

پترولولژی و پتروژنز سنگ‌های آتشفشانی ائوسن شرف‌آباد (شمال غرب ورزقان، آذربایجان شرقی)

مروت فریدآزاد *

دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

چکیده

منطقه شرف‌آباد در استان آذربایجان شرقی و در شمال غرب شهر ورزقان قرار دارد. این منطقه از نظر پهنه‌بندی ساختمانی، در پهنه ایران میانی و زیرپهنه البرز-آذربایجان واقع است. بر اساس مطالعات صحرایی سنگ‌های آتشفشانی شرف‌آباد متشکل از مخروط و روانه‌های آندزیتی با بافت پورفیری است. بر اساس مطالعات پتروگرافی، این سنگ‌های آتشفشانی دارای بافت‌های پورفیری با زمینه دانه‌ریز تا شیشه‌ای، گلوپورفیریتیک، حفره‌ای و پوبی کیلیتیک هستند و درشت‌بلور عمده در آنها عبارتند از: پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلینوپیروکسن و کانی‌های اپاک. کانی‌های ثانویه عبارتند از: سریسیت، ایدنگزیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت، کانی‌های رسی و کانی‌های اپاک. بر طبق طبقه‌بندی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های شرف‌آباد جزو سنگ‌های حد واسط و در محدوده آندزیت قرار دارند. همچنین، این سنگ‌ها در محدوده سنگ‌های سری کالک‌آلکالن تا کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا قرار می‌گیرند. در نمودار عناصر کمیاب خاکی، نمونه‌های شرف‌آباد از عناصر کمیاب خاکی سبک غنی‌شدگی بیشتری نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین نشان می‌دهند. این غنی‌شدگی از عناصر کمیاب خاکی سبک و تهی‌شدگی از عناصر کمیاب خاکی سنگین از ویژگی‌های سنگ‌های کالک‌آلکالن آتشفشان‌های حاشیه فعال قاره‌ای است. بر اساس نمودارهای ژئوشیمیایی مختلف، محیط تکتونیک تشکیل این سنگ‌ها با ویژگی‌های تکتونیکی محیط‌های کمان حاشیه فعال قاره‌ای مشابه است. بررسی ماهیت منشأ این سنگ‌ها با نمودارهای ژئوشیمیایی مختلف و مدل‌سازی‌های پتروژنیک نشان داد که سنگ‌های بیان شده در یک محیط فرورانشی و از ذوب بخشی ۱ تا ۵ درصدی یک منشأ گارنت‌لرزلولیتی غنی شده در اثر ورود سیالات آزاد شده از ورقه فرورونده به وجود آمده است و طی صعود به سطوح بالاتر دچار آغشتگی با پوسته فوقانی شده است. واژه‌های کلیدی: آندزیت، سری کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا، حاشیه فعال قاره‌ای، گارنت‌لرزلولیت، ورزقان، زیرپهنه البرز-آذربایجان

مقدمه

پهنه برخوردی بین صفحه عربستان-اوراسیا قرار دارد. پس از برخورد دو صفحه عربستان و اوراسیا و رخداد سترشدگی پوسته‌ای و بالا آمدگی، دور

منطقه آذربایجان به عنوان بخشی از نوار ماگمایی البرز-آذربایجان در شمال غرب ایران و در

* faridazad@sut.ac.ir

جدیدی از فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه به وقوع پیوسته است که شاید سنی در حدود ۱۲ میلیون سال تا کواترنری (۲/۸) میلیون سال را دارد (Keskin et al., 1998). ماگمای مولد سنگ‌های حد واسط منطقه آذربایجان به سری کالک‌آلکان متعلق است. سری‌های کالک‌آلکان ویژه مناطق حواشی فعال قاره‌ای و جزایر کمائی و کمر بندهای کوهزایی هستند. انواع غالب سنگی در سری کالک‌آلکان آندزیت، داسیت و ریولیت‌ها هستند که همراه با سنگ‌های بازی دیده می‌شوند. نظریات مختلفی در ارتباط با نحوه به وجود آمدن ماگماهای کالک‌آلکان و منشأ آنها وجود دارد. Aramaki و Ui (۱۹۸۲)، Ryabchikov و همکاران (۱۹۸۲) و Stern و Ito (۱۹۸۳) به اولیه بودن این ماگماها اعتقاد دارند و افرادی مانند: Ishizaka و Carlson (۱۹۸۳) و Harmon و Co-authors (۱۹۸۴) منشأ ثانویه این نوع ماگماها معتقد هستند. آندزیت‌ها به ویژه آندزیت‌های کوهزایی در هر چهار منطقه در ارتباط با زمین‌ساخت صفحه‌ای دیده می‌شوند. این مناطق عبارتند از: مرز صفحه‌های همگرا و واگرا، محیط‌های درون صفحه‌ها و مرزهای گسل‌های ترادیس و مناطق برخوردی صفحه‌ها که می‌توانند مقادیر زیادی از سنگ‌های آندزیتی را داشته باشند. اما به طور عمده، آندزیت‌های کوهزایی در ارتباط با مرزهای صفحه‌های همگرا هستند. حجم سنگ‌های همراه با آندزیت یا نبود آنها می‌تواند در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی و منشأ ماگمای سازنده آندزیت بحث شود. منشأ آندزیت‌ها و داسیت‌ها در مناطق فرورانشی می‌تواند از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورونده، همراه یا بدون رسوبات سطحی روی آن، گوه گوشته‌ای متاسوماتیزه روی آن یا لایه گوشته تهی‌شده از عناصر دیرگداز واقع در زیر پوسته فرورونده باشد

(Aramaki and Ui, 1982). همچنین، با توجه به کارهای تجربی که تاکنون انجام شده، تشکیل آندزیت‌ها در سطح یا نزدیک پوسته اقیانوسی فرورو با احتمالاتی از قبیل: ذوب بخشی آمفیبولیت در ژرفای کم یا تبلور بخشی هورنبلند از یک مذاب بازالتی، ذوب بخشی اکلوژیت در ژرفای زیاد و ذوب بخشی پریدوتیت در حضور آب مطرح بوده است (Green, 1982). همچنین، عده‌ای دیگر، ایجاد ماگماهای حد واسط را با ذوب بخش‌های بازی پوسته قاره‌ای توجیه می‌کنند (Pichler and Zeil, 1972). از آنجا که میانگین ترکیب پوسته قاره‌ای با ترکیب شیمیایی آندزیت‌ها تفاوت چندانی ندارد؛ بنابراین، ذوب وسیع در پوسته می‌تواند به تشکیل ماگماهای حد واسط منجر شود. منشأ ثانویه ماگماهای حد واسط با فرآیندهای تفریق ماگماهای بازالتی، آرایش ماگمای بازالتی با مواد پوسته‌ای و آمیختگی ماگماهای بازالتی با ماگماهای اسیدی توجیه می‌شود.

بدیهی است در آرایه مدل پتروژنتیکی مناسب برای تولید ماگماهای حد واسط علاوه بر در نظر گرفتن واقعیت‌های زمین‌شناسی منطقه باید از نتایج کانی‌شناسی و شیمیایی به دست آمده نیز بهره برد.

منطقه شرف‌آباد بخشی از چهار گوش ورزقان بوده که در شمال غرب شهر ورزقان و بین طول‌های جغرافیایی $46^{\circ}30'$ تا $46^{\circ}34'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $38^{\circ}35'30''$ تا $38^{\circ}37'40''$ شمالی قرار دارد.

این منطقه از نظر پهنه‌بندی ساختمانی، در پهنه ایران میانی و زیرپهنه البرز-آذربایجان (Alavi, 1991) واقع است. دو ویژگی عمده در این پهنه حاکم است. الف) چین‌خوردگی، دگرگونی و پلوتونیسم شدید مزوزوئیک و ب) تکاپوی شدید

پژوهش، به بررسی پترولوژی این واحد می‌پردازد. در شرق منطقه مطالعاتی، پهنه سیلیسی هیدروترمالی به ضخامت ظاهری حدود شش متر در داخل این سنگ‌ها تشکیل شده است. مطالعات انجام شده توسط Ebrahimi و همکاران (۲۰۰۹) روی این پهنه‌های سیلیسی در اطراف روستای هیزه‌جان (خارج از منطقه مورد مطالعه) نشان داده است که آنها از کوارتز ریزبلور، اوپال و اکسیدهای آهن تشکیل شده‌اند. همچنین، این مطالعات وجود کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و طلا را در آنها به اثبات رسانده است.

واحد (PLQ^v): این واحد متشکل از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی، مارن، سیلت و ایگنمبریت بوده و به وسیله واحدهای جوان‌تر پوشیده می‌شود. این واحد بیشتر در جنوب و شرق منطقه شرف‌آباد مشاهده می‌شود (شکل ۲).

واحد (PLQ^c): این واحد متشکل از کنگلومرا، سیلت و مارن‌های نازک تا متوسط لایه به رنگ قرمز است و واحد (PLQ^v) را می‌پوشاند و خود نیز به وسیله واحدهای جوان‌تر پوشیده می‌شود. این واحد در قسمت‌های شرقی و غربی منطقه شرف‌آباد رخمون دارد (شکل ۲).

واحد (PLQ^{ba}): این واحد، جوان‌ترین تظاهرات آتشفشانی منطقه شرف‌آباد بوده و کلیه واحدهای قبل از خود را قطع نموده است. این واحد در شمال غربی و جنوب منطقه رخمون دارد (شکل ۲) و متشکل از مخروط و روانه‌های آندزیت بازالتی با بافت پورفیری است.

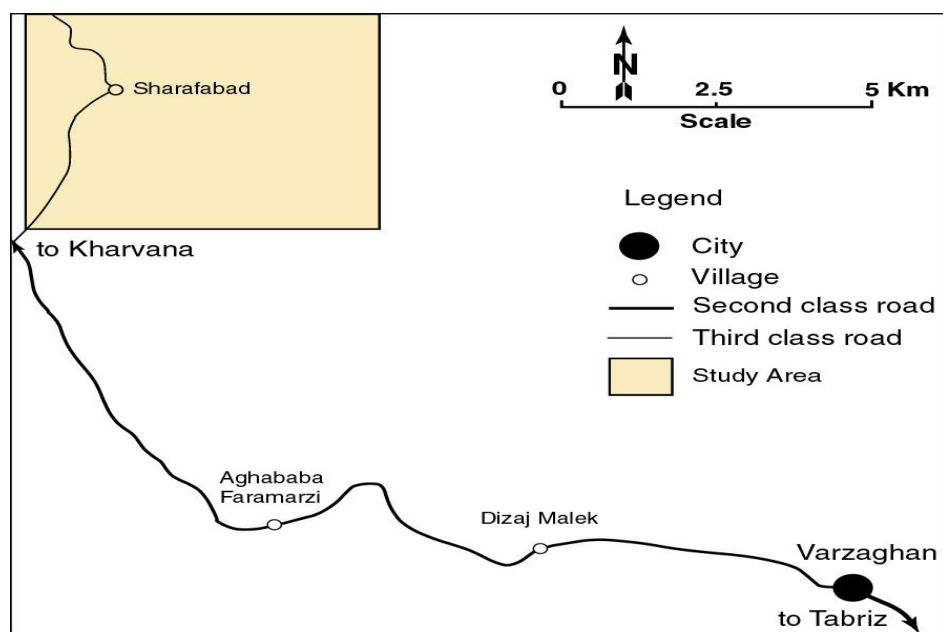
واحد (Q¹²): این واحد از رسوبات دشت آبرفتی جوان شامل: قله‌سنگ، سیلت و رس تشکیل شده و جوان‌ترین واحد رسوبی منطقه به شمار می‌رود. این واحد در شرق و مرکز منطقه شرف‌آباد گسترش دارد (شکل ۲).

آتشفشانی سنوزوئیک (Aghanabati, 2000) که سنگ‌های آتشفشانی موجود در محدوده شرف‌آباد نیز جزو تکاپوهای آتشفشانی سنوزوئیک این پهنه محسوب می‌شوند. برای رسیدن به منطقه شرف‌آباد پس از گذر از جاده تبریز-اهر-ورزقان به شهر ورزقان رسیده و سپس وارد جاده ورزقان-خاروانا شده و پس از طی مسافت حدود ۱۰ کیلومتر می‌توان به روستای شرف‌آباد و منطقه مطالعاتی دسترسی پیدا کرد (شکل ۱).

