

پetroگرافی و پترولوژی سنگ‌های آلکالن پتاسیک، شبه‌جزیره اسلامی و محیط ژئودینامیکی آنها

بهزاد حاج علیلو*

چکیده

شبه‌جزیره اسلامی با مساحتی حدود ۳۶۰ کیلومتر مربع در جنوب غرب شهر تبریز و ساحل شرقی دریاچه ارومیه قرار دارد. این شبه‌جزیره، به‌سان یک استراتوولکان مرکب با بخش مرکزی فرونشسته است که بعداً بر اثر تزریق دماها و توده‌های ساب‌ولکانیک با ترکیب تراکیتی تا میکروسینیتی بالا آمده است. مخروط مرکب شامل تناوبی از گدازه‌های لوسیت‌تفریتی، تفریت، لوسیت‌بازانیت، بازانیت و سنگ‌های پیروکلاستیک وابسته است. توالی فعالیت‌های ماگمایی در این جزیره با ماگماتیسم آلکالن پتاسیک تا اولتراپتاسیک و شوشونیتی بازیگ و تحت اشباع از سیلیس شروع شده و در میانه راه با تزریق استوک‌ها و دایک‌های لامپروفیری همراهی شده و در نهایت با ماگماتیسم اسیدی و شامل تزریق دماهای تراکیتی، میکروسینیتی و سینیتی تا فونولیتی خاتمه یافته است.

ماگمای مولد سنگ‌های جزیره اسلامی سرشت آلکالن پتاسیک تا اولتراپتاسیک و شوشونیتی دارند و از عناصر LILE, LREE غنی بوده، آنومالی منفی و مشخصی از عناصر HREE در آنها مشاهده می‌شود. این ویژگی می‌تواند ناشی از تشکیل ماگمای مولد از گوشته عمقی با ترکیب گارنت لرزولیتی و با نرخ کم باشد که در حین صعود و عبور از پوسته قاره‌ای با مواد پوسته‌ای آرایش یافته است. بررسی موقعیت ژئودینامیکی این سنگ‌ها در دیاگرام‌های مربوط به سنگ‌های پتاسیک (Muller & Groves, 1997) نشان می‌دهد که این مجموعه در یک قوس ماگمایی پس‌برخوردی شکل گرفته‌اند و ارتباطی با محیط‌های مرتبط با مناطق فرورانش و یا مناطق ریفتی درون‌قاره‌ای ندارند.

کلیدواژه

سنگ‌های آلکالن، تفریت، بازانیت، شوشونیت، لامپروفیر، گارنت لرزولیت، عناصر HREE, LILE, LREE، قوس ماگمایی.

* عضو هیئت علمی دانشگاه پیام‌نور، مرکز تبریز

مقدمه

لازم است که بطور متاسوماتیک از LREE و LILE غنی شده باشند. پکسریلو (Peccerillo □ 1992) معتقد است که اجزای فرار متاسوماتیکی و عناصر LREE و LILE ترجیحاً در کانی‌های آبداری نظیر فلوگوپیت و آپاتیت که در رگه‌های گلیمریتی و در زیرگوشته فوقانی پراکنده‌اند، متمرکز می‌شوند.

ماگماتیسیم شوشونیتی و اولتراپتاسیک جزیره اسلامی به سن پلیوسن (۶/۵ تا ۸ میلیون سال) در ساحل شرقی دریاچه ارومیه انجام شده است (Moine-vaziri, 1985، مرادبان شهریابکی، ۱۳۷۹)، و در خصوص پتروژنز آن عقاید مختلفی از جمله تظاهرات نهایی ماگماتیسیم تیپ حاشیه فعال قاره و در ارتباط با فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ایران مرکزی، فعالیت مرتبط با ریف‌های درون قاره‌ای و نیز ماگماتیسیم مرتبط با نقاط داغ زیر پوسته قاره‌ای ابراز شده است. بررسی اخیر نشان می‌دهد که ماگماتیسیم مذکور قرابتی با محیط‌های یادشده نداشته، به احتمال زیاد در یک قوس ماگمایی پس برخوردی شکل گرفته است.

بحث

۱. زمین‌شناسی عمومی و تکتونیک

شبه جزیره اسلامی به فرم یک مخروط مرگب استراتوولکان با یال‌های کم‌شیب و کالدرای ریزشی در شرق دریاچه ارومیه رخمون یافته است و بعداً تحت تأثیر تزریق دم‌های ساب ولکانیک تراکیتی تا میکروسینیتی در بخش مرکزی آن، این بخش از جزیره مجدداً ارتفاع گرفته است. (نقشه شماره ۱).

سنگ‌های آذرین پتاسیک در حالت کلی سنگ‌های کالکوالکالن غنی از پتاسیم، شوشونیت‌های مرتبط با نواحی فرورانش، سنگ‌های پتاسیک درون صفحه‌ای، سنگ‌های فوق پتاسیک کوه‌زایی و لامپروفیرهای شوشونیتی و آلکالن است.

سنگ‌های پتاسیک به سنگ‌هایی اطلاق می‌شود که نسبت مولار K_2O/Na_2O در آنها حدود یک یا کمی بیشتر از آن، و میزان MgO بیشتر از ۳٪ باشد (Foley at.al. 1987; Peccerillo □ 1992). سنگ‌های اولتراپتاسیک به سنگ‌هایی گفته می‌شود که میزان مولار K_2O/Na_2O بیشتر از ۲ و میزان MgO بیشتر از ۳٪ باشد (Foley at.al. 1987). در حالت کلی، اصطلاح پتاسیک هم برای سنگ‌های پتاسیک و اولتراپتاسیک به کار برده می‌شود. سنگ‌های پتاسیک و اولتراپتاسیک به چهار دسته عمومی لامپروئیت‌ها، کامافوگیت‌ها، شوشونیت‌ها و سنگ‌های پتاسیک و اولتراپتاسیک تیپ رومن تقسیم می‌شوند. در خصوص پتروژنز این گروه از سنگ‌ها عقاید زیر ابراز شده است:

الف) مدل هضم سنگ‌های کربناته توسط ماگمای بازیک؛

ب) مدل پالایش منطقه‌ای؛

ج) مدل ذوب ناحیه‌ای؛

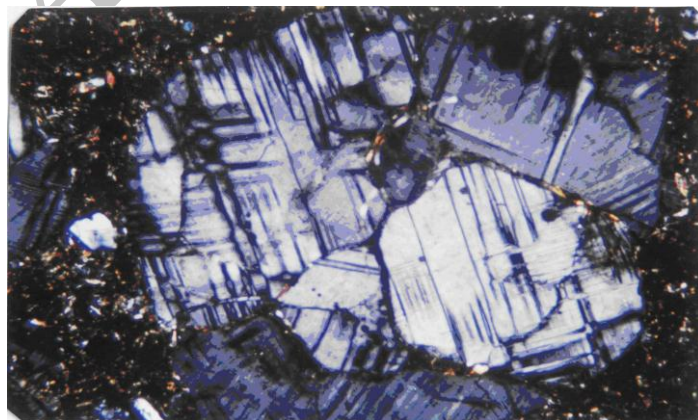
د) متاسوماتیسیم گوشته‌ای؛

در حالت عمومی عقیده بر آن است که ماگماهای پتاسیک از طریق ذوب بخشی معمولی از گوشته نمی‌توانند حاصل شوند و منابع گوشته‌ای ناهمگنی

تناوبی از گدازه‌های لوسیت بازانیتی تا لوسیت تفریتی و سنگ‌های پیروکلاستیک وابسته (برش‌ها و آگلومراهای با قطعات سنگ‌های یادشده) که توسط دایک‌های تأخیری و دایک‌های تغذیه‌کننده با ترکیب لوسیت بازانیت تا تفریت قطع شده‌اند و این دایک‌های تغذیه‌کننده - که در بالا به روانه‌های بازانیتی و تفریتی ختم می‌شوند - در راستای WNW-ESE توزیع شده‌اند. این امر نشان می‌دهد که در هنگام تکوین فعالیت‌های قدیمی این جزیره، شکستگی‌ها و گسله‌های با راستای یادشده به صورت کششی عمل می‌کرده‌اند و این مسئله می‌تواند در ارتباط با بالازدگی منطقه بعد از فاز فشاری باشد.

