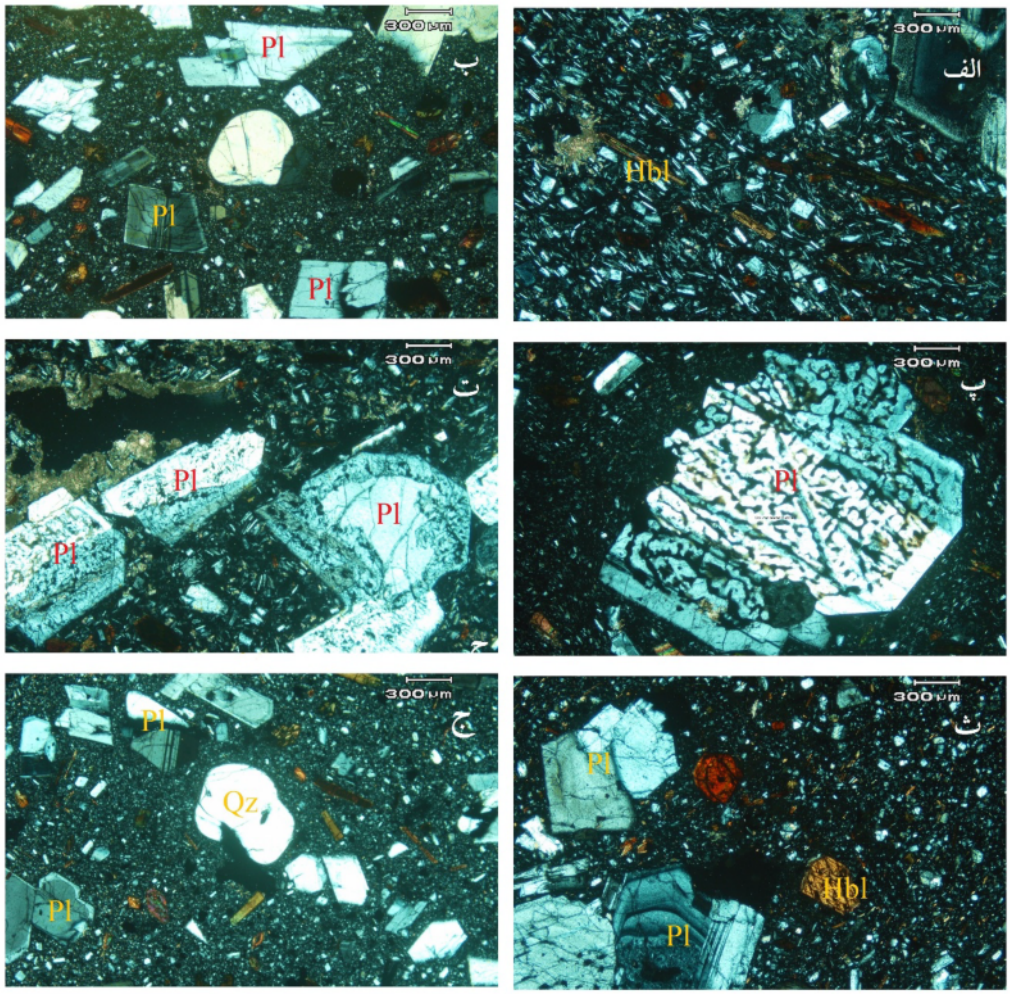
سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر رنگ خاکستری روشن و بافت پیدابلور دارند. بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری، ترکیب سنگ-های مورد بررسی در گستره داسیت و ریوداسیت قرار دارد و کانی‌های آن شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز، بیوتیت، فلدسپار قلیایی و اکسیدهای آهن- تیتانیوم است که در زمینه-ای شامل شیشه و بلورهای ریز فلدسپات و کوارتز قرار دارند و بافت‌های شیشه‌ای پورفیری و شیشه‌ای ریز سنگی پورفیری و گاهی جریانی را به نمایش می‌گذارند (شکل‌های ۳ الف و ب). پلاژیوکلاز و هورنبلند فراوان‌ترین درشت بلورهای سنگ را تشکیل داده‌اند. پلاژیوکلازهای تخته‌ای خودشکل تا نیمه‌شکل-دار با طول تقریبی ۰/۵ تا ۳ میلیمتر، دارای ماکل تکراری و ساختار منطقه‌ای هستند و حدود ۶۵ درصد درشت بلورهای سنگ را تشکیل داده‌اند. در برخی نمونه‌ها، درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز بافت اسکلتی و غربالی، منطقه‌بندی و لبه غبارآلود دارند (شکل‌های ۳ پ و ت) که شرایط نامتعادل در فرایند تبلور ماگما را نشان می‌دهد. بافت غربالی پلاژیوکلاز نشانگر عدم تعادل و تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی ماگمای در حال تبلور است که در پی کاهش فشار ناشی از صعود و گاززدایی ماگما، ورود سیال به درون آشیانه ماگمایی، افزایش دمای ناشی از ورود یک ماگمای داغ جدید و آلایش ماگمایی [۱۷-۱۹] رخ می‌دهد. در پلاژیوکلازهای مورد بررسی، این بافت به سبب کاهش فشار ماگمای در حال صعود و گاززدایی ماگما بوجود آمده است.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

درشت‌بلورهای خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار هورنبلند با فراوانی تا ۱۵ درصد اغلب دارای منطقه‌بندی و لبه سوخته هستند (شکل ۳ ث). کدر شدن لبه هورنبلند پیامد بالا بودن گریزندگی اکسیژن و تسریع فرایند اکسایش در سطح کانی به‌واسطه افزایش تصاعدی مواد فرار طی بیرون‌ریزی ماگماست [۲۰].

بیوتیت‌های خودشکل تا نیمه شکل‌دار (با فراوانی تا ۱۰٪) فراوانی بسیار کمتری نسبت به آمفیبول دارند. درشت‌بلورهای نیمه شکل‌دار کوارتز با فراوانی ۵ تا ۱۵ درصد خوردگی خلیجی و گاهی لبه گردشده دارند (شکل ۳ ج) که می‌تواند ناشی از انحلال یا ذوب کانی در نتیجه کاهش فشار و مواد فرار طی صعود ماگما به سطح زمین باشد [۲۱].

بررسی‌های کانی‌شناسی تاریخچه تبلور سنگ را مشخص می‌نماید. خودشکل بودن بیشتر درشت‌بلورهای موجود در سنگ، بیانگر تشکیل آنها در آغاز تبلور ماگماست. وجود درشت‌بلورهای فراوان در سنگ توقف به نسبت طولانی ماگما در اتاقک‌های زیرسطحی را نشان می‌دهد. همراهی آمفیبول و بیوتیت در سنگ نشانگر بالا بودن فشار مواد فرار در ماگمای مادر است. با صعود ماگما و افزایش فشار مواد فرار، بافت‌های غربالی، لبه‌های غبارآلود و خوردگی خلیجی در کانی‌های سنگ ایجاد شده و در مرحله آخر با بیرون‌ریزی سریع ماگما، لبه‌های کدر شده کانی‌های فرومنیزین و خمیره شیشه‌ای سنگ شکل گرفته است.