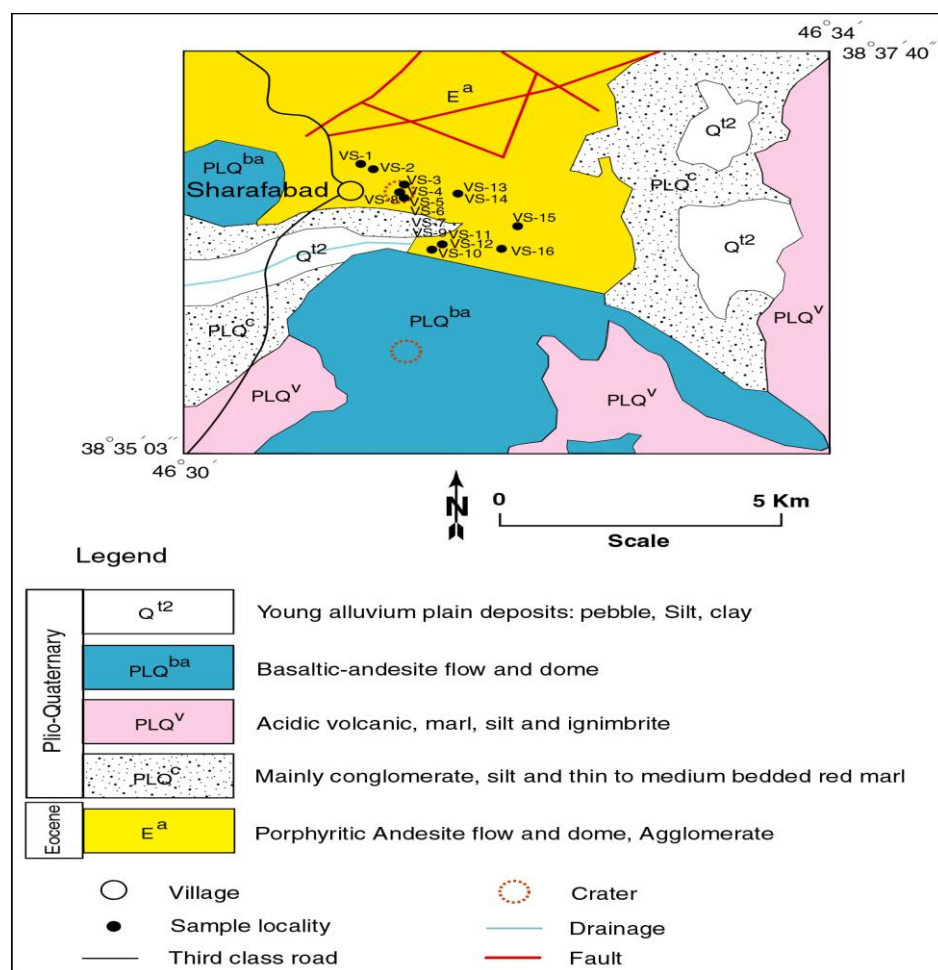
زمین‌شناسی منطقه

واحدهای زمین‌شناسی موجود در منطقه شرف‌آباد از قدیم به جدید عبارتند از:

واحد (E^a): این واحد دارای ترکیب آندزیتی و به رنگ خاکستری و بافت پورفیری بوده و به صورت مخروط گدازه و گنبد در شمال منطقه شرف‌آباد رخمون دارد که به وسیله واحدهای جوان‌تر پوشیده می‌شود (شکل ۲). مطالعات صحرایی روی این واحد گویای وجود آثاری از دهانه‌های آتشفشانی در بالای مخروط آنها است. در نزدیکی دهانه آتشفشانی در شمال شرق روستای شرف‌آباد، سنگ‌های پیروکلاستیک (به ویژه آگلومرا) مشاهده می‌شود که نشان از فوران انفجاری دارد. مهم‌ترین ویژگی ساختی این سنگ‌ها شکستگی‌های موجود در آنها است که توسط عوامل مختلف ایجاد شده‌اند. محلول‌های هیدروترمالی سبب ته‌نشست کانی مالاکیت در داخل درز و شکاف موجود در این سنگ‌ها و همچنین، به صورت انتشاری در داخل آنها شده است. همچنین، رگه‌های حاوی کانی‌های سیلیس (کوارتز بلورین) در اطراف دهانه آتشفشانی واقع در شمال شرق روستای شرف‌آباد مشاهده شد. این



شکل ۱- نقشه راه دسترسی به منطقه شرف‌آباد



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه شرف‌آباد همراه با محل‌های نمونه‌برداری (با تغییرات از Mehrpartow و همکاران (۱۹۹۲)).

روش انجام پژوهش

پس از مشخص شدن منطقه مطالعاتی، نسبت به جمع‌آوری نقشه‌ها، گزارشات و مقالات مرتبط با منطقه شرف‌آباد و موضوع مورد پژوهش اقدام و سپس به مطالعه و بررسی آنها پرداخته شد. مطالعات صحرایی به منظور بررسی منطقه شرف‌آباد از نظر سنگ‌شناسی و انجام نمونه‌برداری از رخنمون‌های سنگی، عکس‌برداری از رخنمون‌های بارز و کنتاکت‌ها و نیز تعیین محل نمونه‌برداری‌ها با GPS با تعیین مسیرهایی که بیشترین برونزد سنگی را داشتند، در مقاطع زمانی مختلف انجام شد. مختصات تمام ایستگاه‌ها توسط GPS به طور دقیق یادداشت و روی نقشه آورده شد (شکل ۲). پس از آماده شدن مقاطع نازک نمونه‌ها، نسبت به مطالعه آنها با میکروسکوپ پلاریزان مدل BH2 موجود در آزمایشگاه میکروسکوپی دانشگاه صنعتی سهند اقدام گردید. پس از مطالعه مقاطع نازک سنگ‌ها، از بین نمونه‌ها، تعداد ۱۱ عدد که کم‌ترین دگرسانی را نشان می‌دادند، برای تجزیه سنگ کل (تعیین درصد اکسیدهای عناصر اصلی، میزان عناصر فرعی و REE) با دستگاه ICP-MS به آزمایشگاه شرکت SGS واقع در شهر تورنتو کشور کانادا ارسال شد. ترکیب نمونه‌ها با روش ICP95A برای اکسیدهای عناصر اصلی اندازه‌گیری شد. حدود آشکارسازی عناصر اصلی ۰/۰۱ درصد است. عناصر کمیاب نیز با روش IMS95A تعیین شدند. حدود آشکارسازی برای عناصر کمیاب از ۰/۰۵ تا ۵ پی‌پی‌ام است. در مرحله آخر پژوهش، داده‌های حاصل از مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمی با یکدیگر تلفیق و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

پتروگرافی

سنگ‌های آتشفشانی مربوط به زمان ائوسن در

شمال منطقه شرف‌آباد رخنمون دارد. با توجه به عدم تنوع سنگ‌ها در این واحد، تعداد ۱۲ نمونه از این سنگ‌ها برای بررسی‌های دقیق‌تر و انجام مطالعات میکروسکوپی برداشت و مطالعه شدند. نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی این نمونه‌ها نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در حد آندزیت هستند. ویژگی‌های این سنگ‌ها به قرار زیر است:

ویژگی‌های ماکروسکوپی: این سنگ‌ها در نمونه دستی بیشتر به رنگ خاکستری بوده و در آنها درشت‌بلورهای فلدسپار و آمفیبول مشاهده می‌شود. اندازه درشت‌بلورهای فلدسپار به ۸ میلی‌متر و آمفیبول به ۵ میلی‌متر می‌رسد.

ویژگی‌های میکروسکوپی: الف) بافت: این سنگ‌ها دارای بافت‌های پورفیری با زمینه دانه‌ریز تا شیشه‌ای، گلوپروپورفیریتیک (تجمع بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول)، پویی‌کیلپتیک (احاطه شده بلورهای پلاژیوکلاز به وسیله بلورهای آمفیبول)، حفره‌ای و اسفرولیتی است.

ب) درشت‌بلور: پلاژیوکلاز، آمفیبول و کانی‌های اپاک. پلاژیوکلاز: این کانی به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار و دارای ماکل پلی‌سنتتیک است و گاهی ماکل همزمان پلی‌سنتتیک و کارلسباد دارد و نیز ساخت منطقه‌ای (شکل ۳-F) نشان می‌دهد. بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز از حاشیه دگرسان شده‌اند. ترکیب این کانی‌ها با بکارگیری روش نوری (میشل‌لوی) آندزین تعیین شد. این کانی‌ها به دو صورت در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. نسل اول پلاژیوکلازها به صورت درشت‌بلور و به صورت نیمه شکل‌دار و دارای ماکل‌های پلی‌سنتتیک و ماکل همزمان پلی‌سنتتیک و کارلسباد هستند. در این کانی‌ها انواع بافت‌ها و فرآیندهای غیر تعادلی نظیر: بافت غربالی، تحلیل‌یافتگی و ساخت منطقه‌ای و نیز

میکروسکوپ از کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و کلینوپیروکسن همراه با اولیوین ایدینگزیته تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۵).

ژئوشیمی

مطالعه ژئوشیمیایی یکی از بهترین روش‌های علمی و عملی در تعیین ویژگی‌های سنگ‌شناسی، نوع ماگما و منشأ ماگمای سازنده، روند تحولات و تغییرات ماگمای اولیه است. به طوری که ترکیب شیمیایی سنگ آذرین، نشان‌دهنده نزدیک‌ترین ترکیب به مذاب به وجود آورنده سنگ است که طی روند تحولات ماگمایی، عوامل زیادی بر آن مؤثر بوده است. از این رو، تنها به کمک کانی‌های سازنده سنگ نمی‌توان به کیفیت ماگما پی برد. بنابراین، برای دستیابی به نتایج بیان شده، از ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب استفاده نموده و در نهایت برای اطمینان، باید از داده‌های ایزوتوپی نیز استفاده کرد. با توجه به عدم دسترسی به تجزیه‌های ایزوتوپی تنها از نتایج حاصل از تجزیه عناصر اصلی، عناصر فرعی و عناصر کمیاب استفاده شده و رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در سنگ‌های آذرین منطقه، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های معرف سنگ‌های منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.

طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های آذرین
شرف‌آباد: با توجه به این که سنگ‌های شرف‌آباد از نوع سنگ‌های آتشفشانی هستند و تجزیه مدال برای نامگذاری و طبقه‌بندی آنها مؤثر نیست؛ بنابراین، برای طبقه‌بندی آنها، از روش‌های شیمیایی استفاده شده است. بر اساس نمودار SiO_2 - Zr/TiO_2 (Winchester and Floyd, 1977) تمامی نمونه‌ها در محدوده آندزیت قرار گرفته‌اند (شکل ۴).

دگرسانی به سربیسیت، کلسیت و کلریت مشاهده می‌شود. پیدایش ساخت منطقه‌ای در کانی‌ها به علت برقرار نبودن تعادل کامل در خلال تبلور است که معمولاً این حالت در هنگام تبلور آتشفشانی رخ می‌دهد (Shelley, 1993).