۲. پتروگرافی

پتروگرافی لوسیت تفریت‌ها و بازانیت‌ها نشان می‌دهد که کانی‌شناسی اصلی آنها به ترتیب شامل فنوکریست‌های شکل‌دار لوسیت با ماکل پیچیده و کلینوپیروکسن‌های شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و بازونینگ نوسانی و بافت غربالی است (شکل‌های ۱ تا ۳).

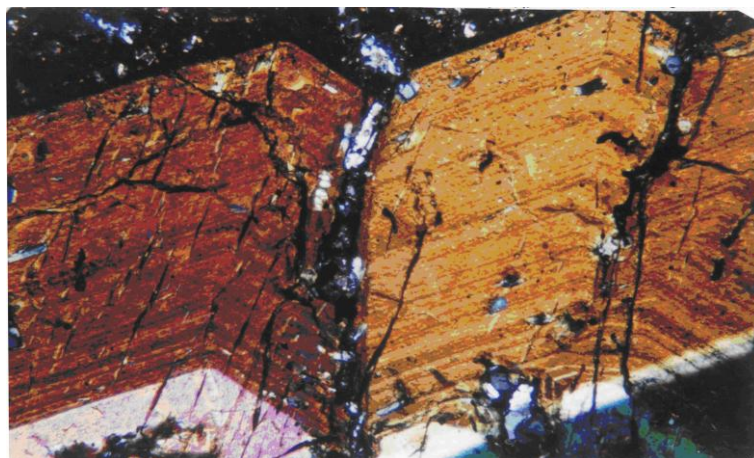


شکل ۱. فنوکریستال لوسیت با ماکل پیچیده در لوسیت بازانیت (XPL X25)

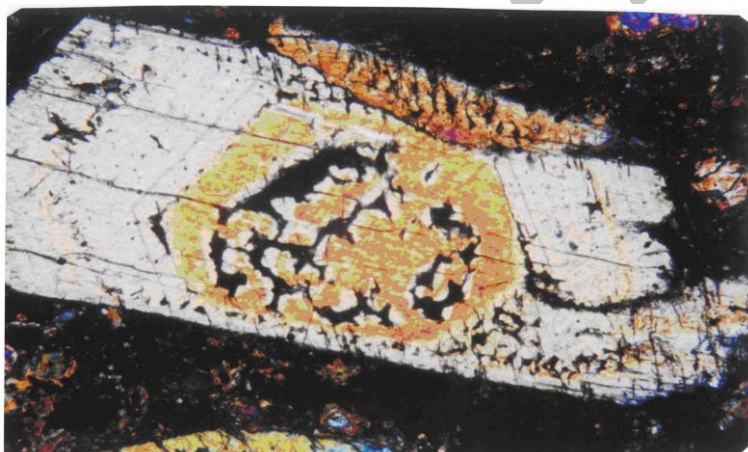
از نظر زمین‌ساختی ماگماتیسم یادشده، بخشی از زون ماگمائی ترشیری - کواترنری محسوب می‌شود. ارتفاعات شبه‌جزیره اسلامی به صورت یک عارضه مورفوتکتونیکی مشخص و به واسطه یک دشت از ارتفاعات ولکانیکی سهند تفکیک می‌شود. تغییرات میدان ثقلی در این ناحیه بین ۱۱۰- تا ۱۰۰- میلی‌گال و ضخامت پوسته در این ناحیه حدود ۴۲ تا ۴۳ کیلومتر است (Dehghani & Makris, 1983).

دو گسل اصلی در جزیره اسلامی با راستاهای NNW-SSE (گسل تیمورلو- گمیچی) و ENE-WSW (گسل سارای - آق‌گنبد) حضور دارند و محل تلاقی آنها تقریباً بر بخش مرکزی جزیره منطبق می‌شود. بررسی نتایج مغناطیس‌هوایی در جزیره نشانگر خطواره مهمی در پی‌سنگ و با راستای NNE-SSW است. خطواره مذکور احتمالاً ادامه تقریبی گسل شاخه شرقی ارس یا گسله آپشرون - پالمیراست و به نظر می‌رسد در تکوین طرح ساختاری شبه‌جزیره اسلامی، نقش مهمی بازی کرده باشد.

استراتوولکان جزیره اسلامی که در بردارنده قدیمی‌ترین فعالیت ماگمائی این مجموعه است شامل



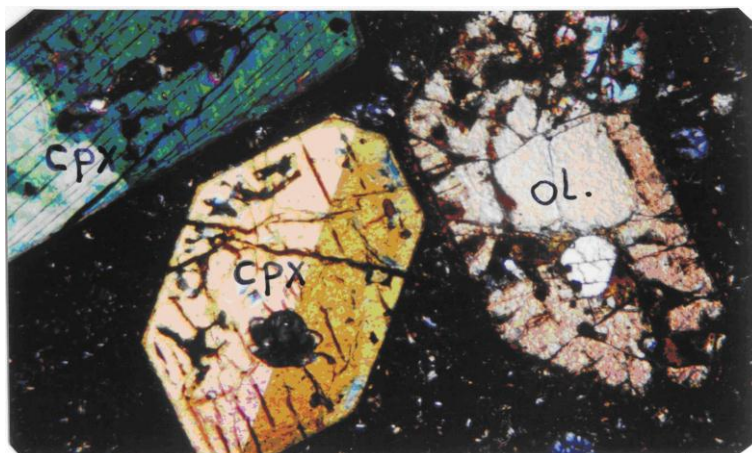
شکل ۲. زونینگ نوسانی در کلینوپیروکسن بازانیت ها (حالت X25 XPL)



شکل ۳. بافت غربالی در فنوکریستال کلینوپیروکسن در بازانیت ها (حالت X40 XPL)

هیالوپورفیریک تا هیالومیکرولیتی پورفیریک است. در لوسیت بازانیت ها علاوه بر کانی شناسی یادشده، فنوکریستال های شکل دار تا نیمه شکل دار اولیوین ایدینگزیده مشاهده می شود (شکل ۴).