شکل ۳ تصویرهای میکروسکوپی از بافت‌ها و کانی‌های سنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترنر جنوب شرق نیر: الف) بافت جریانی شکل گرفته از موازی قرار گرفتن ریز سنگ‌ها و بلورهای پلاژیوکلاز، ب) بافت شیشه‌ای پورفیری با درشت بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند، پ) بافت غربالی در بلور پلاژیوکلاز، ت) بلورهای پلاژیوکلاز با لبه‌های غبارآلود، ث) بلورهای هورنبلند شکل دار با لبه کدر شده و ج) درشت بلور کوارتـز با خوردگی خلیجی (نشانه‌های اختصاری کانی ها، Pl: پلاژیـوکلاز، Hbl: هورنبلند، Qz: کوارتز، از مرجع [۲۲] هستند).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

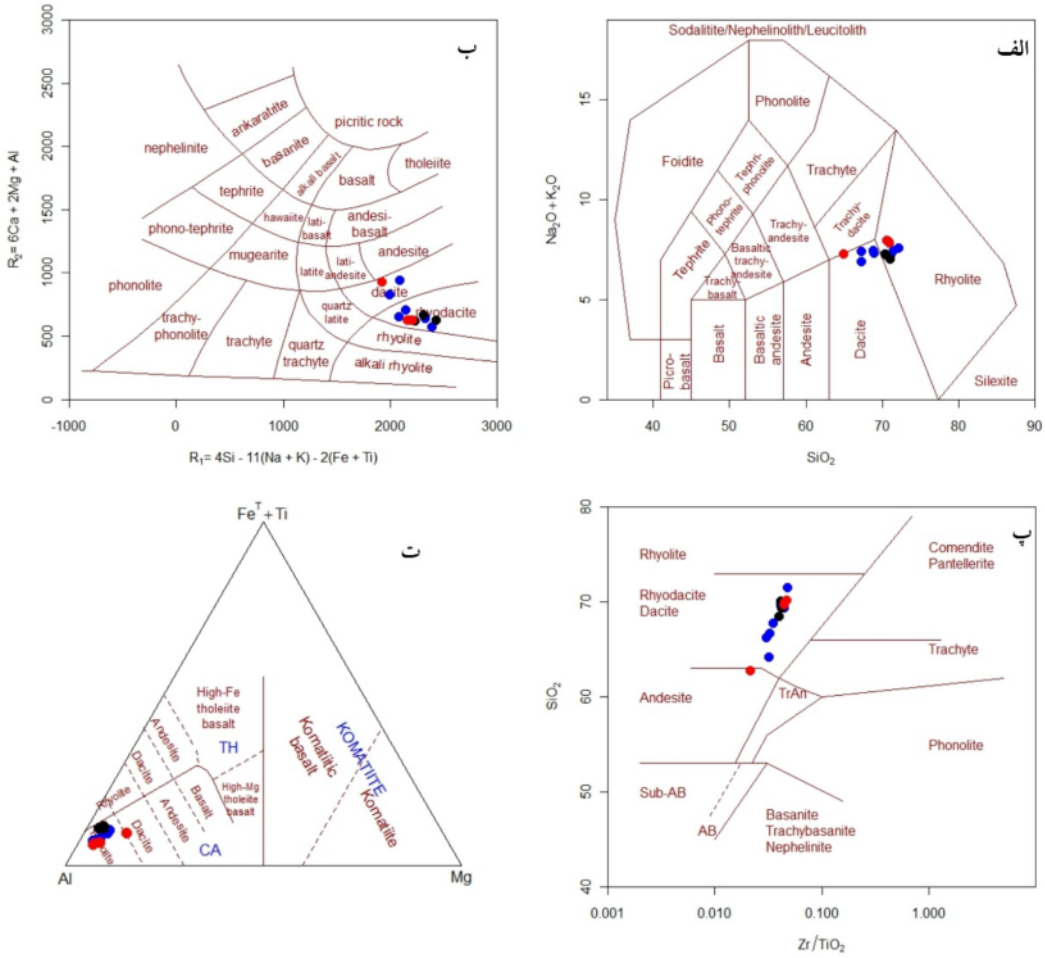
زمین شیمی

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه-های جنوب شرق نیر را نشان می‌دهد. گستره تغییرات مقدار SiO_2 در سنگ‌ها ۶۲٫۸۰ تا ۷۱٫۵۲ درصد، Na_2O ۵٫۰۵-۴٫۳۹ و K_2O ۲٫۹۹- ۱٫۷۸ درصد وزنی است. بر این اساس، سنگ‌ها از نوع داسیت و ریوداسیت هستند. از آنجا که زمینه سنگ‌های مورد بررسی از شیشه و بلورهای ریز فلدسپات و کوارتز ساخته شده است، برای نامگذاری سنگ‌ها از رده‌بندی شیمیایی استفاده شد. بر پایه نمودارهای رده‌بندی Na_2O+K_2O نسبت به SiO_2 [۲۳] و R1-R2 [۲۴]، نمونه‌ها در گستره ترکیبی داسیت و ریوداسیت قرار دارند (شکل‌های ۴ الف و ب). ترکیب سنگ‌شناسی توده‌ها با نمودار تغییرات SiO_2 نسبت به Zr/TiO_2 [۲۵] و نمودار کاتیونی [۲۶] نیز تائید می‌شود (شکل های ۴ پ و ت).

جدول ۱ داده‌های تجزیه شیمیایی اکسید عنصرهای اصلی (بر حسب wt%)، کمیاب و خاکی نادر (بر حسب ppm)در سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر (نمونه‌هایی که با حرف K در شروع نام آنها برگرفته از مرجع [۱۳] هستند)