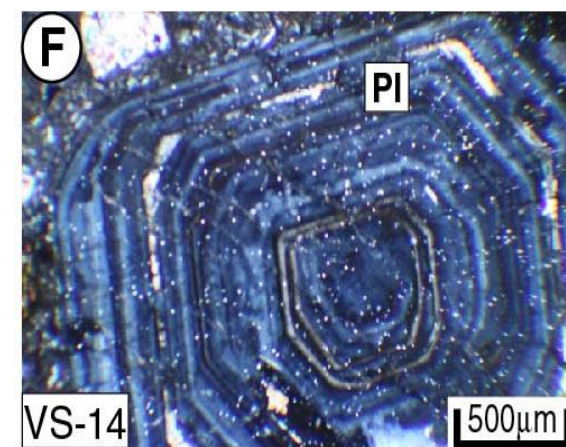
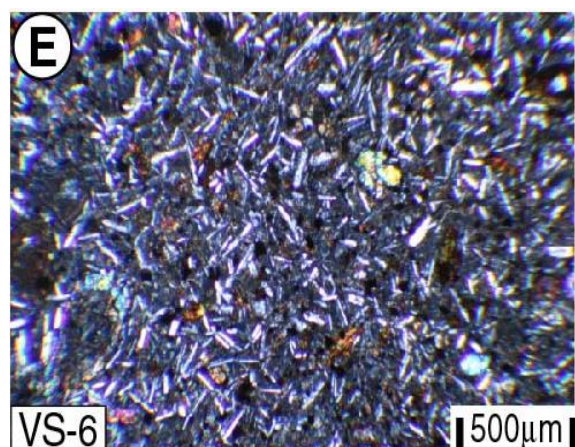
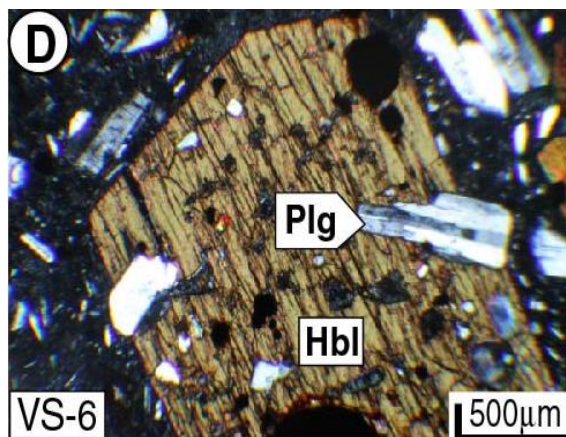
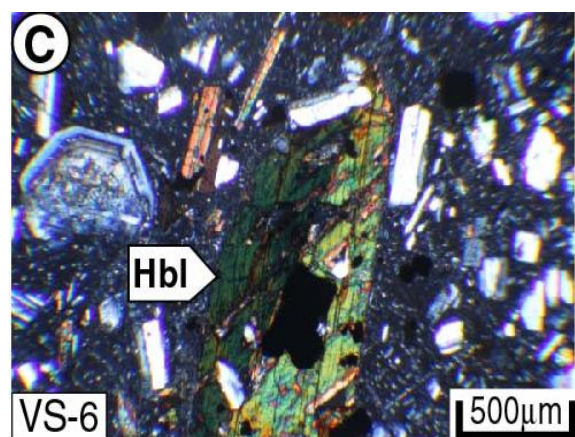
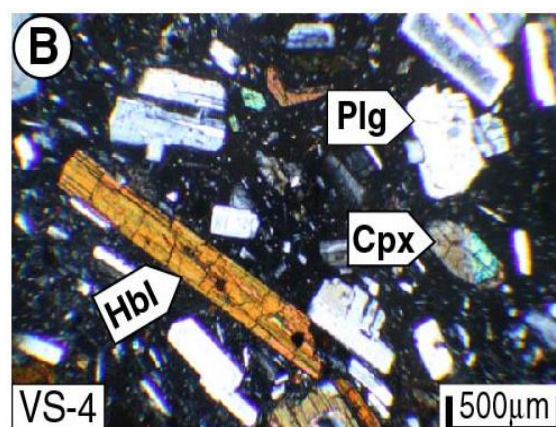
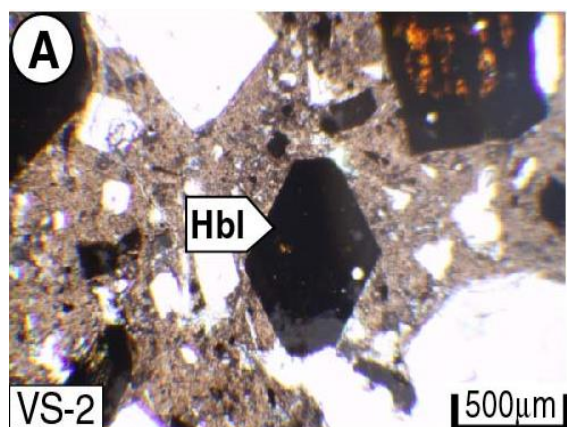
نسل دوم پلاژیوکلازها به صورت میکرودرشت‌بلور و میکرولیتی هستند که در زمینه سنگ وجود دارند و کمتر تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند. وجود پلاژیوکلاز در آندزیت‌ها نشان از وجود آب کمتر از ۲/۵ درصد حجمی در ماگما دارد (Gill, 1981).

هورنبلند: این کانی‌ها به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار (شکل ۳-۵) و نیز به صورت بلورهای ریز در زمینه این سنگ‌ها مشاهده می‌شوند. این کانی‌ها در برخی نمونه‌ها اوپاسیته شده‌اند (شکل ۳-۵). همچنین، در این کانی‌ها ماکل کارلسباد مشاهده می‌شود (شکل ۳-۵). گاهی بلورهای درشت این کانی‌ها بلورهای ریز پلاژیوکلاز را در بر گرفته‌اند که نشان‌دهنده تقدم تشکیل این کانی‌ها نسبت به پلاژیوکلازها است (شکل ۳-۵).

کلینوپیروکسن: این کانی‌ها به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار، درشت‌بلور و نیز در زمینه به مقدار اندک در سنگ‌های منطقه مشاهده می‌شوند.

ج) زمینه: زمینه این سنگ‌ها از بلورهای ریز پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلینوپیروکسن و کانی‌های اپاک به همراه کانی‌های اولیوین ایدینگزیته، بیوتیت، کوارتز و شیشه تشکیل شده است. کانی‌های متفرقه شامل: آپاتیت است که به صورت ادخال داخل پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه شامل: سربیسیت، ایدینگزیت، کلسیت، کلریت، کانی‌های رسی و کانی‌های اپاک است.

آنکلاوهای مشاهده شده در این سنگ‌ها در زیر

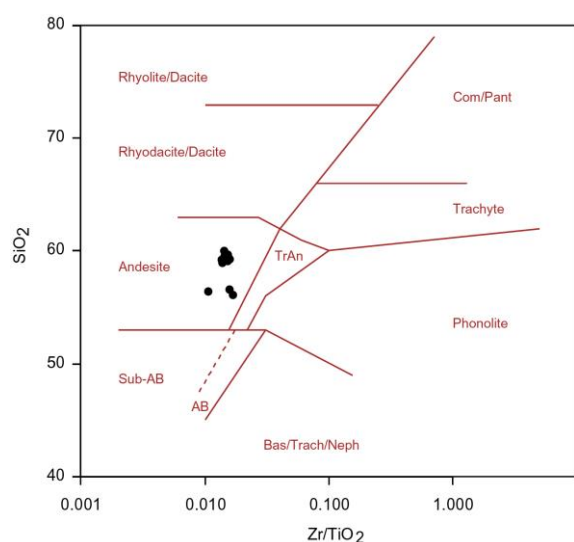


شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرف‌آباد. (A) اوپاسیته شدن بلور درشت شکل‌دار هورنبلند (XPL)؛ (B) درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، هورنبلند و کلینوپیروکسن در زمینه شیشه‌ای (XPL)؛ (C) بلور درشت ماکل‌دار کانی هورنبلند (XPL)؛ (D) بلور درشت هورنبلند با بافت پوی کیلیتیک (XPL)؛ (E) کانی‌های ریز پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و اولیوین ایدینگزیته شده در آنکلاو موجود در سنگ‌های منطقه شرف‌آباد (XPL)؛ (F) منطقه‌بندی نوسانی در بلور درشت پلاژیوکلاز در سنگ‌های منطقه شرف‌آباد (XPL).

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های معرف سنگ‌های منطقه شرف‌آباد
 $\text{Fe}_2\text{O}_3^* = \text{Total Fe as Fe}_2\text{O}_3$, $\text{LOI} = \text{Loss On Ignition}$, $\text{Mg\#} = 100\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$

Sample	VS-1	VS-3	VS-4	VS-6	VS-8	VS-9	VS-10	VS-11	VS-13	VS-14	VS-16
SiO ₂	59	59.9	58.9	59.5	59.1	59.6	59.1	56	56.5	59.2	56.3
Al ₂ O ₃	15.7	16.2	16.3	16.1	16.1	16.2	15.9	16	16.1	16.7	16.4
Fe ₂ O ₃ *	4.98	5.85	5.69	5.7	5.66	5.65	5.65	6.57	6.15	5.6	6.87
CaO	4.4	5.5	5.67	5.71	5.86	5.54	5.32	5.95	6.42	5.2	6.71
MgO	1.72	2.26	2.44	2.34	2.49	2.47	2.33	3.35	3.54	1.57	2.82
Na ₂ O	3.5	3.5	3.2	3.2	3.2	3.3	3.3	3.3	3.5	3.6	3.7
K ₂ O	2.39	1.8	2.3	2.34	2.04	2.37	2.56	2.04	1.28	3.22	2.03
TiO ₂	0.64	0.68	0.68	0.7	0.66	0.65	0.67	0.77	0.73	0.77	0.86
MnO	0.07	0.1	0.1	0.1	0.12	0.1	0.1	0.17	0.13	0.15	0.11
P ₂ O ₅	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.21	0.29	0.26	0.29	0.2
LOI	2.79	2.74	3.22	3.19	3.91	2.9	2.52	3.98	3.32	2.35	1.51
Total	95.4	98.7	98.7	99.1	99.3	99.0	97.7	98.4	97.9	98.7	97.5
Q	17.1	17.4	15.8	16.5	16.6	15.9	15.5	11.7	12.7	13.2	9.69
Or	14.1	10.6	13.6	13.8	12.1	14	15.1	12.1	7.56	19	12
Ab	29.6	29.6	27.1	27.1	27.1	27.9	27.9	27.9	29.6	30.5	31.3
An	20.1	23.2	23.3	22.7	23.5	22.4	21	22.8	24.4	19.9	22.2
Di	0.42	2.38	2.99	3.63	3.51	3.16	3.24	3.86	4.59	3.25	7.94
Hy	6.32	7.25	7.3	6.72	7.23	7.31	6.89	9.69	9.86	4.36	6.33
Mt	2.86	3.35	3.25	3.26	3.23	3.23	3.23	3.76	3.35	3.51	3.93
Il	1.22	1.29	1.29	1.33	1.25	1.24	1.27	1.46	1.39	1.46	1.63
Ap	0.45	0.43	0.4	0.43	0.43	0.43	0.5	0.69	0.62	0.69	0.47
Sum	92.2	95.5	95	95.4	95	95.6	94.7	93.9	94.1	95.9	95.4
Ba	570	610	550	680	620	580	650	1380	890	810	500
Sr	350	450	450	440	490	440	470	550	890	510	450
Zn	51	62	57	63	121	59	62	91	75	51	70
Ce	34.9	37.5	35.3	36.3	36.5	36.7	40.3	47.4	46.1	42.5	34.4
Co	11.6	14	15.8	14.8	13.8	14.3	14.9	18.9	19.3	12.2	19.6
Cs	1	1	3	3.3	4.4	3.1	2.9	3	2.3	1.9	1.4
Cu	42	43	58	39	46	38	54	82	54	42	63
Dy	2.63	2.8	2.79	2.59	2.72	2.6	2.84	2.99	2.77	3.3	2.89
Er	1.64	1.81	1.76	1.66	1.77	1.64	1.77	1.72	1.84	1.94	1.7
Eu	0.89	0.99	0.9	0.89	0.95	0.89	1.02	1.26	1.02	1.37	1.01
Ga	17	17	17	17	17	17	17	18	18	18	18
Gd	2.87	3.1	2.83	2.74	2.93	2.78	3.22	3.79	3.08	3.9	3.12
Hf	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3
Ho	0.58	0.62	0.6	0.56	0.59	0.55	0.6	0.61	0.62	0.67	0.61

Sample	VS-1	VS-3	VS-4	VS-6	VS-8	VS-9	VS-10	VS-11	VS-13	VS-14	VS-16
ادامه جدول ۱- ...											
La	20.6	20.9	20.6	20.7	20.7	20.7	22.9	25.6	24.4	24	19
Lu	0.25	0.27	0.29	0.25	0.27	0.26	0.26	0.27	0.27	0.28	0.27
Nb	7	7	7	7	7	7	7	8	7	8	7
Nd	15.3	16.5	15.5	15.1	15.7	15.6	18.3	22.2	19	21.5	15.6
Ni	19	19	17	17	12	14	16	23	28	19	19
Pr	4.2	4.25	4.11	4.1	4.12	4.1	4.74	5.65	5.13	5.38	3.97
Rb	55.2	37.3	63.4	63.7	74.4	72.7	94.3	81.9	73.1	88.3	48.5
Sm	3.1	3.3	3.1	3	3.2	3.1	3.6	4.4	3.5	4.3	3.4
Ta	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
Tb	0.45	0.48	0.45	0.41	0.45	0.46	0.47	0.55	0.47	0.56	0.49
Th	9.4	7.7	9.3	9	8.6	9.2	9.5	9.5	8.1	10.1	7.1
Tm	0.25	0.25	0.25	0.24	0.26	0.24	0.27	0.25	0.27	0.29	0.27
U	2.37	2.35	2.67	2.72	2.55	2.85	2.95	2.4	2.36	3.11	2.2
V	129	149	146	151	134	139	164	154	178	165	209
Y	15.4	16.8	15.9	15.1	16.5	15.6	16.9	17.2	16.9	18.6	16.5
Yb	1.7	1.7	1.8	1.7	1.7	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	1.7
Zr	100	100	96.8	104	91.6	102	108	132	119	123	93.8
Eu/Eu*	0.91	0.95	0.93	0.95	0.95	0.93	0.92	0.94	0.95	1.02	0.95
Mg#	33.8	36.4	38.9	37.9	39.5	39.4	38	43.1	45.2	30.9	37.9