در برخی از نمونه ها، لوسیت به آنالسیم تجزیه شده است و بلورهای ریزالیوین که به میزان اندکی در این سنگ ها حضور دارند به ایدینگزیت تجزیه شده اند. همچنین، مقادیر جزیی سانیدین و بیوتیت در این سنگ ها مشاهده شده است. بافت عمومی این سنگ ها

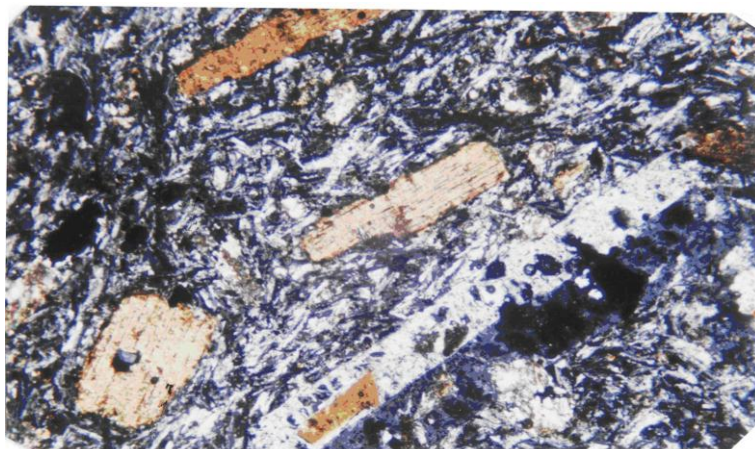


شکل ۴. فنوکریستال اولیوین با حاشیه ایدنگزیده در بازایت‌ها (حالت X25 XPL)

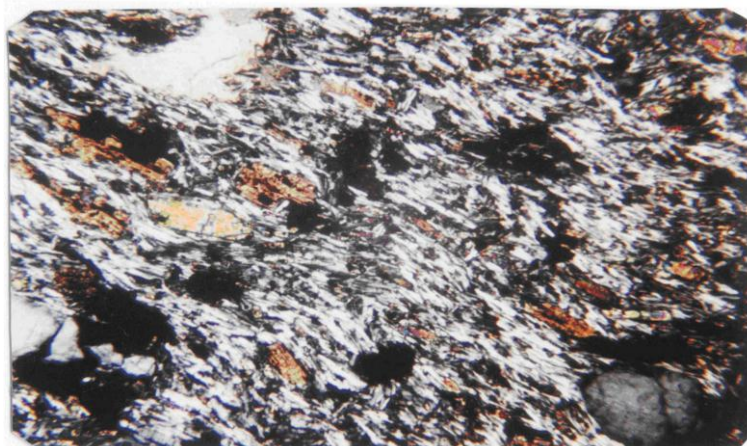
است (شکل‌های ۵ تا ۷).
گنبد‌های میکروسینیتی تا سینیتی در بخش مرکزی جزیره رخنمون یافته‌اند و کانی‌شناسی آنها شبیه تراکیت‌ها بوده، دارای بافت تراکتیوئید، میکرولیتی پورفیریک تا گرانولار می‌باشند (شکل‌های ۸ تا ۹).
در داخل سنگ‌های ولکانیک بازائیتی تا تفریتی و همچنین دایک‌های لامپروفیری قطعاتی از احتمالاً زینولیت‌های گوشته‌ای با ترکیب کلینوپیروکسنیت میکادار مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۰ و ۱۱) کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آنها شامل کلینوپیروکسن شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، بیوتیت و فلوگوپیت است. بلورهای فلوگوپیت و بیوتیت دارای حالت کینگ باند بوده، مثل کلینوپیروکسن‌ها دارای خاموشی موجی هستند. زونینگ در کلینوپیروکسن‌ها مشاهده نمی‌شود و لذا نمی‌توان این زینولیت‌ها را به عنوان فاز کومولائی گدازه‌های تفریتی در نظر گرفت. کانی‌های فرعی آنها شامل انکلوزیون‌های آپاتیت و کانی تیره است.

مجموعه‌های ولکانیک و ولکانوکلاستیک قدیمی جزیره توسط فعالیت‌های میانی و شامل تزریق پلاگ‌ها و دایک‌های لامپروفیری قطع شده‌اند. کانی‌شناسی این سنگ‌ها شامل میکا، کلینوپیروکسن و فلدسپار آلکالن است که با بلورهای درشت و براق میکا مشخص می‌شود. کانی‌های فرعی و عارضه‌ای شامل زئولیت، اسفن، آپاتیت و کربنات است که از این لحاظ به لامپروفیرهای کالکوالکالن تیپ مینت شباهت دارند (Rock □ 1991).

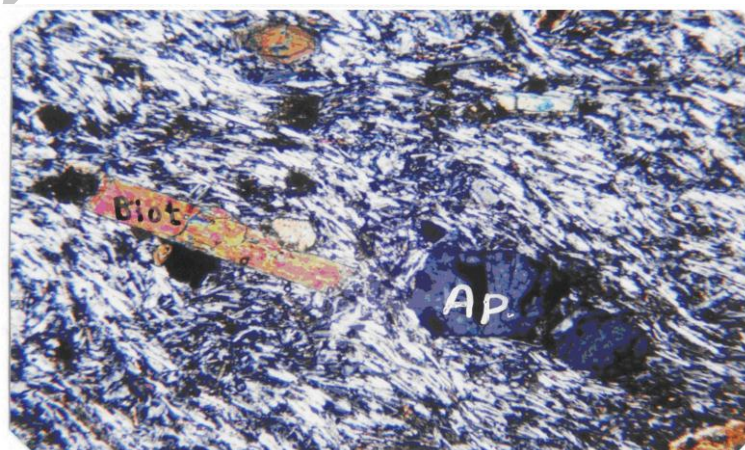
جوان‌ترین فعالیت‌های ماگمائی جزیره اسلامی شامل فوران گدازه‌های تراکتیتی تا فونولیتی، تزریق دایک‌های تراکتیتی و همچنین نفوذ گنبد‌های میکروسینیتی تا سینیتی است که باعث ارتفاع گرفتن بخش مرکزی جزیره شده‌اند. کانی‌شناسی تراکتیت‌ها و فونولیت‌ها شامل فنوکریستال‌ها و میکرولیت‌های سانیدین، کلینوپیروکسن، میکا و اندکی پلاژیوکلاز است و کانی‌های عارضه‌ای آنها شامل اسفن و آپاتیت



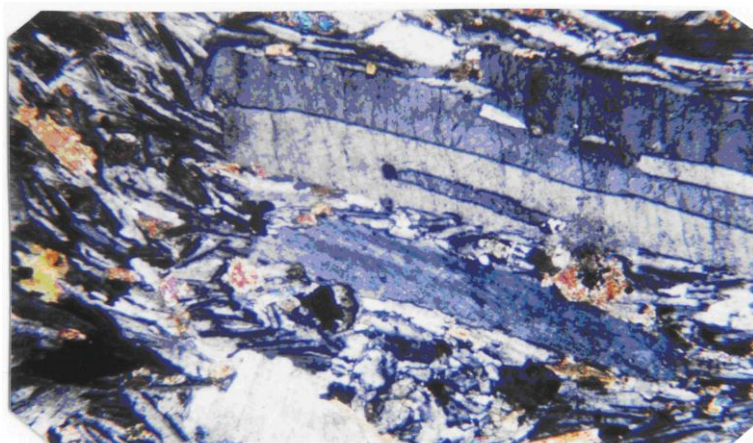
شکل ۵. سانیدین و بیوتیت در خمیره میکروکلین در تراکی آندزیت (حالت XPL X40)



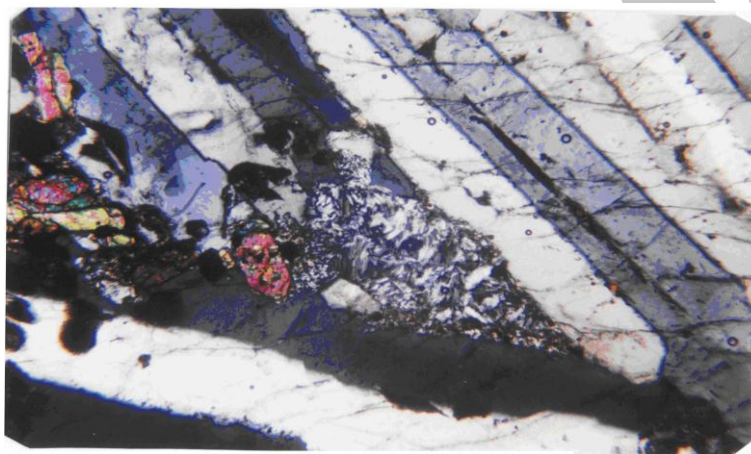
شکل ۶. بافت تراکیتی بیوتیت کلینوپیروکسن و آپاتیت در دمه‌های تراکیتی جزیره (حالت XPL X25)