	T3-2	T1-1	TS5-1	TS7-2	TS6-3	TS3-1	T4-3	SE-4	ER-4	ER-7	KSE1	KSE2	KSE3	KSE6
SiO_2	۷۱٫۵۲	۶۹٫۳۶	۶۶٫۷۱	۶۴٫۲۲	۶۷٫۷۵	۶۶٫۲۴	۶۹٫۶۱	۶۸٫۵۳	۷۰٫۰۸	۶۹٫۳۶	۶۱٫۶۳	۶۸٫۸۰	۶۹٫۲۷	۶۹٫۰۳
TiO_2	۰٫۲۳	۰٫۲۸	۰٫۴	۰٫۳۳	۰٫۳۷	۰٫۴۱	۰٫۲۴	۰٫۳۰	۰٫۳۴	۰٫۳۲	۰٫۵۴	۰٫۳۸	۰٫۳۵	۰٫۳۳
Al_2O_3	۱۵٫۲۳	۱۵٫۲۹	۱۶٫۰۵	۱۵٫۳۵	۱۶٫۱۹	۱۶٫۳۷	۱۴٫۹۷	۱۵٫۲۱	۱۵٫۲۴	۱۴٫۹۷	۱۶٫۵۶	۱۵٫۵۳	۱۵٫۶۳	۱۵٫۶۶
Fe_2O_3	۰٫۸۰	۰٫۸۹	۱٫۲۷	۱٫۱۳	۱٫۱۷	۱٫۳	۰٫۷۸	۱٫۲۸	۱۲۶	۱٫۳۶	۲٫۵۴	۱٫۴۸	۱٫۳۷	۱٫۳۱
FeO	۰٫۸۰	۰٫۸۹	۱٫۲۷	۳	۱٫۱۷	۱٫۳	۰٫۷۸	۱٫۲۹	۱٫۲۶	۱٫۳۶	۳٫۵۷	۲٫۱۵	۱٫۹۸	۱٫۹۰
MnO	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۱۰	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۶
MgO	۰٫۴۶	۰٫۶۹	۰٫۹۳	۰٫۸۶	۰٫۸۳	۰٫۸۵	۰٫۵۳	۰٫۶۱	۰٫۴۵	۰٫۵۷	۱٫۷۹	۰٫۷۵	۰٫۶۱	۰٫۵۸
CaO	۲٫۳۷	۲٫۸۵	۲٫۷۲	۵٫۵۸	۳٫۲۶	۴٫۳۶	۳٫۰۶	۲٫۷۱	۲٫۸۴	۳٫۲۴	۴٫۶۸	۲٫۶۰	۲٫۶۳	۲٫۶۵
Na_2O	۴٫۷۲	۴٫۷۶	۴٫۹۱	۴٫۸۰	۵٫۰۵	۵٫۲۰	۴٫۶۹	۵٫۰۳	۴٫۴۸	۴٫۵۶	۴٫۳۱	۴٫۸۲	۴٫۹۳	۴٫۹۱
K_2O	۲٫۷۸	۲٫۳۶	۲٫۳۲	۱٫۷۸	۲٫۱۷	۲٫۱۰	۲٫۵۷	۲٫۰۱	۲٫۴۴	۲٫۶۱	۲٫۶۰	۲٫۹۵	۲٫۸۱	۲٫۷۷
L.O.I	۰٫۷۰	۲٫۲۰	۱٫۹۰	۴٫۴	۱٫۵	۱٫۳	۲٫۴	۲٫۷	۱٫۱	۱٫۱	۱٫۷	۰٫۴۷	۰٫۳۷	۰٫۸۲
مجموع	۱۰۰٫۶۳	۹۹٫۲۷	۹۹٫۲۹	۹۹٫۵۹	۱۰۰٫۴۶	۱۰۰٫۹	۹۸٫۹۲	۹۹٫۹۴	۹۹٫۸۰	۹۹٫۷۶	۱۰۰٫۰۰	۹۹٫۹۹	۱۰۰٫۱	۱۰۰٫۰۲
P_2O_5	۰٫۰۸	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۱۰	۰٫۱۴	۰٫۱۸	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۲۳	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۱۱
Ba	۷۳۲	۶۵۲	۶۸۴	۴۹۰	۶۸۷	۶۶۷	۶۶۴	۷۲۰٫۵	۶۸۴٫۶	۷۱۱	۶۸۳	۴۷۷	۴۳۹	۴۳۵
Rb	۵۳٫۷	۴۶	۳۸٫۷	۳۱٫۲	۴۰٫۲	۳۵٫۸	۴۲٫۸	۴۲٫۴	۴۴٫۲	۴۷٫۴	۵۴	۶۶	۵۷	۵۵
Sr	۵۱۱٫۶	۵۴۰٫۳	۸۰۴٫۸	۸۹۵٫۸	۷۶۷٫۴	۸۷۲٫۳	۵۴۳٫۶	۷۵۵٫۹	۵۶۵٫۷	۵۷۵٫۳	۸۲۳	۵۲۷	۵۴۲	۵۷۹
Zr	۱۱۰٫۲	۱۲۳٫۳	۱۳۰٫۳	۱۰۴٫۵	۱۲۸٫۲	۱۲۳٫۸	۹۹٫۵	۱۱۹٫۳	۱۳۹٫۵	۱۳۳٫۳	۱۱۷	۱۷۴	۱۵۸	۱۵۸
Nb	۳٫۳	۲٫۸	۴	۲٫۸	۳٫۶	۳٫۷	۲٫۳	۴٫۲	۳٫۹	۴	۴	۲	۱	۱
Ni	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۲۰	۷	۵٫۴	۶٫۴	۸	۱	۰	۸
La	۲۲٫۷	۲۱٫۴	۲۸٫۷	۱۶٫۶	۲۷٫۳	۲۸٫۷	۱۸٫۷	۲۳٫۱	۲۲٫۸	۲۳٫۵	۲۴	۲۲	۱۸	۱۲
Ce	۳۷٫۷	۳۶٫۸	۵۰٫۵	۳۰٫۱	۴۹٫۶	۵۰	۳۵	۴۲	۴۱٫۷	۴۳٫۵	*	*	*	*
Pr	۳٫۸۵	۳٫۷۶	۵٫۳۳	۳٫۲۵	۵٫۱۹	۵٫۴۴	۳٫۳۵	۴٫۶۷	۴٫۵۷	۴٫۶۲	*	*	*	*
Nd	۱۳٫۳	۱۳	۱۸٫۷	۱۲٫۱	۱۸	۱۹٫۸	۱۲٫۱	۱۶٫۸	۱۵٫۱	۱۶٫۲	*	*	*	*
Sm	۲٫۲۴	۲٫۱۳	۳٫۱۵	۱٫۹۷	۲٫۹۴	۳٫۰۹	۱٫۹۸	۲٫۸۰	۲٫۶	۲٫۷۰	*	*	*	*
Eu	۰٫۶۱۰	۰٫۶۲	۰٫۸۲	۰٫۶۲	۰٫۸۲	۰٫۹۴	۰٫۵۸	۰٫۷۴	۰٫۷۳	۰٫۷۱	*	*	*	*
Gd	۱٫۵۷	۱٫۵۴	۲٫۲۶	۱٫۶۷	۲٫۰۷	۲٫۲۸	۱٫۴۳	۱٫۷۵	۱٫۷۵	۱٫۹۳	*	*	*	*
Tb	۰٫۲۰	۰٫۱۹	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۰٫۱۸	۰٫۴۲	۰٫۲۵	۰٫۳۱	*	*	*	*
Dy	۰٫۹۵	۰٫۹۵	۱٫۱۳	۱٫۱۶	۱٫۱۵	۱٫۲۷	۰٫۸۳	۰٫۱۶	۱٫۲۵	۱٫۴۳	*	*	*	*
Ho	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۱۸	۰٫۲۱	۰٫۱۲	۰٫۱۷	۰٫۲۲	۰٫۳۱	*	*	*	*
Er	۰٫۳۹	۰٫۴۲	۰٫۵۵	۰٫۴۴	۰٫۴۹	۰٫۵۳	۰٫۳۳	۰٫۴۹	۰۰٫۶۲	۰٫۶۶	*	*	*	*
Tm	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۴۰	۰٫۹۰	۰٫۰۹	۰٫۱۰	*	*	*	*
Yb	۰٫۳۸	۰٫۳۳	۰٫۴۴	۰٫۵۲	۰٫۴۸	۰٫۵۰	۰٫۳۶	۰٫۴۲	۰٫۶۱	۰٫۷۸	*	*	*	*
Lu	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۰۹	۰٫۱۰	*	*	*	*
Y	۵	۴	۵٫۷	۵٫۶	۵٫۳	۵٫۷	۳٫۹	۵٫۹	۷٫۸	۸	*	*	*	*
Cs	۱٫۳	۱	۰٫۹	۰٫۷	۱٫۲	۰٫۵	۱٫۱	۱٫۵	۱	۱	*	*	*	*
Ta	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۳	٫۳۰	۰٫۴	*	*	*	*
Hf	۳	۳٫۱	۳٫۴	۲٫۶	۳٫۴	۳٫۴	۲٫۷	۳٫۶	۳٫۸	۳٫۷	۴	۵	۵	۵
Th	۶٫۴	۵	۵٫۷	۴	۶	۵٫۳	۵٫۳	۵٫۶	۵٫۹	۶٫۲	*	*	*	*
U	۲٫۴	۱٫۸	۲٫۳	۲	۲٫۳	۱٫۹	۲٫۲	۲٫۲	۱٫۹	۲٫۱	*	*	*	*
V	۲۶	۳۴	۴۷	۴۱	۴۲	۲۸	۲۷	۳۱	۳۱	۳۳	*	*	*	*
Lol	۰٫۷	۲٫۲	۱٫۹	۴٫۴	۱٫۵	۱٫۳	۲٫۴	۲٫۷	۱٫۱	۱٫۱	*	*	*	*
Ga	۱۸٫۶	۱۶٫۸	۱۸	۱۵٫۶	۱۸٫۴	۱۸٫۵	۱۶٫۴	۲۰٫۴	۲۰	۲۰٫۲	*	*	*	*
Sc	۲	۳	۳	۳	۳	۴	۲	۳	۳	۳	*	*	*	*
La_N/Yb_N	۳۹٫۸۲	۴۳٫۲۳	۴۳٫۴۸	۲۱٫۲۸	۳۷٫۹۲	۳۸٫۲۷	۳۴٫۶۳	۳۶٫۶۷	۲۴٫۹۲	۲۰٫۰۹	*	*	*	*
YbN	۱٫۷۳	۱٫۵۰	۲٫۰۰	۲٫۳۶	۲٫۱۸	۲٫۲۷	۱٫۶۴	۱٫۹۱	۲٫۷۷	۳٫۵۵	*	*	*	*