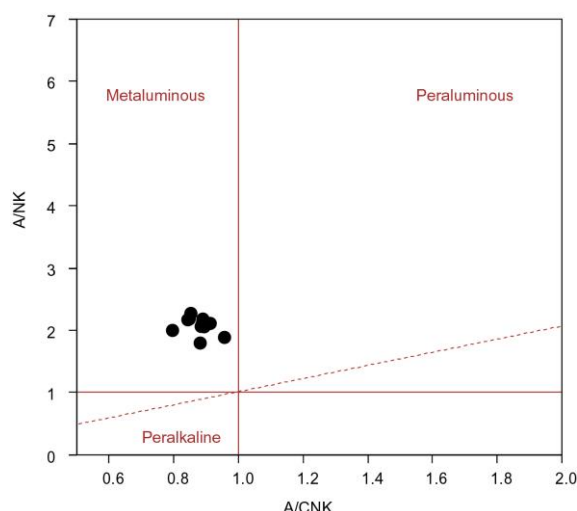
شکل ۴- طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه شرف‌آباد (Winchester and Floyd, 1977)

بر اساس این نمودار، تمامی نمونه‌ها در محدوده کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان با پتاسیم بالا واقع

تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه شرف‌آباد: به منظور تعیین سری ماگمایی سنگ‌های شرف‌آباد از نمودار K_2O در مقابل SiO_2

برابر (Maniar and Al_2O_3/K_2O+Na_2O+CaO Piccoli, 1989) که دو محدوده اصلی پرآلومینوس و متآلومینوس را از یکدیگر مجزا کرده است، استفاده شده است.

بر اساس شکل ۶ همه نمونه‌ها در موقعیت متآلومین قرار دارند. موقعیت متآلومین سنگ‌های آذرین نشانه منشأ گرفتن آنها از گوشته است (Middlemost, 1985). میزان اکسید آلومینیوم سنگ‌های حد واسط مناطق کوهزایی بین ۱۶ تا ۱۸ درصد وزنی است (Gill, 1981). مقدار اکسید آلومینیوم سنگ‌های مورد بررسی بین ۱۵/۷ تا ۱۶/۷ درصد وزنی متغیر است که با میانگین این اکسید در مناطق کوهزایی هماهنگ است.

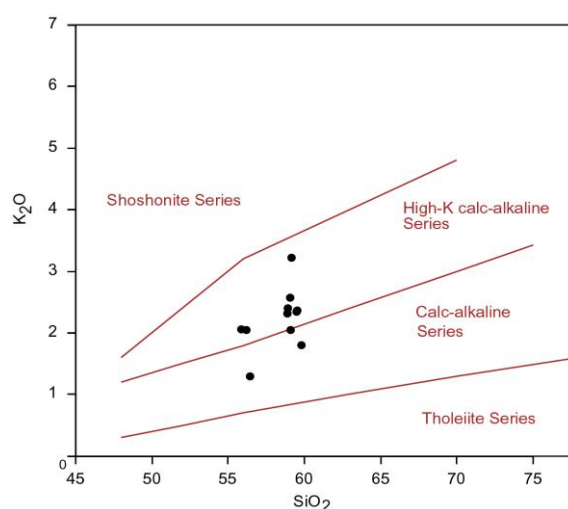


شکل ۶- نمودار A/CNK در مقابل A/NK (Maniar and Piccoli, 1989). همان طور که مشاهده می‌شود تمامی نمونه‌های منطقه شرف‌آباد در محدوده متآلومینوس قرار دارند.

نسبت $100Mg/(Mg+Fe^{2+})=33.83-45.2$ ، K_2O/Na_2O بین ۰/۳۷ تا ۰/۸۹ و محتوای Al_2O_3 بالا (۱۵/۷ تا ۱۶/۷ درصد وزنی) شبیه آندزیت‌های جزایر قوسی بارز است (Bailey, 1981). محتوای کبالت نمونه‌ها در محدوده ۱۱/۶ تا ۱۹/۶ پی‌پی‌ام و نیکل از ۱۲ تا ۱۹ پی‌پی‌ام در نوسان است. عدد

شده‌اند (شکل ۵). سری ماگمایی کالک‌آلکالن معمولاً ویژه مناطق کوهزایی است و در موقعیت‌های زمین‌ساختی جزایر کمانی، حاشیه فعال قاره‌ای و کمان‌های پس از برخورد مشاهده می‌شود (Ameri et al., 2005).

درجه اشباع مذاب از آلومینیوم، به ویژه در تعیین منشأ ماگمایی سنگ‌های آذرین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عقیده Chappell و White (۱۹۷۴) درجه اشباع از آلومینیوم در سنگ‌ها، نشانه ماهیت موادی است که از آن منشأ گرفته‌اند. اساس تعیین این عامل مقادیر مولکولی CaO ، Al_2O_3 ، Na_2O و K_2O است. برای تعیین این عامل از نمودار تغییرات نسبت مولکولی Al_2O_3/K_2O+Na_2O در



شکل ۵- نمودار SiO_2 در مقابل K_2O برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه شرف‌آباد (Peccerillo and Taylor, 1976).

بحث

بررسی تغییرات عناصر اصلی در سنگ‌های منطقه شرف‌آباد: سنگ‌های آتشفشانی شرف‌آباد دارای ۵۶ تا ۵۹/۹ درصد وزنی SiO_2 ، ۱/۷۲ تا ۳/۵۴ درصد وزنی MgO هستند و با TiO_2 پایین (۰/۸۶ تا ۰/۶۴)، عدد منیزیوم پایین

سبک (LREE) غنی‌شدگی بیشتری نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) نشان می‌دهند. نمودار عناصر نادر خاکی ترسیم شده برای نمونه‌های شرف‌آباد الگوی REE کم شیب ($(La/Yb)_N = 10/15$ تا $7/54$) را نشان می‌دهد. مقادیر محاسبه شده نسبت Eu/Eu^* سنگ‌های شرف‌آباد از $0/91$ تا $1/02$ در نوسان است. این غنی‌شدگی از عناصر کمیاب خاکی سبک و تهی‌شدگی از عناصر کمیاب خاکی سنگین و تهی‌شدگی Eu نسبت به کندریت از ویژگی‌های سنگ‌های کالک‌آلکال آتشفشان‌های حاشیه فعال قاره‌ای است (Nagudi *et al.*, 2003). الگوی صاف در نمودار شکل ۷ بین عناصر Dy و Lu می‌تواند نشان‌دهنده ذوب یک منبع لرزولیتی باشد (Lin *et al.*, 1989).

نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه شده نسبت به کندریت: در این قسمت نمونه‌های منطقه شرف‌آباد نسبت به مقادیر کندریتی (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند (شکل ۸). از ویژگی این نمودار، غنی‌شدگی نمونه‌های شرف‌آباد از عناصر نادر خاکی سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون و تهی‌شدگی آنها از عناصر نادر خاکی سنگین و عناصر با شدت میدان بالا است که شاخص ماگماهای کالک‌آلکال مناطق فرورانش است و می‌تواند از خاستگاه ماگما از یک پوسته اقیانوسی فرورانده شده و گوه‌گوشته‌ای دگرنهاد روی آن، تحمل فرآیند تبلور جدایشی و نیز هضم و آلیش ماگما با مواد پوسته‌ای و باقی‌ماندن عناصر نادر خاکی سنگین و عناصر با شدت میدان بالا در سنگ خاستگاه ناشی شده باشد.

بی‌هنجاری منفی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) نظیر: Ta، Nb و Ti که از ویژگی‌های بارز محیط‌های کم‌انرژی است؛ اگر چه ممکن است ناشی از آغستگی و اختلاط ماگما با مواد پوسته‌ای حین

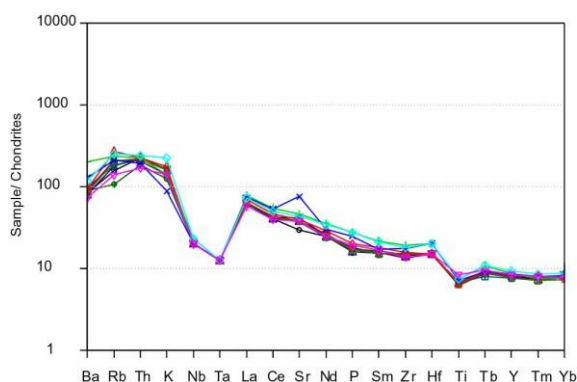
منیزیوم پایین نشانگر تبلور تفریقی فازهای فرومنیزین است (Gencalioglu-Kuscu and Geneli, 2010). همچنین، عدد منیزیوم پایین به همراه مقادیر پایین نیکل، کروم و کبالت در این سنگ‌ها نشان می‌دهد که آنها از ماگمای اولیه متبلور نشده‌اند (Juteau and Maury, 1997). با این وجود، اگر ماگمای بازیک به جای مشتق شدن از یک گوشته عادی از مناطق متاسوماتیزه مشتق شده باشد، این معیارها دیگر کاربرد نخواهند داشت (Wilson, 1989). بنابراین، سنگ‌های شرف‌آباد یا پس از تشکیل در گوشته عادی متحمل تحولات ماگمایی شده‌اند یا ماگماهایی هستند که از گوشته متاسوماتیزه مشتق شده‌اند. شواهد صفحات آینده نشان می‌دهد که سنگ‌های شرف‌آباد از یک گوشته متاسوماتیزه منشأ گرفته‌اند.

کانی‌های نورماتیو نمونه‌های شرف‌آباد بر اساس روش CIPW است و با روش Le maitre (۱۹۷۶a) آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی محاسبه شد (جدول ۱). همان‌طور که ملاحظه می‌شود نمونه‌های شرف‌آباد بین $9/69$ تا $17/38$ درصد وزنی کوارتز نورماتیو و بین $4/36$ تا $9/86$ درصد وزنی هیپرستن نورماتیو دارند و بنابراین، جزو سنگ‌های آذرین فوق‌اشباع از سیلیس تقسیم‌بندی می‌شوند. به عبارت دیگر، جزو سری کالک‌آلکال یا کوارتز توله‌ایت هستند.

بررسی تغییرات عناصر نادر خاکی در

سنگ‌های منطقه شرف‌آباد: برای بررسی تغییرات عناصر نادر خاکی، نمونه‌های منطقه شرف‌آباد نسبت به مقادیر کندریتی Boynton (۱۹۸۴) نرمالیزه شده‌اند. در این نمودار، عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های منطقه شرف‌آباد نسبت به مقادیر کندریتی (Boynton, 1984) غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در این میان، عناصر کمیاب خاکی

تیتان دار، اسفن و آپاتیت) در سنگ‌های اکلوزیتی پوسته اقیانوسی فرورانده شده یا گوه گوشته‌ای ذوب نشده محل خاستگاه می‌دانند. زیرا عناصر یاد شده در این فازها به شدت سازگار هستند (Ayers, 1998).

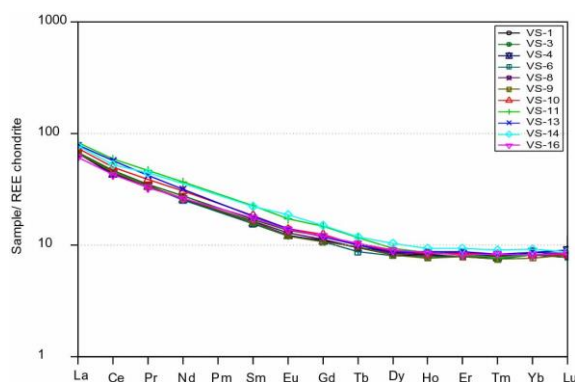


شکل ۸- نمودار عنکبوتی نرمالیزه شده سنگ‌های منطقه شرف‌آباد نسبت به مقادیر کندریت (Thompson, 1982).