شکل ۷. فنوکریستال آپاتیت و میکا در تراکیت (حالت XPL X25)



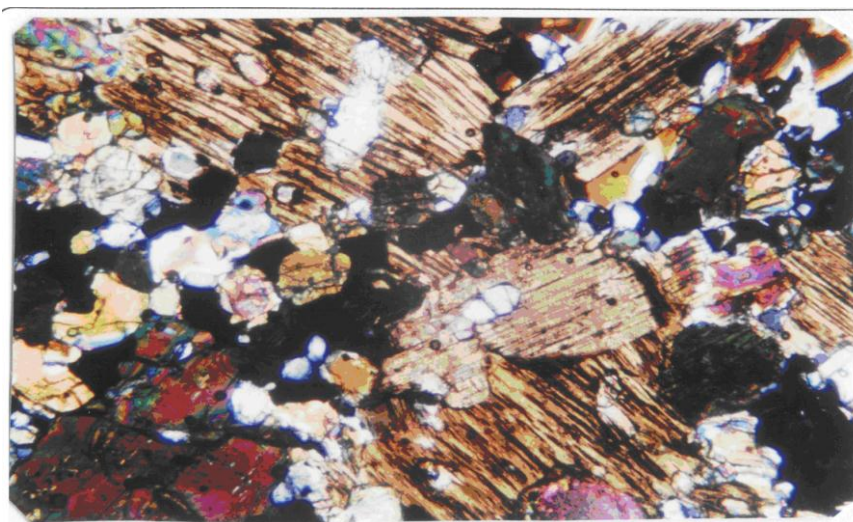
شکل ۸. بافت میکرولیتی پورفیریکی در میکروسینیت (حالت XPL X25)



شکل ۹. بافت تراکیتوئید در سینیت‌های جنوب شرق داشکسن (حالت XPL X25)



شکل ۱۰. بیوتیت، کلینوپیروکسن و کانی تیره در زینولیت‌های اولترامافیک (حالت X25 XPL)



شکل ۱۱. آنکلوزیون‌های آپاتیت در داخل میکا در کلینوپیروکسنیت میکادار (حالت X25 XPL)

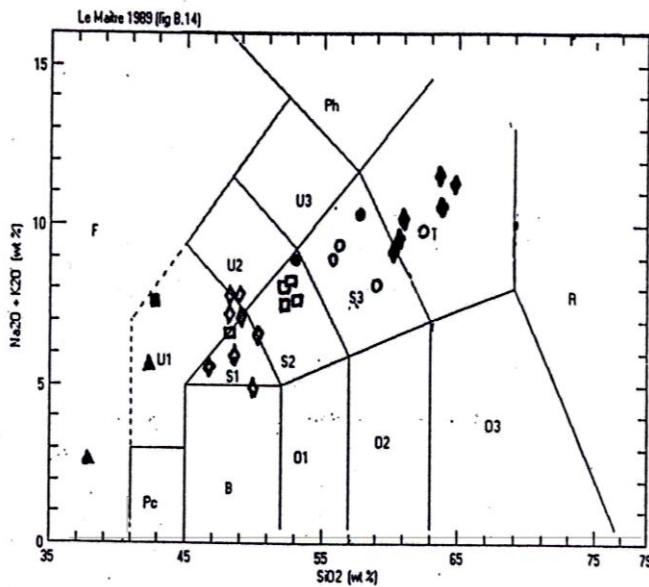
۳. پتروشیمی و پتروژنز

برای انجام تحلیل‌های پتروشیمی و مطالعات پتروژنز، ۳۱ نمونه از ترم‌های مختلف سنگی انتخاب و جهت آنالیز XRF به «شرکت کانساران بینالود» ارسال گردید. در این آزمایش‌ها، ضمن تعیین مقادیر ۱۰ اکسید اصلی، ۲۷ عنصر نیز مورد آنالیز قرار گرفت (جدول ۱). در کنار این آزمایش‌ها، برای بررسی دقیق‌تر رفتار عناصر نادر خاکی، تعداد ۱۴ نمونه انتخاب و جهت آنالیز ۳۳ عنصری به روش فعال‌سازی نوترونی (NAA) به آزمایشگاه راکتور مینیاتوری مرکز تحقیقات و تولید سوخت هسته‌ای اصفهان ارسال گردید که نتایج حاصل به شرح زیر است:

در دیاگرام TAS پیشنهادی IUGS ترکیب سنگ - شناسی گروه‌های سنگی جزیره اسلامی در محدوده بازالت تا تراکی‌بازالت، تفریت، فونوتفریت

(فعالیت‌های قدیمی) تراکیت، تراکی‌آندزیت، فونولیت و تراکی‌فونولیت، سینیت، سینودیوریت (فعالیت‌های جوان جزیره) و فوئیدیت تا تفریت، تراکی‌آندزیت بازالتی و تفریت (توده و دایک‌های لامپروفیری) قرار می‌گیرند (شکل ۱۲).

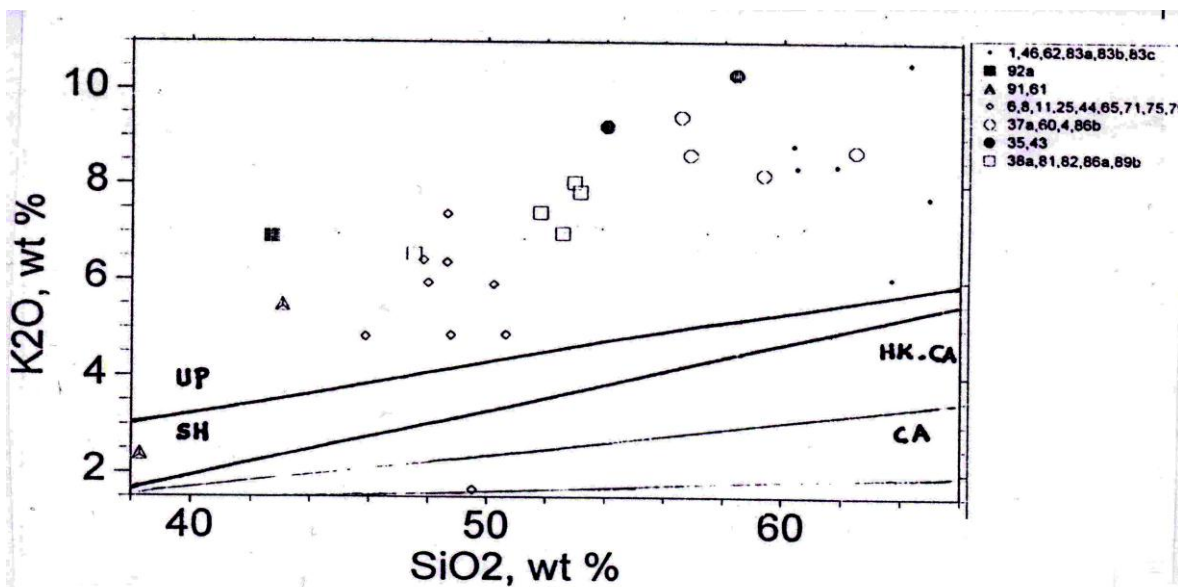
ماگمای مولد سنگ‌های ولکانیک و ساب‌ولکانیک جزیره اسلامی سرشت شوشونیتی و اولتراپتاسیک دارند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). در گدازه‌های تفریتی و بازالتی، همواره نسبت K_2O/Na_2O بیشتر از یک بوده، در برخی موارد به چهار نیز می‌رسد و اغلب در نورم خود الیومین و لوسیت دارند. این گدازه‌ها از عناصر LILE و نیز LREE غنی هستند. ویژگی‌های اخیر در سنگ‌های تراکیتی تا فونولیتی، سینیت‌ها و لامپروفیرها نیز به چشم می‌خورد.