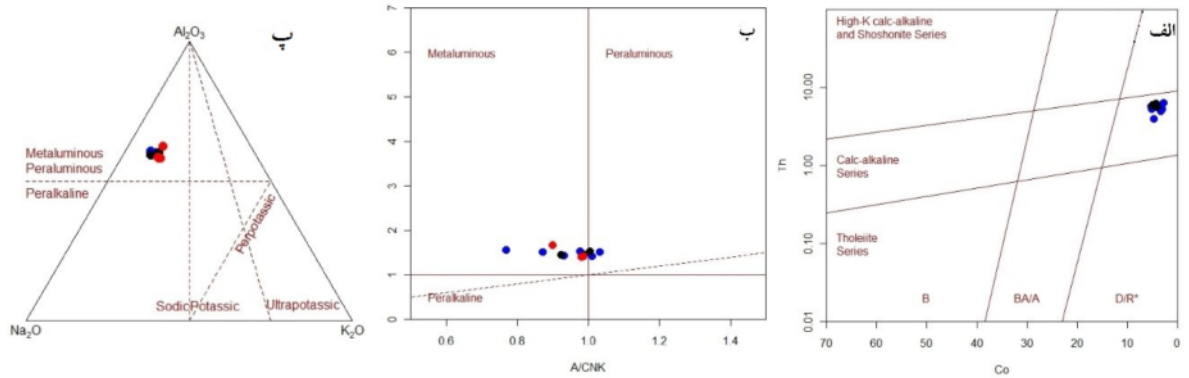
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]



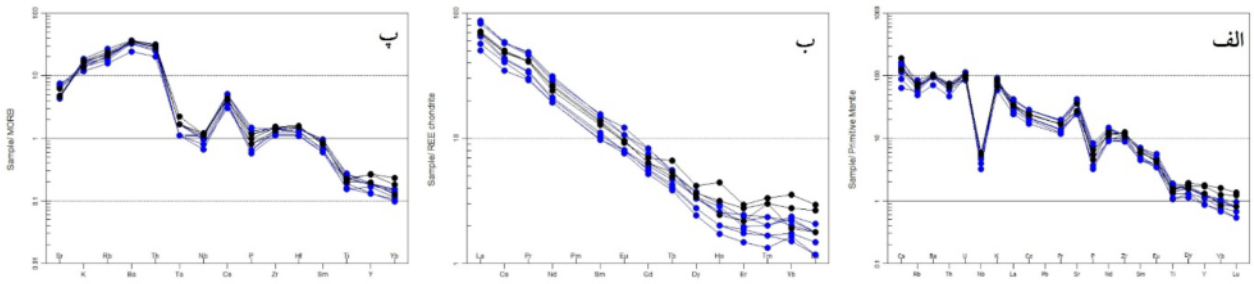
شکل ۴ الف) نمودار Na_2O+K_2O نسبت به SiO_2 [۲۳] برای تقسیم بندی زمین شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی؛ ب) نمودار R1-R2 [۲۴] که بر اساس آن، نمونه‌ها در گستره داسیت- ریوداسیت قرار دارند؛ پ) موقعیت سنگ‌های منطقه در نمودار کاتیونی [۲۵]؛ ت) ترکیب سنگ‌ها در نمودار Zr/TiO_2 نسبت به SiO_2 [۲۶].

به منظور تعیین سری ماگمایی از نمودار Th نسبت به Co [۲۷] استفاده شد که بر این اساس، نمونه‌ها در گستره آهکی- قلیایی واقع هستند (شکل ۵ الف). از دیدگاه شاخص اشباع شدگی [۲۸]، سنگ‌های مورد پژوهش بیشتر در گستره متالومین تا کمی پرآلومین واقع هستند (شکل‌های ۵ ب و پ). نمودار بهنجار شده به گوشته اولیه [۲۹] سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر غنی‌شدگی واضح عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE؛ Th, Ba, Sr, Rb) نسبت به عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) و عناصر خاکی نادر بزرگ یون نسبت به عناصر با قدرت میدان بالا (HFSE) را نشان می‌دهد (شکل ۶ الف). وجود بی‌هنجاری منفی HFSEها به‌ویژه Ti, Nb و Ta بیانگر ماندگاری فازهای دیرگداز در بردارنده این عناصر چون روتیل، ایلمنیت، آمفیبول، اسفن و آپاتیت در تفاله [۳۰، ۳۱] یا جدایش زودرس فازهای بلورین تیتانومگنتیت و آمفیبول در سنگ [۱۱] و از ویژگی‌های شاخص ماگماهای شکل گرفته در پهنه فرورانش است [۳۲]. با توجه به شرکت عناصر HFSE در ساختار فازهایی مانند روتیل و ایلمینیت، تهی‌شدگی آنها را می توان به ماندگاری فازهای یاد شده در خاستگاه (به احتمال بسیار ورقه اقیانوسی فروروی رخساره اکلوژیت) نسبت داد [۳۳]. با افزایش فشار (در رخساره آمفیبولیت و اکلوژیت در پهنه‌های فرورانش)، حلالیت فازهای کانیایی در سیال‌های آبدار کاهش یافته و کانی‌های حامل بصورت فاز دیرگداز در سنگ مادر آمفیبولیتی و اکلوژیتی ناشی از دگرگونی سنگ کره اقیانوسی فرورو باقی مانده و موجب ناهنجاری منفی در مذاب بخشی تولید شده می‌شوند [۳۴].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]



شکل ۵ الف) نمودار زمین شیمیایی Th نسبت به Co [۲۷] برای تعیین سری ماگمایی ؛ ب و پ) طبیعت متالومین تا پرآلومین سنگ‌ها در نمودار A/NK نسبت به A/CNK [۲۸] و نمودار مولی Na2O-Al2O3-K2O



شکل ۶ نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های آتشفشانی منطقه که بهنجار شده نسبت به الف) گوشته اولیه [۲۹]، ب) کندریت [۳۵] و پ) موربر [۳۷]

الگوی تغییرات عناصر نادر سنگ‌های منطقه مورد پژوهش بهنجار شده با کندریت [۳۵] (شکل ۶ ب)، روندی شیب‌دار با غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سبک (LREE) نسبت به HREE نشان می‌دهد که به پایداری گارنت در خاستگاه نسبت داده شده است [۳۶]. در نمودار بهنجار شده نسبت به مورب [۳۷]، عناصر Y و Yb کاهش ۱۰ برابری را نشان می‌دهند (شکل ۶ پ). با توجه به سازگاری این عناصر با شبکه گارنت، تهی‌شدگی این دو عنصر می‌تواند بیانگر حضور گارنت در خاستگاه باشد [۳۸].

به منظور تحلیل جایگاه زمین ساختی سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر، از نمودارهای زمین ساختی ماگمایی مختلفی استفاده شده‌است. در نمودارهای طراحی شده به این منظور [۳۹]، سنگ‌های مورد پژوهش در جایگاه کمان ماگمایی قرار دارند (شکل ۷ الف تا پ). نمودار Th/Hf نسبت به Ta/Hf [۴۰] نیز جایگاه کمان ماگمایی را برای سنگ‌های مورد بررسی نشان می‌دهد (شکل ۷ ت).