بودن این نسبت‌ها به مقادیر گزارش شده در کمان‌های آتشفشانی (به ترتیب ۱/۶ تا ۱۱ و ۰/۳۶ تا ۵/۲)، می‌توان بیان کرد که ماگمای این سنگ‌ها شباهت زیادی به ماگماهای کمان‌های آتشفشانی دارد (Sun, 1980).

علاوه بر این، Gill (۱۹۸۱) بیان نمود که نسبت بالای Ba/Nb (>28) معرف ماگماتیسم کمان آتشفشانی است. در سنگ‌های شرف‌آباد این نسبت بین ۷۱/۴۳ تا ۱۷۲/۵۰ در نوسان است که نشان از تشکیل آنها در محیط کمانی دارد. کمان‌های آتشفشانی را بر اساس نسبت Ce/Yb به دو دسته غنی شده و کمتر غنی شده تقسیم نموده‌اند (Juteau and Maury, 1997). اگر این نسبت بیشتر از ۱۵ باشد، کمان از نوع غنی شده و اگر کمتر از ۱۵ باشد، از نوع کمتر غنی شده است. به علاوه، در کمان‌های کمتر غنی شده این دو عنصر همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند اما در کمان‌های غنی شده، مقدار این نسبت در واقع

صعود و جایگزینی آن در مناطق فرورانش نیز باشد؛ اما بسیاری از پژوهشگران تهی بودن آبگون دگرنهاد کننده گوه گوشته‌ای از این عناصر را ناشی از حضور فازهای دیرگداز حاوی این عناصر (نظیر: روتیل، ایلمنیت، آمفیبول پارگازیتی

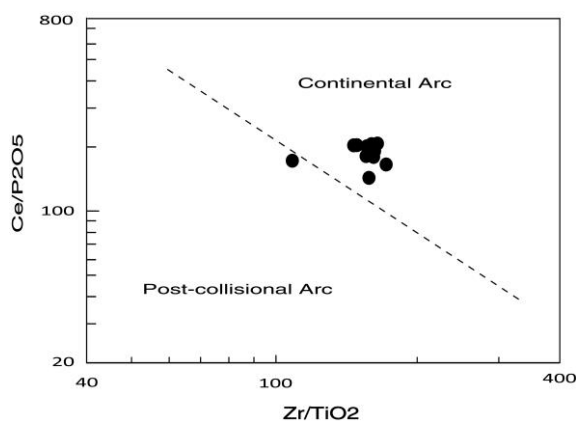


شکل ۷- نمودار REE سنگ‌های منطقه شرف‌آباد نسبت به REE کندریت (Boynton, 1984).

تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه شرف‌آباد: ایده تمایز ماگماهای مربوط به جایگاه‌های متفاوت تکتونیکی به طریق شیمیایی به Pearce و Cann (۱۹۷۱ و ۱۹۷۳) نسبت داده می‌شود. در دو پژوهش بسیار مهم، این پژوهشگران نشان دادند که امکان تمایز بازالت‌های تولید شده در جایگاه‌های متفاوت تکتونیکی شناخته شده با استفاده از ژئوشیمی وجود دارد. آنها چیزی را ابداع نمودند که به عنوان نمودارهای متمایزکننده تکتونو-ماگمایی شناخته می‌شود (Rollinson, 1993).

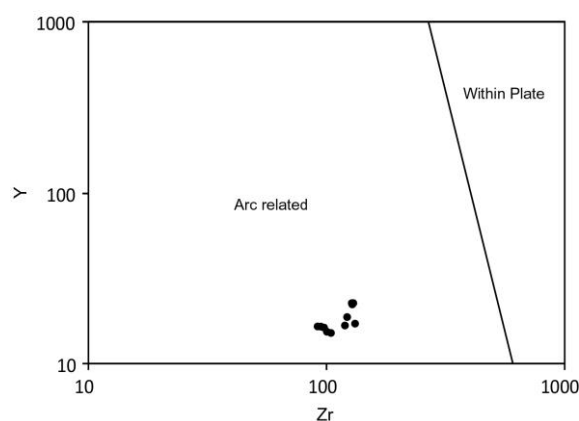
Muller و Groves (۱۹۹۷) دیագرام Y در برابر Zr را برای تعیین محیط تکتونیکی ارائه نموده‌اند که بر اساس این نمودار تمامی سنگ‌های منطقه شرف‌آباد در محدوده کمان‌های ماگمایی قرار می‌گیرند (شکل ۹). همچنین، با توجه به نسبت‌های بالای Nb/U (۲/۴۶ تا ۳/۳۳) و Nb/Th (۰/۷۴ تا ۰/۹۹) در سنگ‌های منطقه و نزدیک

برای مشخص نمودن این که نمونه‌های منطقه مطالعاتی در کمان آتشفشانی قاره‌ای یا کمان بعد از برخورد قرار دارند از نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Ce/P_2O_5 (Muller and Groves, 1997) استفاده شد. بر اساس این نمودار، نمونه‌های این منطقه در محدوده کمان قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). مجموعه شواهد بالا نشان می‌دهد که ماگمای سنگ‌های آذرین منطقه شرف‌آباد از نوع کالک‌آلکالین پتاسیم بالا و به یک کمان غنی شده حاشیه فعال قاره‌ای وابسته است.



شکل ۱۰- نمودار Zr/TiO_2 در مقابل Ce/P_2O_5 برای تفکیک محیط‌های کمان قاره‌ای از کمان پس از برخورد (Muller and Groves, 1997).

بیانگر نسبت این عناصر در محل خاستگاه، میزان ذوب بخشی، مشارکت رسوبات روی صفحه فرورونده در تولید مذاب یا میزان واکنش متقابل بین مذاب گوشته‌ای و پوسته قاره‌ای است. میانگین این نسبت در سنگ‌های شرف‌آباد ($Ce/Yb=22/52$) بوده که گویای وابستگی نمونه‌ها به یک کمان غنی شده است. این غنی‌شدگی می‌تواند از دگرنهادی شدید خاستگاه گوشته‌ای، نرخ پایین ذوب بخشی محل خاستگاه و آلودگی ماگما با مواد پوسته‌ای ناشی شده باشد.

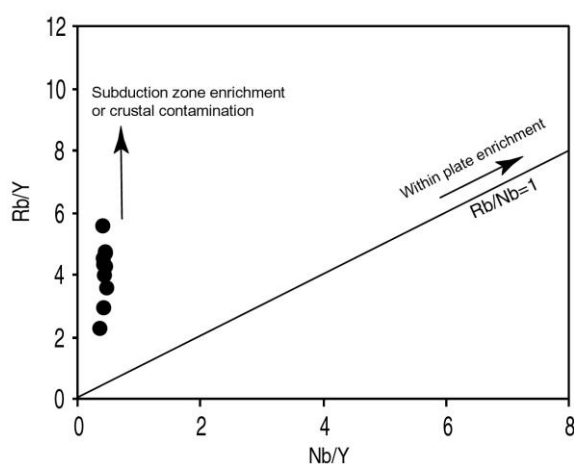


شکل ۹- نمودار تغییرات Y در مقابل Zr (Muller and Groves, 1997).

آلایش ایجاد می‌شوند. در بیشتر مناطق فرورانشی، ورقه فرورونده آب از دست داده و سیالات غنی از LILE را به داخل گوه گوشته‌ای آزاد می‌کند. به دلیل این که آنومالی‌های منفی Nb و Ta در سنگ‌های شرف‌آباد همراه با سایر عناصر غیر متحرک در سیال از قبیل: P و Ti هستند، شاید محیط متاسوماتیک، سیالات باشند تا مذاب (Smithies *et al.*, 2004). سنگ‌های آتشفشانی شرف‌آباد در نمودار Nb/Y در مقابل Zr/Y محدود به بخش غنی شده (EN) قرار می‌گیرند (شکل ۱۱) که نشانگر غنی‌شدگی منشأ آنها از

ماهیت منشأ سنگ‌های آتشفشانی منطقه شرف‌آباد: آنومالی‌های منفی بارز Nb، Ta و Ti همراه با آنومالی منفی P می‌تواند ناشی از مشارکت پوسته و متاسوماتیسم آبدار باشد که می‌تواند به غنی‌شدگی منشأ گوشته‌ای طی فرآیندهای فرورانشی نسبت داده شود. طبق نظر Martin و همکاران (۲۰۰۵) در مناطق فرورانش، ماگماها از ذوب گوه گوشته‌ای، ورقه اقیانوسی فرورونده، رسوب‌های روی ورقه اقیانوسی فرورونده، پوسته قاره‌ای یا ترکیبی از روش‌های بیان شده همراه با فرآیندهای جدایشی، هضم و

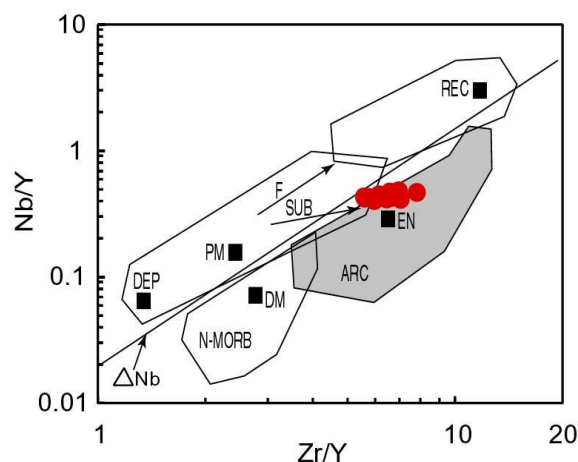
خط $Rb/Nb=1$ پیروی می‌کند (Edwards *et al.*, 1991). نمونه‌های شرف‌آباد مقادیر پایین Nb/Y را نشان می‌دهند که این مسأله می‌تواند مربوط به تهی‌شدگی از عناصر HFSE باشد که معمولاً در گدازه‌های مربوط به محیط‌های فرورانش دیده می‌شود. در محیط‌های فرورانشی عناصر HFSE (مثل: Ti و Ta , Nb) در صفحه فرورونده باقی می‌مانند و عناصر LILE (مثل: K , Ba , Rb و Sr) به راحتی به قسمت بالایی گوشته منتقل می‌شوند (Pearce, 1983).



شکل ۱۲- نمودار Rb/Y در مقابل Nb/Y برای تعیین نوع روند غنی‌شدگی نمونه‌های منطقه شرف‌آباد (Edwards *et al.*, 1991).

می‌شود. علاوه بر این سیالات، ماگماها نیز می‌توانند در متاسوماتیسم گوشته نقش داشته باشند. از نمودار یاد شده برای تعیین عاملی که باعث متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای شده است استفاده می‌شود. ثابت بودن نسبت Zr/Nb با افزایش Ce/Y و Th/Zr ، با اضافه شدن سیالات

پوسته قاره‌ای یا متاسوماتیسم طی فرآیند فرورانش است (Condie, 2005). به منظور تعیین روند غنی‌شدگی عنصری سنگ‌های شرف‌آباد در ارتباط با محیط‌های زمین‌ساختی از نمودار Nb/Y در مقابل Rb/Y استفاده شد (شکل ۱۲). همان طور که در این نمودار مشهود است، تغییرات Rb و Nb در سنگ‌های منطقه مطالعاتی حاصل غنی‌شدگی در پهنه فرورانش یا آلایش پوسته‌ای است. لازم به توضیح است که در محیط‌های درون صفحه‌ای روند غنی‌شدگی متفاوت بوده و از روند



شکل ۱۱- نمودار Nb/Yb در مقابل Zr/Y برای نمونه‌های منطقه شرف‌آباد. پیکان‌ها اثرات ذوب تعادلی (F) و فرورانش (SUB) را نشان می‌دهند. PM= گوشته اولیه، DM= گوشته تهی شده کم عمق، ARC= بازالت‌های مرتبط با کمان، NMORB= بازالت پشته میان اقیانوسی نرمال، DEP= گوشته تهی شده عمیق، EN= بخش غنی شده، REC= بخش بازیافتی (Condie, 2005).