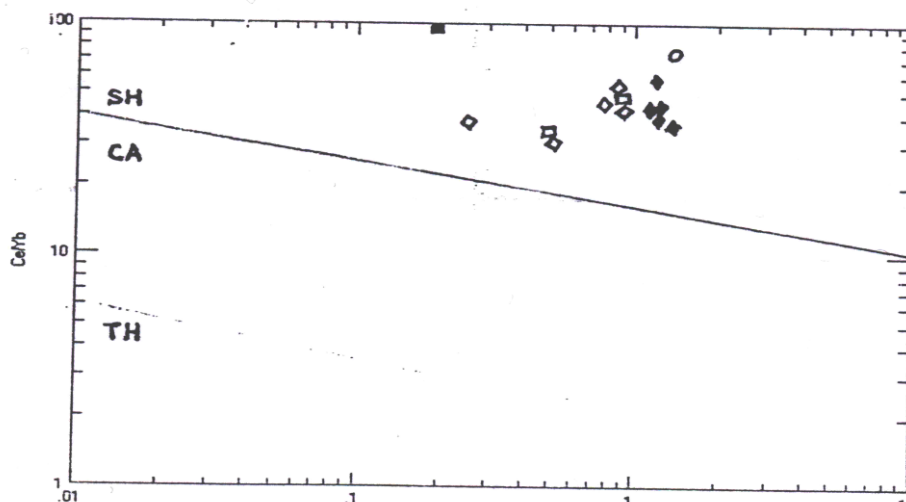
- ◆ تراکیت
- دایک لامپروفیری
- ▲ پیروکینیت میکادار
- دایک تراکیتی
- ◇ تفریت، بازائیت
- سینیت
- توده لامپروفیری

- | | |
|--|---|
| U ₁ : تفریت (اگر اولیون کمتر از ۱۰٪ باشد) | R: ریولیت |
| بازائیت (اگر اولیون بیشتر از ۱۰٪ باشد) | O _p : داسیت |
| F: فوئیدیت | O _h : آندزیت |
| U _h : فنوتفریت | O _l : آندزیت بازالتی |
| S _h : تراکی بازالت | B: بازالت |
| S _p : تراکی آندزیت بازالتی | PC: پیکروبازالت |
| Ph: فنولیت | S _h : تراکی آندزیت (سینودیوریت) |
| U _h : تفری فنولیت | T: تراکیت (اگر کوارتز کمتر از ۲۰٪ باشد) (سینیت) |
| | تراکی داسیت (اگر کوارتز بیشتر از ۲۰٪ باشد) |

شکل ۱۲. سنگ‌های مختلف جزیره اسلامی بر روی دیاگرام TAS پیشنهادی IUGS (از لومتر ۱۹۸۹)



شکل ۱۳. تغییرات SiO_2 به K_2O و موقعیت سنگ‌های جزیره اسلامی (پکسریلو و تایلور ۱۹۷۲)



شکل ۱۴. نسبت Ta/Yb به Ce/Yb جهت تفکیک سری‌های شوشونیتی (SH، کالکوالکالن (CA) و

تولنیتی (TH) از پیرس (۱۹۸۳) و موقعیت نمونه‌های شبه‌جزیره اسلامی در آن

این ماگماتیسیم برخلاف تصور تعدادی از محققان، ربطی به فرورانش نئوتتیس به زیر ایران مرکزی و یا ریفت درون قاره‌ای ندارد. با توجه به تعداد زیاد سیستم‌های شکستگی و گسلش در ایران مرکزی و شمال غرب ایران و فشار فزاینده و موری که از طریق حرکت هم‌گرا و دَوْرانی پلیت عربی و در اثر گسترش بحر احمر به پوسته ایران زمین وارد می‌شود، ترکیب حرکات گسله، و راستای توزیع آنها نسبت به ماگزیم استرس وارد بر منطقه، می‌تواند نقش مهمی در ماگماتیسیم، بعد از تصادم در ایران داشته‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱. شبه‌جزیره اسلامی یک استراتوتولکان مرگب با کالدرای ریزشی است که بعداً مورد تهاجم ماگماتیسیم لامپروفیری و اسیدی با ترکیب تراکیتی، فونولیتی تا سینیتی قرار گرفته‌است.
۲. فعالیت‌های قدیمی آن شامل فوران‌های تفریتی و بازانیتی و سنگ‌های پیروکلاستیک وابسته بوده گرایش بعدی به سمت ترم‌های اسیدی است.
۳. مشاهده بافت‌های غربالی و زونینگ نوسانی در بلورهای کلینوپیروکسن و فراوانی بلورهای لوسیت در اندازه‌های تفریتی و بازانیتی نشان می‌دهد که پدیده‌های اختلاط ماگمائی، هضم و تغییرات سریع فشار در حین صعود، از جمله عوامل مؤثر بر تحول ماگما بوده‌اند و این ماگما تحت شرایط خشک و بدون آب متحول شده‌است.
۴. سرشت ماگمای مولد گروه سنگ‌های جزیره اسلامی شوشونیتی و اولتراپتاسیک بوده، از ذوب بخشی با نرخ اندک گوشته گارنت لرزولیتی در فشار زیاد و تحت فوگاسیته بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ تشکیل شده‌است و در طی صعود با مواد پوسته‌ای آلوده شده

بررسی رفتار عناصر اصلی و کمیاب در گروه سنگ‌های جزیره اسلامی نشان می‌دهد که تبلوربخشی و تفکیک بلورهای الیوین، کلینوپیروکسن‌های دیوپسیدیک و در مرتبه بعدی بلورهای لوسیت از عوامل متحول‌کننده ماگما محسوب می‌شوند. وجود بلورهای فراوان لوسیت در سنگ‌های بازانیتی و تفریتی نشان می‌دهد که این ماگماها تحت فشار کم بخار آب و یا در شرایط خشک متبلور شده‌اند. در کنار پدیده‌های یادشده پدیده‌هایی مثل هضم سنگ‌های پوسته‌ای و اختلاط ماگمائی نیز از جمله عوامل مؤثر بر تحول ماگما محسوب می‌شوند (مقادیر بالای Ba و Th در شکل ۱۵).

بررسی دیاگرام عنکبوتی رسم‌شده عناصر REE برای گروه سنگ‌های جزیره اسلامی که بر اساس MORB نرمالیزه شده‌اند نشان می‌دهد که تغییرات گروه عناصر یادشده در سنگ‌های بازیک، حد واسط و اسید جزیره اسلامی مشابه و یکنواخت بوده و دارای شیب منفی است. این ویژگی علاوه بر تأکید بر منشأ یکسان گروه سنگ‌های یادشده از ماگمای واحد، می‌تواند بیانگر شرایط محیطی خاص تشکیل ماگما، از جمله عمق و فشار بالای تشکیل ماگمای مولد، ترکیب گارنت لرزولیتی مواد منشأ و فوگاسیته بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ در محیط تشکیل ماگما باشد. آنومالی مثبت و مشخص Ba و Th می‌تواند انعکاسی از دخالت پوسته قاره‌ای باشد (شکل شماره ۱۵).