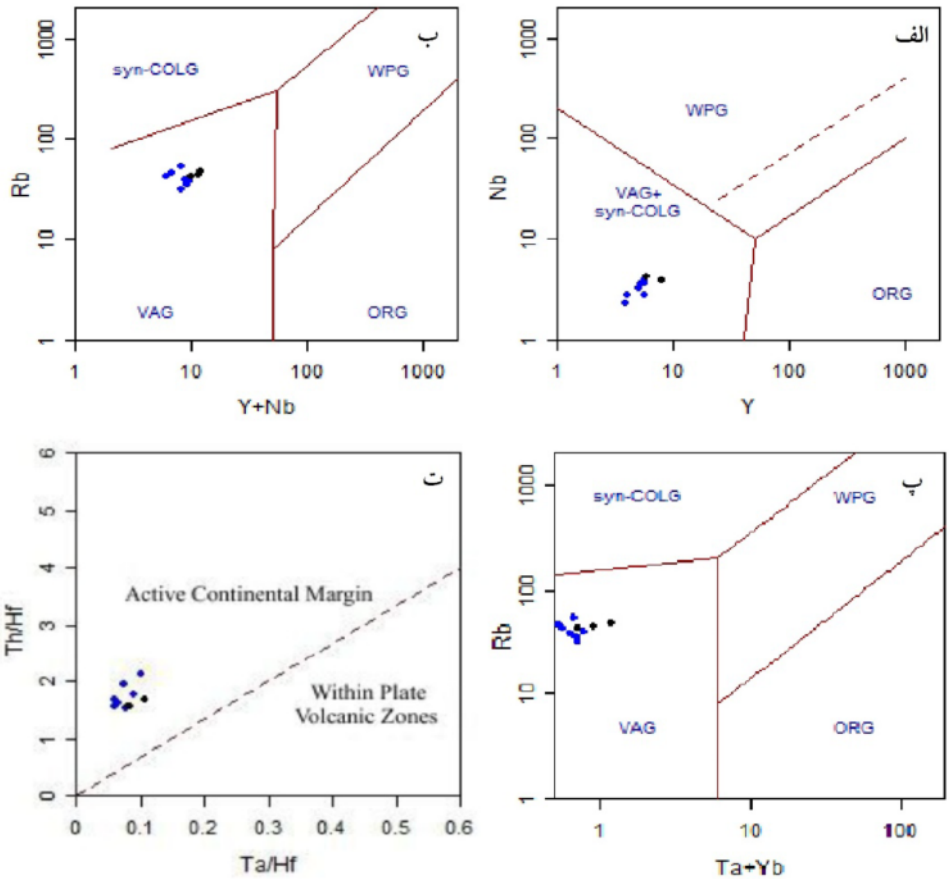
بحث

با دقت در داده‌های زمین شیمیایی، می‌توان دریافت که سنگ های مورد بررسی نسبت به سنگ‌های آهکی قلیایی معمولی تفاوت‌های قابل توجهی از جمله بالا بودن مقادیر SiO_2، Sr، Sr/Y، La/Yb، پائین بودن مقادیر MgO، Yb و Y و تهی شدگی از HREE و HFSE همراه با شیب تند الگوی جدایش یافته عناصر خاکی نادر دارند (جدول ۲). بالا بودن مقدار Al_2O_3 بیش از (15درصد)، پائین بودن مقدار MgO کمتر از (3wt%)، نسبت Na_2O/K_2O بین ۱/۷-۲/۷، مقادیر بالای Sr (بیش از 400ppm) و مقـادیر پایین Y (کمتر از 18ppm) و Yb (کمتر از 1.9ppm) در این سنگ‌ها شباهت بسیاری به ویژگی‌های ماگماهای آداکیتی دارد [۱۱، ۴۱، ۴۲].

بر پایه نمودارهای Sr/Y نسبت به Y و La/Yb نسبت به Yb (بهنجار شده نسبت به کندریت) که برای جدایش سنگ‌های آداکیتی از ماگماهای برجسته پهنه‌های فرورانش (ناشی از ذوب گوشته) ارائه شده‌اند، نمونه‌های مورد پژوهش در گستره آداکیتی قرار دارند (شکل ۸). بالابودن مقدار Sr در آداکیت‌ها در پی ناپایداری پلاژیوکلاز در عمق بسیار و آزاد شدن Sr از ساختار آن ایجاد می‌شود [۴۱، ۴۳]. ماندگاری گارنت در خاستگاه نیز کاهش Y و افزایش نسبت Sr/Y را در پی دارد.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

آداکیت‌ها به ۴ گروه کم‌سیلیس (LAS) ، پرسیلیس (HAS)، قاره‌ای و آرکئن تقسیم شده [۴۴] و از منابع متعددی شکل می‌گیرند. ذوب بخشی ورقه اقیانوسی داغ و فرورو، ذوب بخشی پوسته پائینی ضخیم شده، تبلور بخشی ماگمای بازالتی و مذاب پریدوتیتی اولیه دگرنهاده توسط ذوب ورقه از مهمترین عوامل پیشنهادی در تشکیل آداکیت‌ها هستند [۴۵].

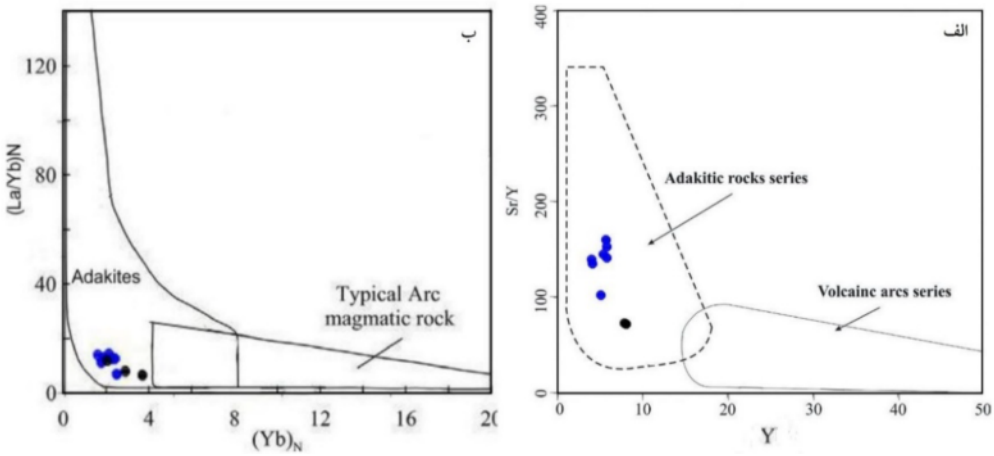


شکل ۷ الف، ب و پ) موقعیت زمین ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودارهای مرجع شده [۳۹]؛ ت) موقعیت نمونه‌ها در نمودار Th/Hf نسبت به Ta/Hf [۴۰].

جدول ۲ مقایسه ویژگی‌های زمین شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد پژوهش با معیارهای شناختی آداکیت‌ها.

مقادیر میانگین محاسبه شده برای سنگ‌های آتشفشانی جنوب شرق نیر	ویژگی آداکیت‌ها
SiO_2 = ۶۲/۸ – ۷۱/۵۲ wt%	SiO_2 ≥۵۶ wt%
Al_2O_3 = ۱۴/۹۷ – ۱۶/۸۸ wt%	Al_2O_3 ≥۱۵ wt%
MgO= ۰/۴۵ -۱/۷۹ wt%	MgO < ۳ wt%
Sr = ۱۱۷ – ۸۹۵/۸ ppm	Sr > ۳۰۰ ppm
Y = ۴ -۸ ppm	Y< ۱۵ ppm
Sr/Y = ۷۱/۹۱ - ۱۵۹/۹۶	Sr/Y > ۲۰
Yb =۰/۳۳ – ۰/۷۸	Yb < ۱/۹ ppm
La/Yb = ۳۰/۱۳ - ۵۶/۸۷	La/Yb > ۲۰
بدون ناهنجاری منفی Eu	بدون ناهنجاری منفی Eu
مقدار کم HFSEها به ویژه Nb و Ta	مقدار بسیار کم HFSE به ویژه Nb و Ta
تمرکز بالای LREE ها نسبت به HREEها	غنی شدگی LREE نسبت به HREE

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]



شکل ۸ نمودارهای برجسته جدایش سنگ‌های آداکیتی از ماگماهای نوعی کمان ماگمایی [۳۸].

آداکیت‌های پرسیلیس و کم‌سیلیس دارای ویژگی‌های زمینشیمیایی بی مانندی هستند. جدای از تفاوت در مقدار سیلیس، تفاوت‌هایی در نسبت‌های Sr/Y و La/Yb و الگوی عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت در انواع HSA و LSA دیده می‌شود. بالا بودن مقادیر SiO_2 (بیش از 56wt%)، Sr (بیش از 400ppm) و نسبت La_N/Yb_N (بیش از ۱۰) به همراه پایین بودن Y (کمتر از 18ppm) و Yb (کمتر از 1.9ppm) و وجود الگوی مقعر HREE ها، مهمترین ویژگی‌های آداکیت‌های پرسیلیس هستند.