همچنین، همان طور که از شکل ۱۳-A و B پیدا است، سنگ‌های شرف‌آباد روندی به موازات سیالات متاسوماتیسم کننده دارند. در مناطق فرورانش، صفحه فرورونده آب از دست می‌دهد و سیالات غنی از عناصر LILE را در گوشته رها می‌سازد که باعث متاسوماتیسم و ذوب بخشی آن

مشتق شده از ورقه به منشأ گوشته‌ای سازگار است (He *et al.*, 2008). با توجه به ثابت بودن نسبت Zr/Nb همراه با افزایش نسبت‌های Th/Zr و Ce/Y در نمونه‌های شرف‌آباد نتیجه می‌گیریم که سیالات آزاد شده از صفحه فرورونده در متاسوماتیسم گوشته در منطقه شرف‌آباد نقش داشته است (شکل ۱۳-A و B). همچنین، نسبت بالای $Rb/Zr > 0.12$ در سنگ‌های شرف‌آباد ($0.38/0$ تا $0.40/0$) نشان‌دهنده یک منبع گوشته‌ای متاسوماتیز شده توسط سیالات (نه هیبرید شده توسط مذاب‌ها) است (Beate *et al.*, 2001). علاوه بر این، نسبت‌های $(La/Yb)_N$ و Sr/Y به عنوان یک متمایزکننده به ویژه برای تشخیص مذاب‌های پوسته‌ای به کار می‌رود. به این ترتیب که اگر این نسبت‌ها به صورت $(La/Yb)_N > 12$ و $Sr/Y > 40$ باشد، نشان‌دهنده مذاب‌های مشتق شده از صفحه فرورونده است (Defant and Drummond, 1990). این نسبت‌ها در سنگ‌های شرف‌آباد پایین‌تر از مقادیر معرفی شده بوده (به ترتیب $6/58$ تا $7/22$ و $22/11$ تا $23/45$) که بیانگر مشتق شدن آنها از ماگماهای گوشته‌ای است.

به منظور بررسی غنی‌شدگی منشأ، در شکل ۱۴ مقادیر Th/Yb در مقابل مقادیر Ta/Yb ترسیم شده است. ترکیب متوسط پوسته و همچنین، بردار تبلور تفریقی و منحنی AFC ($r=0.3$) برای ۵۰ درصد تفریق یک مجموعه بلوری متشکل از ۵۰ درصد پلاژیوکلاز و ۵۰ درصد آمفیبول از یک ماگمای حد واسط ترسیم شده است. معمولاً نسبت‌های Th/Yb و Ta/Yb تحت تأثیر تبلور تفریقی یا ذوب بخشی که در آن پیروکسن‌ها و فلدسپارها به صورت فازهای اصلی یا باقی‌مانده

هستند، قرار نمی‌گیرند. بنابراین، فراوانی این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده ترکیب سنگ منشأ ماگما یا هضم سنگ‌های پوسته توسط ماگما باشد. متاسوماتیسم ناحیه منشأ که توسط فرآیندهای فروران انجام می‌شود باعث غنی‌شدگی از Th نسبت به Ta شده و بنابراین، سبب افزایش نسبت Th/Yb در مقایسه با Ta/Yb می‌شود. در واقع، مواد فرورانشی Th را با خود حمل کرده اما Ta و Yb را با خود حمل نمی‌کنند. عامل دیگری که سبب بالا رفتن نسبت Th/Yb در برابر Ta/Yb می‌شود آلودگی پوسته‌ای است. زیرا فراوانی Th در مقایسه با Ta در سنگ‌های پوسته‌ای (غیر از رخساره گرانولیتی که Th پایین دارد) بیشتر است (Aldanmaz *et al.*, 2000). در نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (شکل ۱۴) نمونه‌های شرف‌آباد جابجایی یکنواختی از آرایه متاسوماتیسم گوشته‌ای (MM) به طرف مقادیر بالاتر Th/Yb نشان می‌دهند و آرایه نیمه موازی با آرایه بیان شده تشکیل می‌دهند. این مسأله نشان می‌دهد که سنگ‌های شرف‌آباد از یک منشأ گوشته‌ای دارای جزو مشخص فروران‌ش که با فلش SZ مشخص شده، مشتق شده‌اند. آرایه نیمه موازی نمونه‌های مورد مطالعه با آرایه متاسوماتیسم گوشته‌ای، می‌تواند با فرآیند تبلور تفریقی یا هضم و تبلور تفریقی توضیح داده شود.

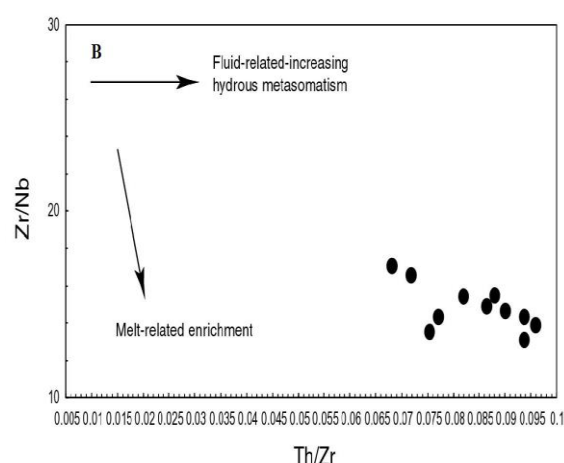
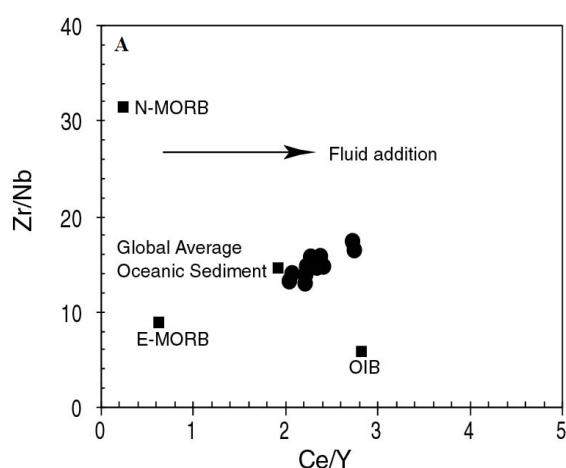
ترکیب ماگماهای تولید شده در گوشته بالای ورقه فرورونده بستگی به ترکیب گوه گوشته‌ای و شرکت متغیر اجزای مشتق از ورقه دارد. گوه گوشته‌ای می‌تواند به طور متغیری به وسیله سیالات یا مذاب‌های مشتق از پوسته بازالتی فرورونده یا رسوبات روی آن متاسوماتیزه شود

در مقابل Rb مورد بررسی قرار می‌دهیم (شکل ۱۶). دلیل استفاده از این نمودار آن است که گارنت کانی اصلی نگهدارنده Yb است و نسبت متغیر Rb/Yb وابسته به گارنت بوده و بین ذوب گوشته اسپینل‌لرزلولیتی و گارنت‌لرزلولیتی تفاوت قایل می‌شود (Özdemir *et al.*, 2006). فرآیند ذوب برای هر دو خاستگاه اسپینل‌لرزلولیتی و گارنت‌لرزلولیتی با فرض وقوع ذوب دسته‌ای و یک گوشته اولیه شبیه به MORB مدل‌سازی شده است.

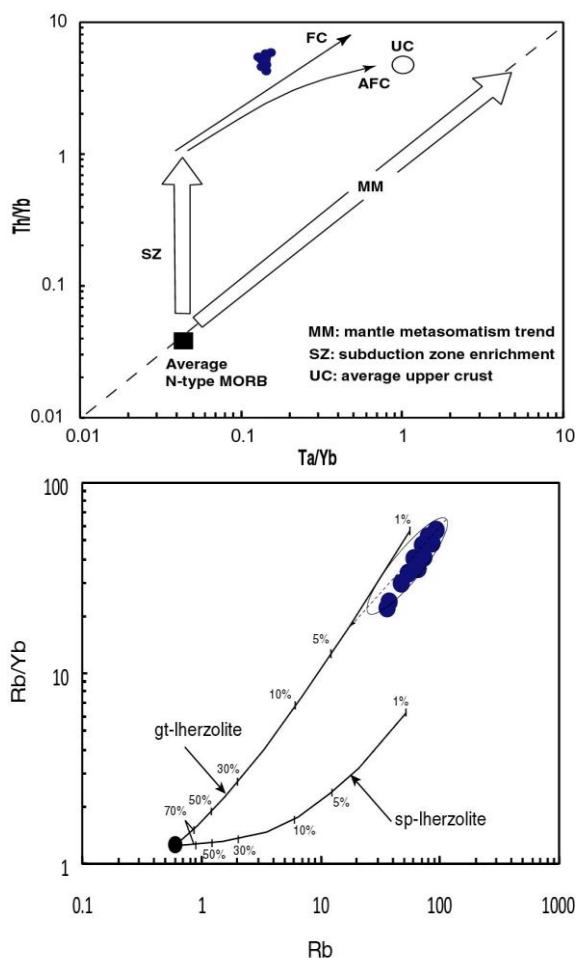
همان طور که در شکل ۱۶ دیده می‌شود، روند گدازه‌های منطقه شرف‌آباد بر منحنی ذوب گارنت‌لرزلولیت منطبق بوده و بیانگر یک تا پنج درصد ذوب برای تولید ماگمای تشکیل‌دهنده این گدازه‌ها است. بنابراین، به نظر می‌رسد که گدازه‌های منطقه شرف‌آباد از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای که در اثر تماس با شارهای مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورونده از عناصر کمیاب غنی شده، ریشه گرفته باشد.

(Tatsumi and Hanyu, 2003). به منظور متمایز نمودن اجزای شرکت کننده در ماگماهای قوس، از عناصر به شدت ناسازگار که بسیار اندک تحت تأثیر درجات متفاوت ذوب بخشی، تبلور تفریقی یا تجمع بلوری قرار می‌گیرند استفاده می‌شود. برای این منظور از نسبت‌های Th/Nb در مقابل Ba/Th استفاده شد. رفتار عناصر کمیاب نشان می‌دهد که نسبت‌های بالای Ba/Th باید به متاسوماتیسم منشأ گوشته‌ای به وسیله سیالات مشتق از ورقه مربوط باشد. در حالی که نسبت‌های بالای Th/Nb به احتمال زیاد مربوط به مشارکت مذاب حاصل از ذوب رسوبات یا پوسته فوقانی است (Orozco-Esquivel *et al.*, 2007). بر اساس این نمودار، نمونه‌های شرف‌آباد روند متاسوماتیسم به وسیله مذاب حاصل از ذوب رسوبات یا پوسته بالایی را نشان می‌دهند (شکل ۱۵).

به منظور توصیف و ارزیابی خاستگاه ماگماهای سنگ‌های شرف‌آباد احتمال شکل‌گیری این سنگ‌ها را از ذوب بخشی گوشته با نمودار Rb/Yb

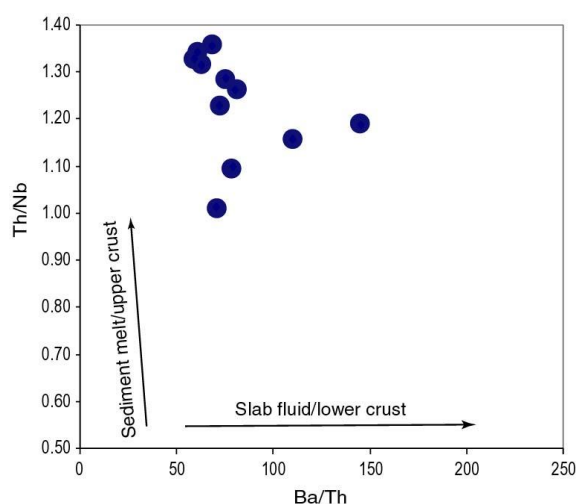


شکل ۱۳- نمودارهای Zr/Nb در مقابل Ce/Y و Zr/Nb در مقابل Th/Zr (He *et al.*, 2008) که نشان می‌دهند سنگ‌های آتشفشانی شرف‌آباد به وسیله سیالات ناشی از آبدایی ورقه متاسوماتیزه شده‌اند.



شکل ۱۴- نمودار Rb در مقابل Rb/Yb که نشان‌دهنده منحنی‌های ذوب است (Özdemir *et al.*, 2006). خطوط ممند، روندهای ذوب از گوشته اولیه و خطوط کوچک روی هر منحنی درجات مختلف ذوب بخشی را نشان می‌دهند.