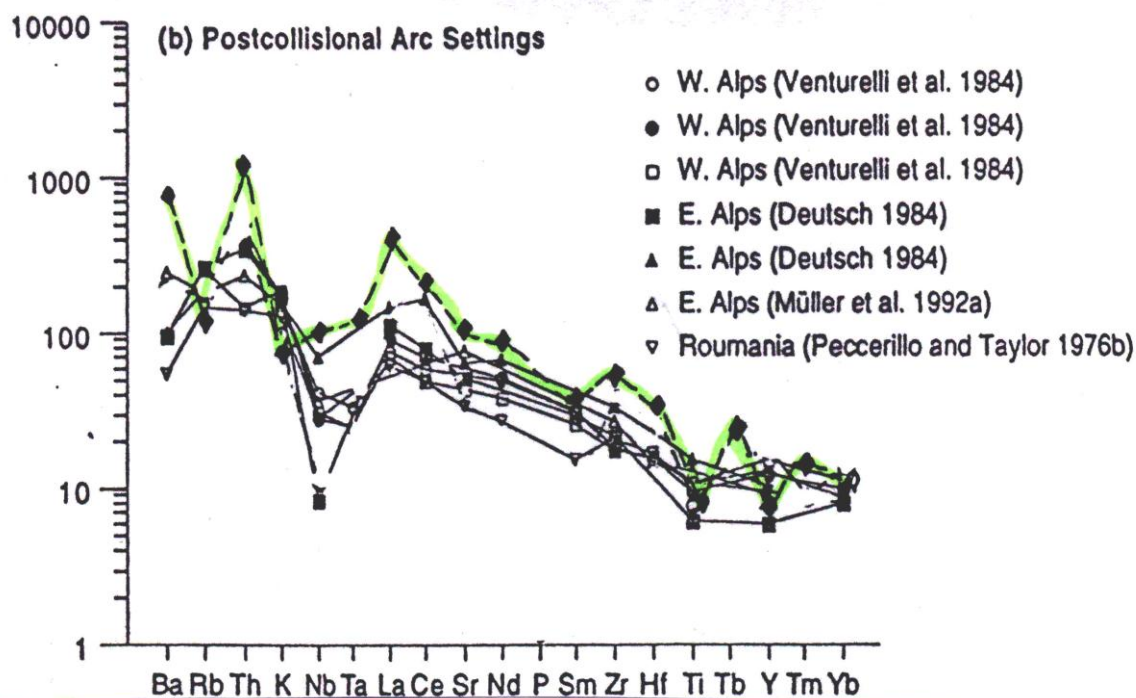
بررسی محیط تکنونیکي گروه سنگ‌های شوشونیتی و اولتراپتاسیک جزیره اسلامی در دیاگرام پیشنهادی مولر و گرووز (Muller & Groves □ 1997) نشان می‌دهد که ماگماتیسیم پتاسیک و اولتراپتاسیک جزیره اسلامی در یک قوس ماگمائی پس‌برخوردی رخ داده‌است. (شکل ۱۶).

و آنومالی مثبت LREE و آنومالی منفی HREE حاکی از منشأ گارنت لرزولیتی ماگمای مولد سنگ‌های جزیره و تشکیل آن در شرایط فشار بالا و فوگاسیته بالای $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ است.
 ۷. ماگماتیسیم شوشونیتی و اولتراپتاسیک جزیره اسلامی در یک محیط پس‌برخوردی رخ داده‌است و ربطی به مناطق فرورانش و یا ریفتهای درون‌قاره‌ای ندارد.

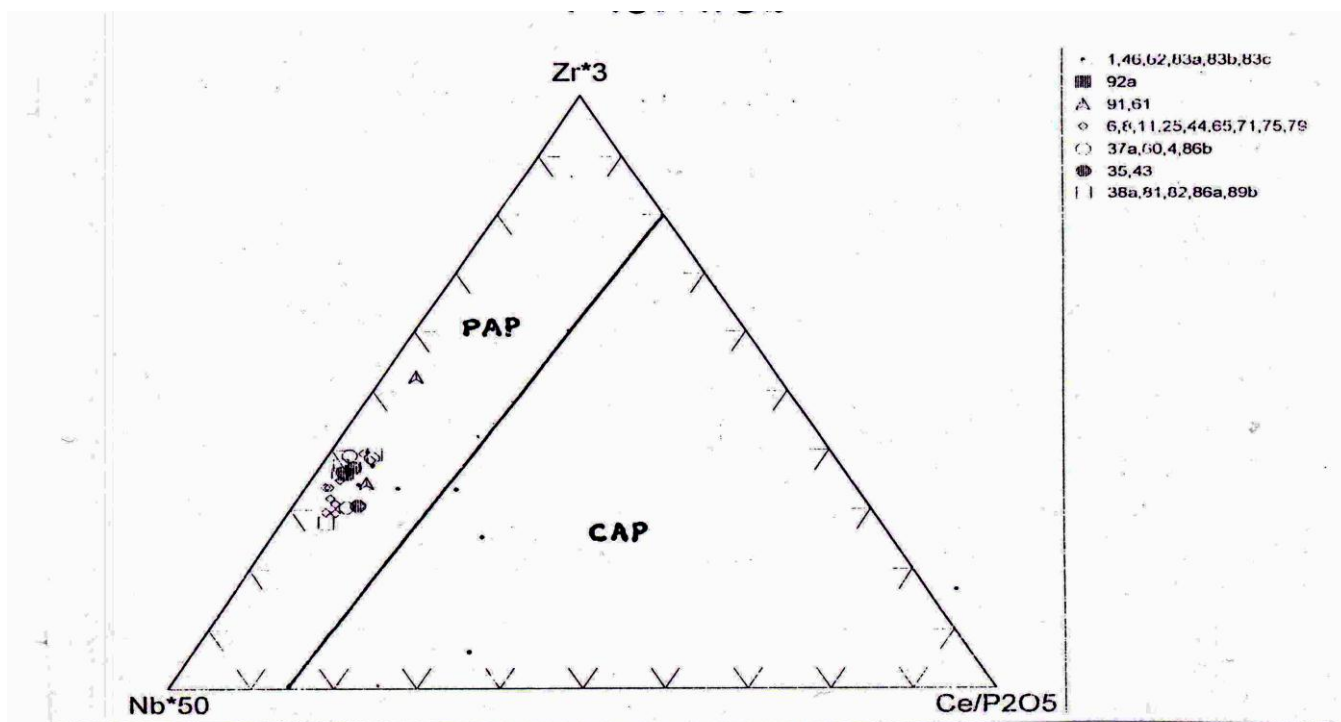
و یا متحمل اختلاط ماگمائی با مواد حاصل از ذوب سنگ‌های پوسته‌ای شده است.

۵. تبلوربخشی بلورهای الیوین، کلینوپیروکسن دیوپسیدیک و لوسیت از جمله عوامل عمده متحول‌کننده ماگمای سازنده سنگ‌های جزیره اسلامی بوده‌است.