آداکیت‌های قاره‌ای دارای مقادیر کم Y و Yb، نسبت پایین Sr/Y (۱۵۰-۱۵) و نسبت‌های بالای K_2O/Na_2O (نزدیک به ۱) هستند. بالا بودن K_2O در آداکیت‌های قاره‌ای به دگرسانی، آلایش پوسته‌ای و تبلور نسبت داده شده است [۴۶]. آداکیت-های آرکئن تنها در نوارهای سنگ سبز یافت می‌شوند.

شواهد زمین شیمیایی بیانگر شباهت غیرقابل انکار سنگ-های مورد بررسی به آداکیت‌های پرسیلیس است. نمونه‌های مورد پژوهش دارای سیلیس بیش از ۵۶ درصد و الگوی REE مقعر هستند. افزون بر این، نسبت K_2O/Na_2O در آنها (۰٫۶۱-۰٫۳۹) اختلاف بسیاری با آداکیت‌های قاره‌ای دارد. بالا بودن مقدار Sr و تهی‌شدگی عناصر Ti، P، Ta و Nb با ماندگاری فازهای دیرگداز دربردارنده این عناصر (روتیل، ایلمنیت، آمفیبول، اسفن و آپاتیت) در خاستگاه قابل تفسیر است. وجود گارنت (و به احتمال بسیار آمفیبول) در خاستگاه و مشارکت نداشتن در مذاب تولید شده، سبب جدایش شدید عناصر خاکی نادر سبک و سنگین و تهی شدگی ماگما از HREE به‌ویژه Yb شده است. ویژگی‌های یاد شده به خوبی با خاستگاه بازالتی دگرگون شده در گستره پایداری گارنت، همخوانی دارد.

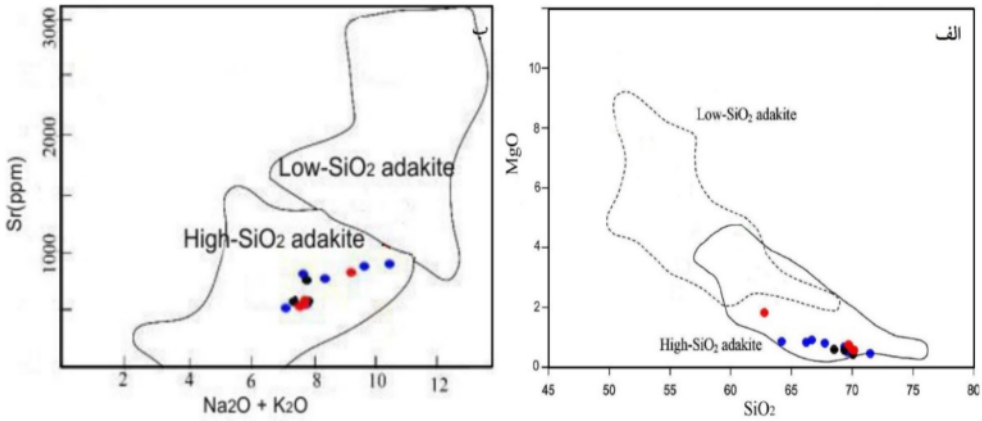
به منظور تعیین نوع آداکیت در سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر، از نمودارهای جدایش آداکیت‌ها استفاده شد. برپایه نمودارهای تغییرات MgO نسبت به SiO_2 و Sr نسبت به Na_2O+K_2O [۴۲]، نمونه‌های مورد پژوهش در گستره آداکیت‌های پرسیلیس قرار دارند (شکل ۹).

از آنجا که ذوب بخشی بازالت‌ها در فشارهای پایین، مذابی با نسبت‌های پایین Sr/Y و La/Yb و تمرکز بالای Y و Yb به‌وجود می‌آورد [۴۷]، ماگماهای آداکیتی باید از ذوب بخشی بازالت در رخساره اکلوژیت- آمفیبولیت تولید شده باشند [۴۱، ۴۸]. ترکیبات بازالتی دگرگونه در بخش زیرین پوسته ضخیم شده و پوسته اقیانوسی فرورو دیده می‌شود [۴۹]. گزینه اصلی مستعد ذوب در مناطق فرورانشی قطعه فرورو اقیانوسی است افزون بر این، مهمترین ویژگی زمین شیمیایی آداکیت های برآمده از ذوب ورقه اقیانوسی مقادیر Sr/Y بیش از ۴۰ و (La/Yb)n بیش از ۱۲ است. نمودارهای مرجع [۵۰] به خوبی این امر را به نشان می‌دهند (شکل‌های ۱۰ الف و ب). چنانچه ذوب در فشارهای بسیار بالا رخ دهد، تفاله باقیمانده دارای ترکیب اکلوژیتی (شامل گارنت، کلینوپیروکسن و روتیل) است و وجود روتیل منجربه نسبت‌های بالاتری از Nb/Ta می‌شود [۵۱، ۵۲]، در حالی‌که ذوب در فشارهای کمتر، تفاله گارنت آمفیبولیتی برجا می‌گذارد. با توجه به پایین بودن نسبت Nb/Ta در آداکیت‌های جنوب نیر (۰٫۴- ۰٫۲)، ترکیب تفاله برجامانده بیشتر با ترکیب گارنت آمفیبولیتی همخوانی دارد.

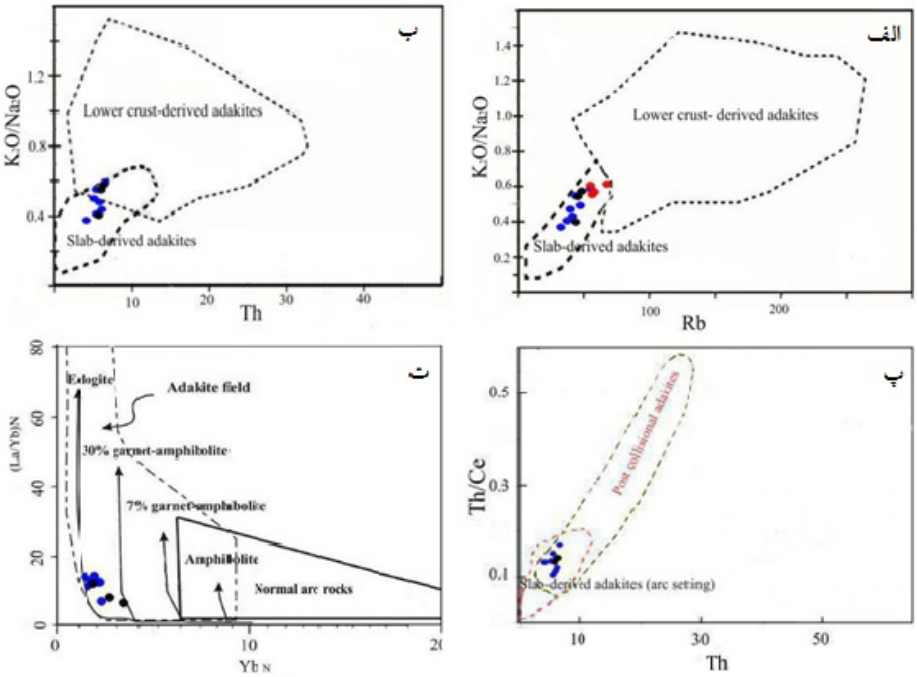
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

نمودارهای طراحی شده برای تعیین خاستگاه آداکیت‌ها [۵۴،۵۳] گستره آداکیت‌های وابسته به کمان ماگمایی با خاستگاه صفحه فرورونده گارنت آمفیبولیتی تا گارنت اکلوژیتی (با ۱۰ تا ۲۵ درصد گارنت) را نشان می‌دهند (شکل‌های ۱۰ پ و ت). ذوب‌بخشی ورقه اقیانوسی فرورونده با ترکیب گارنت آمفیبولیتی در فشار معادل با گستره پایداری گارنت، با نتایج به دست آمده از مدل‌های ذوب‌بخشی پوسته بازالتی فرورو و مدلهای دوبعدی دمایی مناطق فرورانش همخوانی دارد [۵۵].