شکل ۱۴- نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (Pearce, 1983) برای سنگ‌های شرف‌آباد. ترکیب پوسته بالایی از McLennan و Taylor (۱۹۸۵) به عنوان عضو نهایی پوسته‌ای استفاده شده است (UC)؛ روند متاسوماتیسم گوشته ای (MM)؛ غنی‌شدگی منطقه فرورانش (SZ)؛ بردار تبلور تفریقی (FC)؛ منحنی هضم همراه با تبلور تفریقی (AFC). نمونه‌های شرف‌آباد جابجایی یکنواختی از روند متاسوماتیسم گوشته‌ای به طرف نسبت‌های بالاتر Th/Yb نشان می‌دهند که به مشارکت جزو فرورانش در منطقه منشأ گوشته‌ای اشاره دارد.



شکل ۱۵- نمودار Th/Nb در مقابل Ba/Th (Orozco-Esquivel *et al.*, 2007). نمونه‌های شرف‌آباد تقریباً به موازات روند ذوب رسوبات یا پوسته بالایی هستند. این مسأله نشان‌دهنده شرکت رسوبات ورقه فرورونده یا پوسته بالایی در تشکیل ماگمای سنگ‌های این منطقه است.

بالا مثل: Zr به دست می‌آید (Esperanca *et al.*, 1992). به منظور بررسی رخداد فرآیند AFC در تشکیل سنگ‌های منطقه از نمودار K_2O/Na_2O در مقابل Rb/Zr استفاده شد و همان طور که مشاهده می‌گردد، نمونه‌های شرف‌آباد به موازات روند فرآیند AFC قرار دارند (شکل ۱۷) و نشان می‌دهند که سنگ‌های شرف‌آباد تحت تأثیر این فرآیند واقع شده‌اند. همچنین، برای تأیید این مسأله از نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb

آلایش پوسته‌ای در سنگ‌های شرف‌آباد: صعود ماگماهای تولید شده در گوه گوشته‌ای از میان پوسته ضخیم می‌تواند باعث آلایش پوسته‌ای شود و به نسبت‌های بالای Rb/Sr و افزایش K_2O ، Th و Y در نتیجه فرآیندهای هضم و تبلور تفریقی (AFC) منجر شود. شاهد برای فرآیندهای AFC از طریق غنی‌شدگی K_2O روی Na_2O یا غنی‌شدگی عناصر لیتوفیل بزرگ یون ناسازگار از قبیل: Ba، Rb و Th روی عناصر با شدت میدان

سنگ‌ها به علت هضم پوسته‌ای است. هضم پوسته‌ای همچنین، باعث پایین آمدن مقدار Nb و افزایش مقدار LREE و LILE می‌شود که در تجزیه نمونه‌های شرف‌آباد مشاهده می‌شوند.

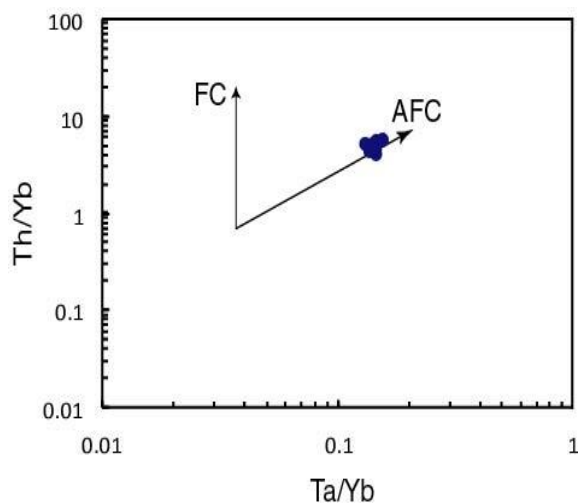
درباره زمان خاتمه نئوتتیس در طول زمین‌درز زاگرس اختلاف نظر وجود دارد. برخی پژوهشگران سن کرتاسه پایانی را برای برخورد قاره‌ای در نظر می‌گیرند (Alavi, 1994). بر طبق نظر دیگر پژوهشگران، برخورد در طول زمین‌درز زاگرس در میوسن اتفاق افتاده است (Sengor and Natal'in, 1996). محدودیت‌های پالئوژئوگرافی حاصل از داده‌های ایزوتوپی کربن و اکسیژن نشان می‌دهد که نئوتتیس با اقیانوس هند تا ۱۴ میلیون سال پیش در ارتباط بوده است (Woodruff and Savin, 1989). این عامل از بازسازی میوسن نئوتتیس به وسیله Sengor and Natal'in (۱۹۹۶) حمایت می‌کند و مستقل از شواهد زمین‌شناسی منطقه‌ای است. وجود رسوبات دریایی کم عمق گسترده و رسوبات عمیق دریایی محدود طی پالئوسن تا میوسن در زاگرس با بازوی جنوبی تتیس که تا میوسن باز بوده، هماهنگ است (Mohajjel et al., 2003). گشایش دریای سرخ و خلیج عدن در نتیجه چرخش صفحه عربستان نسبت به آفریقا (نایبا و سومالی) از ۳۰ میلیون سال قبل انجام شده است (Guiraud and Bosworth, 1999). این حرکت صفحه، مسؤول همگرایی مورب بین صفحه عربستان و ایران مرکزی و بسته شدن نهایی نئوتتیس است. بنابراین، اگر سن برخورد (میوسن) را برای شمال‌غرب ایران در نظر بگیریم، سنگ‌های شرف‌آباد به کمان حاشیه فعال قاره‌ای نئوتتیس متعلق خواهند بود.

پیشنهادی Pearce (۱۹۸۳) استفاده شد. روندهای FC و AFC در این نمودار، دخالت سنگ‌کره قاره‌ای و نیمه قاره‌ای را در سنگ‌زایی سنگ‌ها نشان می‌دهد. تغییرات نسبت‌های Ta/Yb در مقابل Th/Yb برای نمونه‌های شرف‌آباد دخالت فرایندهای آرایش پوسته‌ای در سنگ‌زایی ماگمای مولد این سنگ‌ها را نشان می‌دهد (شکل ۱۸).

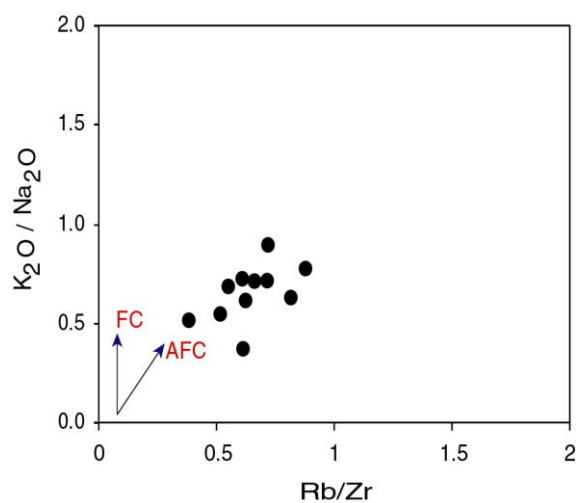
مدل هضم و تبلور بخشی (AFC): در این مدل

از نسبت Rb/Th استفاده می‌شود. این دو عنصر تنها عناصری هستند که تحت تأثیر تبلور مجموعه‌های آبدار یا بدون آب قرار نمی‌گیرند. مقدار نسبت Rb/Th در سنگ‌های پوسته‌ای بیشتر از گدازه‌های بازیک است. بنابراین، بالا رفتن این نسبت در سنگ‌های منطقه شرف‌آباد می‌تواند به علت هضم پوسته‌ای باشد. در این نمودار Rb محور افقی به عنوان شاخص تفریق قرار می‌گیرد. در این مدل، از معادلات هضم و تبلور بخشی (De Paolo, 1981) استفاده می‌شود و ترکیب متوسط سنگ‌های پوسته‌ای از Taylor و McLennan (۱۹۸۵) است. این مدل، درجات مختلف تبلور بخشی را در مقابل مقادیر مختلف (r) نشان می‌دهد. r، نشان‌دهنده نسبت سرعت هضم به سرعت تبلور بخشی است. بر اساس این شکل، هر چه داده‌های حاصل از تجزیه سنگ‌ها به ترکیب پوسته‌ای نزدیک‌تر باشد، هضم بیشتری انجام شده است (Keskin et al., 1998). با پلات کردن مقادیر مربوط به سنگ‌های شرف‌آباد روی این نمودار، در می‌یابیم که سنگ‌های شرف‌آباد در مقادیر نزدیک به ترکیب پوسته‌ای قرار گرفته و بنابراین دارای مقادیری آلودگی و هضم هستند (شکل ۱۹).

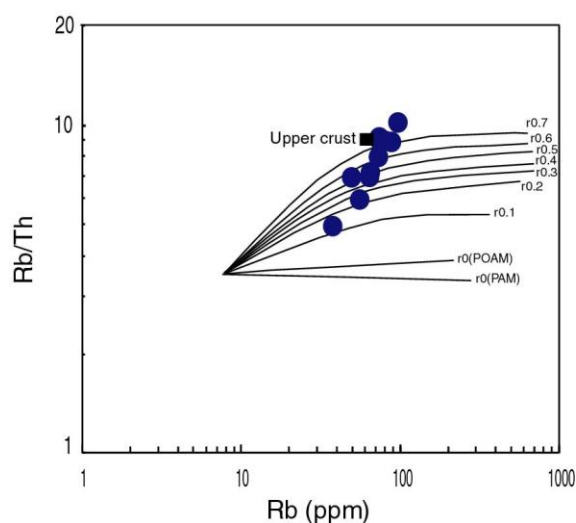
به بیان دیگر، افزایش نسبت Rb/Th در این



شکل ۱۸- نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb (Pearce, 1983). همان طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های شرف‌آباد در امتداد روند مربوط به فرآیند AFC قرار دارند.



شکل ۱۷- نمودار K_2O/Na_2O در مقابل Rb/Zr (Esperanca *et al.*, 1992) که روندهای تبلور تفریقی (FC) و هضم و تبلور تفریقی (AFC) را نشان می‌دهد. همان طور که دیده می‌شود نمونه‌های شرف‌آباد در امتداد روند مربوط به فرآیند AFC قرار دارند.



شکل ۱۹- نمودار Rb/Th در مقابل Rb (Keskin *et al.*, 1998) که نشان‌دهنده فرآیند AFC برای سنگ‌های شرف‌آباد است. همان طور که مشاهده می‌شود نمونه‌های شرف‌آباد شواهد هضم پوسته‌ای را به خوبی نشان می‌دهند.

نتیجه‌گیری

پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلینوپیروکسن و کانی‌های پاک تشکیل می‌دهند. زمینه این سنگ‌ها از بلورهای ریز کانی‌های درشت‌بلور به همراه کانی‌های اولیوین ایدینگزیت، بیوتیت، کوارتز و شیشه تشکیل شده است. کانی‌های متفرقه این سنگ‌ها آپاتیت است که به صورت ادخال در داخل پلاژیوکلازها

بررسی‌های پتروگرافی سنگ‌های شرف‌آباد نشان داد که این سنگ‌ها از نظر بافتی دارای بافت‌های پورفیری با زمینه دانه‌ریز تا شیشه‌ای، گلوپورفیریتیک، حفره‌ای و پیوی‌کیلیتیک هستند و درشت‌بلورهای آنها را کانی‌های

مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه شامل: سریسیت، ایدینگزیت، اپیدوت، کلریت، کلسیت، کانی‌های رسی و کانی‌های اپاک است. طبقه‌بندی سنگ‌های شرف‌آباد بر اساس نمودارهای ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که این سنگ‌ها در حد آندزیت بوده و به سری ماگمایی کالک‌آلکالن تا کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا متعلق هستند. بررسی درجه اشباع از آلومین سنگ‌های شرف‌آباد نشان داد که آنها مت‌آلومین بوده و این مسأله بیانگر منشأ گرفتن آنها از گوشته است. همچنین، بر طبق این مطالعات، سنگ‌های شرف‌آباد با مناطق کوهزایی مرتبط هستند. بررسی تغییرات عناصر نادر خاکی سنگ‌های شرف‌آباد نشان می‌دهد که الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی سنگ‌های بیان شده، به صورت موازی است که بر منشأ واحد و تبلور تفریقی به عنوان سازوکار تشکیل آنها دلالت می‌کند. نمودار عناصر نادر خاکی ترسیم شده برای نمونه‌های مورد مطالعه الگوهای REE کم شیب ($7/54$ تا $10/15$) $_{(La/Yb)}$ را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های سنگ‌های کالک‌آلکالن آتشفشان‌های حاشیه فعال قاره‌ای است. در نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه شده به مقادیر کندریتی، نمونه‌های شرف‌آباد الگوی بارز ماگماهای کالک‌آلکالن مناطق فرورانش را ارایه می‌کنند. بررسی‌های انجام شده در مورد تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های شرف‌آباد با نمودارهای ژئوشیمیایی متمایز کننده نشان می‌دهند که سنگ‌های یاد شده در محیط‌های کمان حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. بررسی ماهیت منشأ سنگ‌های شرف‌آباد با نمودارهای ژئوشیمیایی