۶. الگوی دیاگرام عنکبوتی عناصر نادر خاکی سنگ‌های جزیره اسلامی نشان می‌دهد که سنگ‌های این جزیره همخون هستند و شیب منفی الگوی مذکور



شکل ۱۵. اسپایدر دیاگرام مربوط به سنگ‌های پتاسیک پس‌برخوردی و مقایسه دیاگرام عنکبوتی سنگ‌های تفریتی و بازائیتی با آنها



شکل ۱۶. دیاگرام $\text{Ce/P}_2\text{O}_5$ Nb-3*Zr جهت تفکیک سنگ‌های پتاسیک مرتبط با قوس‌های پس‌برخوردی (PAP) و انواع مرتبط با قوس‌های حواشی فعال قاره‌ای (CAP) مولر و همکاران (۱۹۹۲) و موقعیت سنگ‌های شبه‌جزیره اسلامی آن

منابع

مرادیان شهرابکی، عباس (۱۳۷۹)، «مطالعه ژئوشیمی، ژئوکرونولوژی و سنگ‌نگاری جزیره اسلامی»، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز؛
معین وزیری، حسین (۱۳۷۵)، *دیباجه‌ای بر ماگماتیسم ایران*، دانشگاه تربیت معلم؛

Amidi, S.M, (1975), *Contribution a' L'etude stratigraphique, P'etrologique, et P'etrochimique des roches magmatiques de la re'gion de Natanz-Nain-Surlc (Iran Central)*, The'se. Doct.Etat, Grenoble;

افتخارنژاد، جمشید (۱۳۵۹)، «تفکیک بخش‌های گوناگون ایران از نظر وضع ساختمانی و ارتباط با حوضه‌های رسوبی»، *نشریه انجمن نفت*، شماره ۸۲؛
خلیلی مرندی، شهرام (۱۳۷۰)، *پetroگراف و پetroلوژی سنگ‌های آتشفشانی جزیره اسلامی*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت معلم؛
درویش‌زاده، علی و آسیابانها، عباس (۱۳۷۷)، *ماگما و سنگ‌های ماگماتی، پetroلوژی آذرین*، دانشگاه تهران؛

Berberian, M. and S. Arshadi, (1977), The Shibli rift system (Sahand region, NW Iran), In contribution to the seismotectonics of Iran (Part III), Geol. Surv.Iran. No.40: 229-235;

- Berberian, F.** (1981), *Petrogenesis of Iranian plutons; a study of the Natanz and Bazman intrusive complex*, Ph.D. thesis, University of Cambridge;
- Berberian, M. and King, G.C.P.** (1981), "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences*, Vol.18, No.2: 210-265;
- Berberian, F. and Berberian, M.** (1981), "Tectono-plutonic episodes in Iran", *Amer. Geophysical Union. Geodynamics series*, Vol 3: 5-32;
- Dehgani, G.A. and Makris, J.** (1983), "The gravity field and crustal structure of Iran", In Geodynamic project (Geotraverse) in Iran, *Geol.Surv. Iran*, Report No 51: 51-68;
- Emami, M.H.** (1981), *Geologie de la region de Qom-Aran (Iran), Contribution a l'etude dynamique et geochemique du volcanisme tertiaire de l' Iran central*, These d'Etat, Univer.Grenoble, France;
- Emami, H. and Michel, R.** (1984), "Observation Petrographique d'un cas de melange de magmas acide et basique. Genese des dacitoides de la region de Qom-Aran (Iran-Central)", *Bull. Volc*, Vol 47-4(1);
- Foley, S.F., et.al.** (1987), "The ultra-potassic rocks: characteristics, classification and constraints for petrogenetic models", *Earth Sci. Rev*, 24: 81-134;
- Harris, P.G.** (1957), "Zone refining and the origin of potassic basalts", *Geochim. Cosmochim. Acta*, No. 12: 195-208;
- Kay, R.W. and Gast, P. W.** (1973), "The rare earth content and origin of alkali-rich basalts", *J. Geol.*, No.81: 653-682;
- Menzies, M.A. et.al.** (1981), *Mantle metasomatism*, Academic press, london;
- Moine-Vaziri, H.** (1985), *Volcanisme tertiaire et quaternaire en Iran*, These d'Etat Univer., Paris-Sud, ORSAY;
- _____ (1991), "Importance d'un Volcanisme potassique, au miocene Superieur en Azerbaïdjan (Iran)", *C.R. Acad.sci. Paris*, t.313.Serie II: 1603-1610;
- Moradian-Shahrbabaky, A.** (1997), *Geochemistry, Geochronology, and petrology of feldspathoid-bearing rocks in the Urumieh-Dokhtar volcanic belt, Iran*, Ph.D. thesis, university of Wollongong;
- Morrison, G.W.** (1980), "characteristic and tectonic setting of the shoshonitic rock association", *Lithos*, No. 13: 97-108;
- Muller, D. and Groves, D.I.** (1997), *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*, Sec.Updated. Springer- Verlag;
- Peccerillo, A.** (1992), "Potassic and ultrapotassic rocks: Compositional characteristics, petrogenesis and geologic significance", *IUGS Episods*, No. 15: 243-251;
- Rittman, A.** (1933), "Die geologisch bedingte evolution and differentiation des Somma-Vesuv Magmas", *Zeitsch fur vulkanol*, No.15: 8-94;
- Rock, N.M.S.** (1991), *Lamprophyres*, Blackie, Glasgow. ■

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
P.1	64.92	16.90	2.34	1.44	4.26	0.24	7.74	0.268	0.081	0.056
P.4	59.34	15.12	4.52	6.01	0.90	1.38	8.21	0.672	0.076	0.690
P.6	45.86	12.94	10.50	12.90	1.05	5.48	4.83	1.514	0.165	1.657
P.6A	38.29	8.88	16.05	17.35	0.48	10.77	2.39	1.885	0.173	3.015
P.8	47.81	12.87	9.19	11.79	0.74	6.07	6.43	1.147	0.160	1.217
P.11	48.61	13.60	8.96	10.74	1.20	4.11	7.38	1.190	0.145	1.283
P.25	47.97	13.63	8.73	11.51	2.32	5.01	5.95	1.025	0.146	1.383
P.35	54.04	17.16	6.01	6.17	0.62	1.07	9.22	0.845	0.131	0.400
P.37A	62.42	15.02	5.40	2.87	2.74	1.20	8.71	0.776	0.070	0.296
P.38A	47.48	12.34	13.14	9.78	1.03	5.64	6.55	1.122	0.265	1.151
P.43	58.40	15.30	5.58	4.20	1.14	1.12	10.32	0.855	0.122	0.372
P.44	50.63	15.23	8.22	10.37	2.49	4.61	4.87	1.079	0.145	0.997
P.46	63.67	14.39	6.11	1.66	4.37	1.50	6.06	0.697	0.073	0.241
P.49A	33.06	8.80	38.15	3.66	0.36	6.18	6.23	0.831	0.264	1.087
P.60	56.85	13.86	6.68	5.65	1.31	3.76	8.63	0.973	0.120	0.722
P.62	64.25	16.54	3.63	0.65	1.88	0.26	10.56	0.535	0.086	0.080
P.65	48.74	12.13	9.17	11.81	1.13	4.14	4.86	1.210	0.148	1.601
P.71	49.51	14.11	10.67	12.01	3.09	3.62	1.65	1.122	0.165	1.078
P.75	50.21	14.76	9.05	10.33	2.08	3.18	5.92	1.064	0.152	1.012
P.79	48.61	11.25	8.83	11.52	1.31	7.34	6.38	1.071	0.138	1.096
P.81	52.93	13.48	6.62	8.63	0.70	4.34	8.04	1.136	0.107	1.154
P.82	51.78	13.58	6.41	9.85	1.45	4.03	7.41	1.007	0.102	1.114
P.83A	60.34	15.01	4.24	5.04	1.96	1.49	8.83	0.536	0.088	0.530
P.83B	60.46	15.42	4.63	4.82	2.02	1.17	8.36	0.574	0.092	0.459
P.83C	61.79	16.50	4.27	3.45	2.68	0.51	8.40	0.491	0.096	0.209
P.86A	53.13	14.47	5.88	8.94	0.85	3.83	7.84	0.855	0.097	1.052
P.86B	56.54	17.30	4.05	5.95	0.93	1.46	9.42	0.575	0.070	0.562
P.89B	52.53	13.15	7.85	8.26	1.68	4.46	6.98	1.058	0.119	0.982
P.90	40.90	13.91	10.87	1.03	0.33	19.36	9.45	2.438	0.079	0.160
P.91	43.04	9.13	9.94	13.16	0.30	12.78	5.49	2.175	0.120	2.180
P.92A	42.66	11.13	9.58	11.81	1.43	6.70	6.91	1.430	0.142	1.016