بر اساس به داده‌های زمین شیمیایی، خاستگاه اصلی سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر پوسته اقیانوسی فرورو نئوتتیس است که در رخساره گارنت آمفیبولیت (تا اکلوژیت) دگرگون شده است. تنش‌های برشی و فشارشی ناشی از برخورد مایل ورقه عربی با ورقه ایران مرکزی در نئوژن [۵۶] در ادامه فرورانش سبب ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورو و فعالیت ماگمایی آداکیتی پس از برخورد در جنوب نیر شده است. این ساز و کار توسط برخی پژوهشگران برای فعالیت ماگمایی آداکیتی جوان در سایر بخش‌های پهنه ارومیه- دختر پیشنهاد شده است [۶۰-۵۷].



شکل ۹ نمودارهای جدا کننده سنگ‌های آداکیتی پرسیلیس از کم سیلیس [۳۹].



شکل ۱۰ الف) نمودار K_2O/Na_2O نسبت به Rb برای تعیین خاستگاه آداکیت [۴۷] که نشاندهنده آداکیت‌های برآمده از صفحه فرورو است؛ ب) نمودار K_2O/Na_2O نسبت به Th و جایگاه نمونه ها، در بخش برآمده از ورقه فرورو [۴۷]؛ پ) خاستگاه نمونه‌ها در نمودار Th/Ce نسبت به Th [۵۰]؛ ت) نمودار $(La/Yb)_N$ نسبت به Yb [۵۱] که براساس آن، سنگ‌های آتشفشانی جنوب نیر از ذوب بخشی خاستگاه گارنت آمفیبولیت تا گارنت اکلوژیتی به وجود آمده‌اند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]
[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]
[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

برداشت

سنگ‌های آتشفشانی جوان جنوب شرق نیر واقع در جنوب استان یزد بصورت مخروط آتشفشانی و گنبد رخنمون داشته و از دیدگاه تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری، در پهنه ماگمایی ارومیه- دختر قرار دارند. سنگ‌های مورد بررسی بیشتر ترکیب داسیتی تا ریوداسیتی و سرشت آهکی- قلیایی دارند. نمودارهای زمین‌ساختی ماگمایی و شواهد زمین شیمیایی چون غنی‌شدگی از LILE و LREE و تهی‌شدگی از HFSE و HREE، نشانگر فعالیت ماگمایی در کرانه قاره دلالت هستند. مقادیر بالای Sr/Y و La/Yb و تهی شدگی این سنگ‌ها از عنصرهای با شدت میدان بالا HFS، Y و Yb به ویژگی‌های مذاب‌های آداکیتی پرسیلیس شباهت دارد و بیانگر پیدایش آنها در فشار بالا با ماندگاری عنصرهای یاد شده در فازهای برجامانده دیرگداز (چون روتیل و گارنت) است. همه این شواهد نشانگر پیدایش ماگمای سازنده سنگ‌های آداکیتی از ذوب بخشی خاستگاه گارنت آمفیبولیتی یا اکلوژیتی برآمده از دگرگونی سنگ‌کره اقیانوسی فرورو نئوتتیس در زمان نئوژن است. این فرایند برای فعالیت ماگمایی آداکیتی در سایر نقاط ایران نیز در نظر گرفته شده است.

مراجع

[1] Mohajjel M., Fergusson C. L., Sahandi M.R., *"Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran"*, Journal of Asian Earth Sciences 21(2003) 397-412.

[2] Alavi M., *"Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution"*, American journal of Science 304 (2004) 1-20.

[3] Agard P., Omrani J., Jolivet L., Whitechurch H., Vrielynck B., Spakman W., Monie P., Meyer B., Wortel R., *"Zagros orogeny: a subduction-dominated process"*, Geological Magazines 148(5-6) (2011) 692-725.

[4] Ghasemi A., Talbot C.J., *"A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran)"*, Journal of Asian Earth Sciences 26 (2006) 683-69.

[5] Arzhangnezhad F., Moradian A., Keshtkar Z., *"The study of petrography, geochemistry and petrogenesis of subvolcanic masses of Madvar and Shah khairollah in north and southeast of Shahr-eBabak city (Kerman province)(in Persian)"*, Petrology 24(2015) 151-170.

[6] Mirnejad H., Raeisiand D., Heidari F., *"Geochemistry and petrogenesis of tonalite from Iju area,northwest of Shahr-e Babak (Kerman province),with emphasis on adakitic magmatism)(in Persian)"*, Petrology 24 (2015) 197-210.

[7] Ghadami GH.R., Poosti M., Babai F., *"Petrogenesis of Mio-Pliocene dacite- andesite volcanism in SE of Urumieh- Dokhtar magmatic belt (NE Shahr-e-Babak)(in Persian)"*, Geosciences 25(97) (2015) 37-48.

[8] Chekani Moghadam M., Tahmasbi Z., Ahmadi-Khalaji A., *"Mineralogy, geochemistry and origin of Baft northeast volcanic rocks (south Kerman): Evidence for volcanic arc magmatism in Uromieh-Dokhtar magmatic belt (in Persian)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (4) (2017) 743-760.

[9] Mahmoudi Sh., Khajeie A., *"Petrogenesis and tectonic setting of adakitic volcanic rocks in Hassan-Abad Darreh-Zereshk (in Persian)"*, Quaternary of Iran 5(1) (2019) 125-142.

[10] Defant M. J., Kepezhinskas P., *"Evidence suggests slab melting in arc magmas"*, EOS, Transactions, American Geophysical Union 82(6) (2001) 62-70.

[11] Martin H., *"Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids"*, Lithos 46(3) (1999) 411-429.

[12] Sherafat Sh., *"Petrology and geochemistry of Plio-Quaternary volcanic rocks in west and southwest of Yazd Province (in Persian)"*, Ph.D. Thesis, Isfahan University, Isfahan, Iran (2009).

[13] Kuhsari A.H., Mackizadeh M.A., *"Petrolgraphy and geochemistry of Igneous rocks and their alteration in Dehshir fault zone (in Persian)"*, Yazd university (1996).

[14] Aghanabati A., *"Geology of Iran (in Persian)"*, Geological survey of Iran (2004).

[15] Sahandi M., *"Geological map of Nir, Sheet No. 6852"*, Geological survey of Iran (2008).

[16] Ramberg H., *" Model Studies of Gravity controlled Tectonics by the Centrifuge Technic"* In: De Jong K, A., Scholten R. (eds), Gravityand Tectonics, John Wiley, New York, (1973) 49-66.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

A.D. and Norry, M.J.). Geological Society of London Special Publication (1989) London,

[30] Tatsumi, Y., Hamilton, D.L., Nestutt, R.W., *"Chemical characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc lavas: evidence from high-pressure experiments and natural rocks",* Journal of Volcanology and Geothermal Research 29 (1986) 293-309.

[31] Keppler, H., *"Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction-zone fluids"*, Nature 380 (1996) 237–240.

[32] Wilson, M., *"Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach"*. Chapman and Hall, London (1989) 446 pp.

[33] Ryerson, F.J., Watson, E.B., *"Rutile saturation in magmas: implications for Ti -NbTa depletion in island-arc basalts",* Earth and Planetary Science Letters, 86(2–4) (1987) 225–239.

[34] Gaetani, G. A., *"The influence of melt structure on trace element partitioning near the peridotite solidus",* Contributions to Mineralogy and Petrology 147(5) (2004) 511-527.

[35] Nakamura, N., *"Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites"*, Geochimica et Cosmochimica Acta 38 (1974) 757-775.

[36] MacDonald, R., Hawakesworth, C.J., Heath, E., *"The lesser Antilles volcanic chain: a study of arc magmatism",* Earth Science Reviews 49(4) (2000) 17- 26.