جدول ۱. نتایج به دست آمده از آنالیز ۳۱ نمونه به وسیله روش XR

Sample	Mo ppm	Ba ppm	Co ppm	Cr ppm	Cu ppm	Nb ppm	Ni ppm	Pb ppm	U ppm	Th ppm
P.1	1	963	9	2	9	73	6	101	15	79
P.4	2	1983	11	31	71	39	25	59	9	36
P.6	7	3694	24	50	153	27	39	41	1	11
P.6A	9	2974	33	79	10	5	44	8	1	2
P.8	6	1983	19	86	109	35	52	39	2	20
P.11	5	3566	19	29	83	31	21	35	3	16
P.25	7	2851	21	49	100	29	31	4	4	14
P.35	3	3025	13	3	111	64	9	60	33	40
P.37A	1	2828	23	22	706	73	20	43	10	45
P.38A	8	2244	28	150	30	30	37	18	8	21
P.43	1	3727	12	4	4	76	17	33	19	49
P.44	10	3361	19	38	35	28	29	48	3	18
P.46	2	2078	12	3	13	49	8	112	24	52
P.49A	22	2789	58	140	5838	16	48	7	23	28
P.60	5	2488	17	72	385	39	43	40	19	34
P.62	1	1564	6	5	10	57	4	69	2	40
P.65	6	2237	21	14	86	39	41	35	3	27
P.71	6	2810	27	5	30	23	15	46	3	20
P.75	8	2803	19	19	82	29	22	28	6	21
P.79	7	2522	25	273	42	20	90	28	6	10
P.81	4	2372	13	82	65	35	28	36	7	24
P.82	4	2161	19	89	65	37	32	38	12	30
P.83A	2	1413	12	45	59	47	17	42	10	49
P.83B	2	1658	12	21	28	55	8	69	13	55
P.83C	1	1858	3	3	19	68	5	69	5	66
P.86A	6	1414	14	89	55	28	24	35	10	19
P.86B	2	2958	8	19	53	31	17	38	14	29
P.89B	7	2401	21	12	101	23	26	53	3	17
P.90	8	5630	43	1221	2	10	293	4	5	4
P.91	7	3679	25	59	4	5	95	4	4	6
P.92A	4	2908	11	138	84	28	51	40	9	23

ادامه جدول ۱

Sample	Ag ppm	Sn ppm	Nd ppm	As ppm	Ce ppm	La ppm	Ga ppm	Sb ppm
P.1	< 1	1	32	55	77	65	28	4
P.4	< 1	5	62	3	59	47	20	1
P.6	< 1	1	67	39	82	55	14	1
P.6A	< 1	1	77	15	68	43	9	1
P.8	< 1	1	78	16	143	83	12	1
P.11	< 1	2	63	27	111	65	12	1
P.25	< 1	2	36	4	88	62	15	1
P.35	< 1	2	41	28	161	81	18	1
P.37A	< 1	1	35	40	112	52	18	1
P.38A	< 1	4	35	55	137	68	13	1
P.43	< 1	3	46	13	98	46	18	1
P.44	< 1	1	51	46	122	64	14	1
P.46	< 1	4	38	125	60	33	18	3
P.49A	< 1	2	73	35	143	92	18	1
P.60	< 1	3	29	37	75	50	17	1
P.62	< 1	3	29	89	117	54	21	1
P.65	< 1	1	92	40	185	66	15	1
P.71	< 1	3	93	34	122	77	13	1
P.75	< 1	1	71	19	112	55	15	1
P.79	< 1	4	53	5	78	36	10	1
P.81	< 1	2	30	5	77	44	20	1
P.82	< 1	2	44	31	96	45	14	1
P.83A	< 1	2	35	52	99	48	18	1
P.83B	< 1	4	48	42	138	67	18	1
P.83C	< 1	1	62	37	143	65	20	4
P.86A	< 1	4	51	53	99	43	13	2
P.86B	< 1	4	21	4	85	38	19	1
P.89B	< 1	1	46	19	111	53	14	1
P.90	< 1	1	2	34	51	20	11	1
P.91	< 1	2	32	25	64	33	9	1
P.92A	< 1	3	38	31	85	45	15	2

ادامه جدول ۱

Sample	L.O.I	Cl	S	Rb	Sr	V	W	Y	Zr	Zn
	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
P.1	0.95	1684	8	212	1229	44	147	30	838	56
P.4	2.83	34	9	218	1286	93	63	28	436	46
P.6	3.07	197	5	108	820	193	10	24	238	70
P.6A	0.44	891	41	46	450	288	37	19	100	66
P.8	2.32	165	5	191	744	175	26	29	262	74
P.11	2.45	169	6	181	909	150	45	29	294	60
P.25	1.90	836	7	123	885	181	64	24	257	63
P.35	4.07	175	85	157	1331	121	56	29	531	70
P.37A	0.24	846	543	195	1206	86	97	30	586	83
P.38A	1.31	274	11	155	851	301	51	25	208	258
P.43	1.96	135	8	224	1341	107	74	32	798	77
P.44	0.96	1318	2	66	1304	142	91	20	212	62
P.46	1.21	137	179	129	236	110	56	25	468	49
P.49A	0.98	238	142	206	267	829	18	26	129	247
P.60	1.12	119	8	255	1163	138	61	31	391	92
P.62	1.10	48	9	288	1212	77	44	32	490	60
P.65	4.72	233	5	472	813	179	35	49	323	79
P.71	2.85	91	7	276	1151	201	28	36	262	81
P.75	1.80	231	10	163	1006	161	36	27	234	65
P.79	2.29	347	6	134	668	132	66	24	233	64
P.81	2.76	300	8	207	843	126	53	27	364	56
P.82	3.25	120	8	191	864	131	69	27	364	58
P.83A	1.79	97	9	268	1205	82	129	33	557	53
P.83B	1.72	34	10	302	1136	85	92	37	608	55
P.83C	1.45	26	11	229	1211	69	106	32	687	55
P.86A	2.67	137	8	175	751	114	61	23	293	51
P.86B	2.99	66	5	153	1391	74	81	23	358	41
P.89B	2.65	424	51	117	767	143	42	25	273	74
P.90	1.46	186	6	336	105	208	3	30	35	58
P.91	1.58	260	7	117	483	164	7	22	49	49
P.92A	6.82	187	236	195	531	159	2	28	279	79

ادامه جدول ۱