[37] Pearce, J.A., *" Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins"*, In: Continental Basalts and Mantle Xenoliths (Eds. C.J. Hawkesworth and Norry, M.J.) Shiva, Nantwich (1983) 230–249.

[38] Kampunzu, A.B., Tombale, A.R., Zhai, M., Bagai, Z., Majaule, T., Modisi, M.P., *"Major and trace element geochemistry of plutonic rocks from Francistown, NE Botswana: evidence for a Neoarchaean continental active margin in the Zimbabwe craton"*. Lithos 71(2003) 431-460.

[39] Pearce, J. A., Harris, N.B.W., Tindle, A.G., *"Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks"*, Journal of Petrology 25(4) (1984) 956–983.

[40] Schandl, E.S., Gorton, M.P., *"Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments",* Economic Geology 97 (2002) 629-642.

[41] Defant, M.J., Drummond, M.S., *"Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere"*, Nature 374 (1990) 662-665.

[17] Tsuchiyama A., "*Dissolution kenitics of plagioclase in the melt of the system diopside – albite-anorthite and origin of dusty plagioclase inandesite*", Contributions to Mineralogy and Petrology 89 (1985) 1-16.

[18] Stewart M.L., Pearce T.H., *"Sieve-textured plagioclase in dacitic magma: Interference imaging results",* American Mineralogist, 89(2-3) (2004) 348-351.

[19] Humphreys M.C.S., Blundy J.D., Stephen R., Sparks J., *"Magma Evolution and Open-System Processes at Shiveluch Volcano: Insights from Phenocryst Zoning",* Journal of Petrology 47(12)(2006) 2303–2334.

[20] Rutherford M.J., Hill P.M., *"Magma ascent rates from amphibole breakdown: An experimental study applied to the 1980–1986 Mount St. Helens eruptions",* Journal of Geophysical Research 98 (B11) (1993) 19667-19685.

[21] Shelly D., "*Igneous and metamorphic rocks under the microscope"*, Chapman and Hall (1993) 445 pp.

[22] Whitny D.L., Evans B.W., "*Abbreviations for names of rocks-forming minerals",* American mineralogist 95 (2010) 185-187.

[23] Middlemost Middlemost, E.A.K., *"Naming materials in the magma/igneous rock system"*. Earth Sciences Reviews 37(3–4) (1994) 215–224.

[24] De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M., *"A classification of volcanic and plutonic rocks using R1R2 -diagram and major element analyses- Its relationships with current nomenclature"*, Chemical Geology 29 (1980) 183-210.

[25] Jensen L.S., *"A New Cation Plot for Classifying Subalkalic Volcanic Rocks",* Ontario Geological Survey Miscellaneous Paper 66 (1976).

[26] Winchester J.A., Floyd P.A., *"Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements",* Chemical Geology 20(4) (1977)325-343.

[27] Hastie A.R., Kerr A.C., Pearce J.A., Mitchell S.F., *"Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th- Co discrimination diagram"*, Journal of Petrology 48 (2007) 2341–2357.

[28] Shand S.J., *"Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite",* Thomas Murby, London (1943) 488 pp.

[29] Sun S.S., McDonough W.F., *"Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes".* In: Magmatism in the Ocean Basins (Eds. Saunders,

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]

Earth and Planetary Science Letters 226 (2004) 415-432.

[53] Wang, Q., Xu, J. F., Jian, P., Bao, Z. W., Zhao, Z. H., Li, C. F., Xiong, X. L., Ma, J. L,. *"Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: Implications for the genesis of porphyry copper mineralization"*, Journal of Petrology 47 (2006) 119-144.

[54] Defant, M.J., Drummond, M.S., *"Mount St. Helens: potential example of the partial melting of the subducted lithosphere in a volcanic arc"*, Geology 21(1993) 547-550.

[55] Peacock, S. M., Rushmer, T., Thompson, A. B., *"Partial melting of subducting oceanic crust",* Earth and Planetary Science Letters 121 (1994) 227—244.

[56] McCluske, S., Balassanain, S., Baraka, A., Dmir, C., Ergintav, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Nadariya, M., Ouzounis, A., Toksoz, M. N., Veis, G., *"Global positioning system constrains on plat Kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus",* Journal of Geophysical Research 105 (2003) 5695-5719.

[57] Yadollahi, R., Kananin, A., Maanijou, M, Sarjoughian, F. and Hassanpour, Sh. *"Genesis of Adakitic Magmatism in Masjed Daghi Region in Julfa, Eastern Azarbaijan (in Persian)"*. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 19 (2) (2011) 297-310.

[58] Mahoudiniya, H., Jahangiri, A., *"Petrographic and petrogenetic studies of adakitic magmatism of Gavdel (Shivar Dagh) in Garehdagh-South Arminian Zone (Northwest of Iran) (Irankuh Pb-Zn deposit, Southwest of Isfahan) (in Persian)",* Petrology 29 (2017) 21-36.

[59] Noghreyan, M., Khodami, M., Davoudian Dehkordi, A., Shabanian Brogeni, N., *"Petrogenesis of Pliocene-Quaternary Volcanic Rocks in Isfahan Province: Insight on Adakite Magmatism (in Persian)".* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 19 (3) (2011) 451-462.

[60] Fardfeshani, Z., Ghorbani, M.R., Arvine, M., *"Origin and Evolution of Eocene Felsic and Neogene Adakitic Volcanism in Kajan (west Nain)(in Persian) ".* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22 (1) (2014) 115-124.

[42] Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F., Champion, D., *"An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG), and sanukitoid: re-lationships and some implications for crustal evolution"*, Lithos 79 (2005) 1–24.

[43] Rosu, E., Seghedi, I., Downes, H., Alderton, D. H. M., Szakacs, A., Panaiotu, C. E., Nedelcu, L., *"Extension-related Miocene calcalkaline magmatism in the Apuseni Mountains, Romania: Origin of magmas. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen",* 84 (2004) 153-172.

[44] Moyen, J. F., *"High Sr/Y and La/Yb ratios: the meaning of the "adakitic signature" "*, Lithos 54 (2009) 365-372.

[45] Tsuchiya, N., Kimura , J.I., Kagami, H., *"Petrogenesis of Early Cretaceous adakitic granites from the Kitakami Mountains, Japan",* Journal of Volcanology and Geothermal Research 167(1) (2007) 134-159.

[46] Zhao, J. H., Zhou, M. F., *"Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusion in the Panzhihua district (Sichuan Province, SW China): Implications for subduction–related metasomatism in the upper mantle",* Precambrian Research 152(2007) 27-47.

[47] Rapp, R.P., Watson, E.B., Miller, C.F., *"Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities"*, Precambrian Research 51(1991) 1–25.

[48] Castillo, R. P., *"An overview of adakite petrogenesis"*, Chinese Science Bulletin 51(2006) 257-268.

[49] Sen, C., Dunn, T., *"Dehydration melting of a basaltic composition amphibolite at 1.5 and 2.0 Gpa: implications for the origin of adakites",* Contributions to Mineralogy and Petrology 117 (1994) 394-409.

[50] Delavari, M., Amini, S., Schmitt, A.K., McKeegan, K.D., Mark Harrison, T., *"U–Pb geochronology and geochemistry of Bibi-Maryam pluton, eastern Iran: Implication for the late stage of the tectonic evolution of theSistan Ocean"*. Lithos 200–201 (2014)197-211.

[51] Foley, S.F., Barth, M.G., Jenner, G.A., *"Rutile/melt partition coefficients for trace elements and an assessment of subduction zone magmas",* Geochimica et Cosmochimica Acta 64 (2000) 933-938.

[52] Schmidt, M. W., Dardon, A., Chazot, G., Vannucci, R., *"The dependence of Nb and Ta rutilemelt partitioning on melt composition and Nb/Ta fractionation during subduction processes"*.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-04-20]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1400.29.2.13.2]

[DOI: 10.52547/ijcm.29.2.441]