مختلف و مدل‌سازی‌های پترولوژیک نشان داد که سنگ‌های بیان شده در یک محیط فرورانشی و از ذوب بخشی ۱ تا ۵ درصد یک منشأ گارنت‌لرزلولیتی غنی شده در اثر ورود سیالات آزاد شده از ورقه فرورونده، به وجود آمده و طی صعود به سطوح بالاتر نیز دچار آغشتگی با پوسته فوقانی شده است. بررسی آغشتگی ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های شرف‌آباد با نمودارهای ژئوشیمیایی مختلف نشان داد که سنگ‌های یاد شده با پوسته آغشته شده و فرآیند آغشتگی، هضم و تبلور تفریقی (AFC) در تشکیل این سنگ‌ها نقش اساسی داشته است. بعضی از پژوهشگران، سن کرتاسه پایانی را برای خاتمه نئوتتیس در نظر می‌گیرند و بعضی معتقد هستند که برخورد در طول زمین‌درز زاگرس در میوسن اتفاق افتاده است. با توجه به این که گشایش دریای سرخ و خلیج عدن در نتیجه چرخش صفحه عربستان نسبت به آفریقا (نابیا و سومالی) از ۳۰ میلیون سال قبل انجام شده است؛ این حرکت صفحه می‌تواند مسؤول همگرایی مورب بین صفحه عربستان و ایران مرکزی و بسته شدن نهایی نئوتتیس باشد. بنابراین، اگر سن میوسن را برای برخورد شمال‌غرب ایران در نظر بگیریم، سنگ‌های منطقه شرف‌آباد با سن ائوسن به کمان حاشیه فعال قاره‌ای نئوتتیس متعلق خواهند بود.

سپاسگزاری

نگارنده از آقایان مهندس اکبر محرم‌پور و بیرام رزمجو به دلیل همکاری و همیاری صمیمانه در مطالعات صحرایی، کمال تشکر و قدردانی را دارد.

منابع

- Aghanabati, A. (2000) The main sedimentary-structural basins of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Alavi, M. (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin 103: 983-992.
- Alavi, M. (1994) Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. Tectonophysics 220: 211-238.
- Aldanmaz, E., Pearce, J. A., Thirlwall, M. F. and Mitchell, J. G. (2000) Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 102: 67-95.
- Ameri, A., Ashrafi, N. and Karimi Garababa, H. (2005) petrology, geochemistry and tectonic setting of Eocene volcanic rocks of east Herra area, east-Azarbaijan, NW Iran. Journal of Geosciences 71: 75-90 (in Persian).
- Aramaki, S. and Ui, T. (1982) Japan. In: Andesites: orogenic and related rocks (Ed. Thorpe, R. S.) 259-292. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Ayers, J. (1998) Trace elements modelling of aqueous fluid-peridotite interaction in mantle wedge of subduction zones. Contributions to Mineralogy and Petrology 132: 390-404.
- Bailey, J. C. (1981) Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites. Chemical Geology 32: 139-154.
- Beate, B., Monzier, M., Spikings, R., Cotton, J., Silva, J., Bourdon, E. and Eissen, J. P. (2001) Mio-Pliocene adakite generation related to flat subduction in southern Ecuador: the Quimsacocha volcanic center. Earth and Planetary Science Letters 192: 561-570.
- Boynton, W. V. (1984) Cosmochemistry of the earth elements: meteorite studies. In: Rare earth element geochemistry (Ed. Henderson, R.) Elsevier, Amsterdam.
- Chappell, B. W. and White, A. J. R. (1974) Two contrasting granite types. Pacific Geology 8: 173-174.
- Condie, K. C. (2005) High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes? Lithos 79: 491-504.
- De Paolo, D. J. (1981) Trace element and isotopic effects of combined wall-rock assimilation and fractional crystallization. Earth and Planetary Science Letters 53: 189-202.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by partial melting of young subducted lithosphere. Nature 347: 662-665.
- Ebrahimi, S., Pen, Y. M., Alirezai, S. and Mehrpatow, M. (2009) Mineralogy and fluid inclusions studies of epithermal gold deposit of sharafabad, NW Iran. Geosciences, 71: 149-154 (in Persian).
- Edwards, C., Menzies, M. and Thirlwall, M. (1991) Evidence from Muriah, Indonesia, for the interplay of supra- subduction zone and intraplate processes in the genesis of potassic alkaline magmas. Journal of Petrology 32: 555-592.
- Esperanca, S., Crisci, M., De Rosa, R. and Mazzuli, R. (1992) The role of the crust in the magmatic evolution of the island Lipari (Aeolian islands, Italy). Contributions to Mineralogy and Petrology 112: 450-462.
- Gencalioglu-Kuscu, G. and Geneli, F. (2010) Review of post-collisional volcanism in the Central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex. The International Journal of Earth Sciences 99: 593-621.

- Gill, J. B. (1981) Orogenic andesites and plate tectonics. Springer, Verlag, Berlin.
- Green, H. (1982) Anatexis of mafic crust and high pressure crystallization of andesite. In: Andesites: orogenic and related rocks (Ed. Thorpe, R. S.) 465-487. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Guiraud, R. and Bosworth, W. (1999) Phanerozoic geodynamic evolution of northeastern Africa and northwestern Arabian platform. *Tectonophysics* 282: 39-82.
- Harmon, R. S., Barreiro, B., Moorbath, S., Hoefs, J., Francis, P. W., Thorpe, R. S., Dérulle, B., Mc Hugh, J. and Viglino, J. A. (1984) Regional O-Sr and Pb isotope relationships in Late Cenozoic calc-alkaline lavas in the Andean Cordillera. *Journal of Geology Society of London* 141: 803-822.
- He, Y., Zhao, G., Sun, M. and Wilde, S. A. (2008) Geochemistry, isotope systematics and petrogenesis of the volcanic rocks in the Zhongtiao Mountain: an alternative interpretation for the evolution of the southern margin of the north China craton. *Lithos* 102: 158-178.
- Ishizaka, K. and Carlson, R. W. (1983) Nd-Sr systematics of the Setouchi volcanic rocks, south-west Japan: a clue to the origin of orogenic andesites. *Earth and Planetary Science Letter* 64: 327-340.
- Juteau, T. and Maury, R. (1997) *Geologie de la croute oceanique, petrologie et dynamique endogens*. Masson, Paris.
- Keskin, M., Pearce, J. A. and Mitchell, J. G. (1998) Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision related volcanism on the Eezurum-Kars plateau, northeastern Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85: 355-404.
- Le maitre, R. W. (1976a) The chemical variability of some common igneous rocks. *Journal of Petrology* 17: 589-637.
- Lin, P. N., Stern, R. J. and Bloomer, S. H. (1989) Shoshonitic volcanism in the northern Mariana arc: 2. Large-ion lithophile and rare earth element abundances: evidence for the source of incompatible element enrichments in intraoceanic arcs. *Journal of Geophysical Research*, 94: 4497-4514.
- Maniar, P. D. and Piccoli, P. M. (1989) Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin* 101: 635-643.
- Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. and Champion, D. (2005) An overview of adakite, tonalite-trondhjemite-granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos* 79: 1-24.
- Mehrpertow, M., Aminifazl, A. and Radfar, J. (1992) Geological Quadrangle Map 1:100000, No. 5367, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magma and magmatic rock*. Longman, London.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. (2003) Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 397-412.
- Muller, D. and Groves, D. I. (1997) *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*. Springer, Verlag, Berlin.
- Nagudi, N., Kobrel, C. and Kurat, G. (2003) Petrography and geochemistry of the Singo granite, Uganda and implications for its origin. *Journal of African Earth Sciences* 36: 1-14.
- Orozco-Esquivel, T., Petrone, C. M., Ferrari, L., Tagami, T. and Manetti, P. (2007) Geochemical and isotopic variability in lavas from the eastern Trans-Mexican volcanic belt: slab detachment in a subduction zone with varying dip. *Lithos* 93: 149-174.
- Özdemir, Y., Karaoglu, O., Tolluoglu, A. O. and Gulec, N. (2006) Volcano stratigraphy and petrogenesis of the Nemrut stratovolcano (east Anatolian High plateau): the most recent post-collisional volcanism in Turkey. *Chemical Geology* 226: 189-211.

- Pearce, J. A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Continental basalts and mantle xenoliths (Eds. Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J.) 230-249. Shiva, Nantwich.
- Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1971) Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth and Planetary Science Letter* 12: 339-349.
- Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1973) Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth and Planetary Science Letter* 19: 290-300.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R. (1976) Geochemistry of Eocene calcalkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58: 63-81.
- Pichler, H. and Zeil, W. (1972) The Cenozoic rhyolite-andesite association of the Chilean Andes. *Bulletin of Volcanology* 35: 424-452.
- Rollinson, H. (1993) Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Singapore, Longman.
- Ryabchikov, I. D. Babansky, A. D. and Dmitriev, Y. L. (1982) Genesis of calk-alkaline magmas: experiments with partial melting of mixed sediments and basalts from the middle America trench, southern Mexico transect. *Initial Reports of Deep Sea Drilling Project* 66: 669-702.
- Sengor, A. M. C. and Natal'in, B. A. (1996) Paleotectonic of Asia: fragments of a synthesis. In: The tectonic evolution of Asia (Eds. Yin, A. and Harrison, T. M.) 486-640. Cambridge University Press, Cambridge
- Shelley, D. (1993) Igneous and metamorphic rocks under the microscope. Chapman and Hall, London.
- Smithies, R. H., Champion, D. C. and Sun, S. S. (2004) Evidence for early LREE-enriched mantle source regions: diverse magmas from the c.3.0 Ga Mallina Basin, Pilbara craton, NW Australia. *Journal of Petrology* 45: 1515-1537.
- Stern, R. J. and Ito, E. (1983) Trace element and isotopic constraints on the source of magmas in the active volcano and Mariana island arcs, western pacific. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 18: 461-482.
- Sun, S. S. (1980) Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs. *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, 297: 409-445.
- Tatsumi, Y. and Hanyu, T. (2003) Geochemical modeling of dehydration and partial melting of subducting lithosphere: toward a comprehensive understanding of high-Mg andesite formation in the Setouchi volcanic belt, SW Japan. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 4:1-19.
- Taylor, S. R. and McLennan, S. M. (1985) The continental crust: its composition and evolution. Geoscience texts, Blackwell Publishing, Oxford.
- Thompson, R. N. (1982) Magmatism of the British, Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology* 18: 50-107.
- Wilson, M. (1989) Igneous petrogenesis a global tectonic approach. Unwin Hymen, London.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A. (1977) Geochemical classification of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- Woodruff, F. and Savin, S. M. (1989) Miocene deep water oceanography. *Paleoceanography* 4: 87-140.

Petrology and petrogenesis of Eocene volcanic rocks of Sharafabad (NW Varzeghan, Eastern-Azarbaijan)

Morovvat Faridazad *

Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract

The study area is located in NW of Varzeghan in the Eastern Azarbaijan province. Based on tectonic units, this area is situated in the Alborz-Azarbaijan subzone of the Central Iran zone. According to field studies the studied volcanic rocks are composed of andesitic cones and lava flows with porphyritic texture. Petrographic studies indicate that they have porphyritic texture with fine-grained to glassy matrix. Glomeroporphyritic, vesicular and poikilitic textures are also present. The main phenocrysts minerals are: plagioclase, hornblende, clinopyroxene and opaque minerals. Apatite, quartz, biotite are the accessories and the secondary minerals are: sericite, iddingsite, epidote, clays minerals, chlorite and opaques. According to geochemical classification, the studied rocks are intermediate and are plotted on the field of andesite. These rocks are plotted on the fields of calc-alkaline to high-K calc-alkaline series. On the REE diagrams the studied rocks display enrichment of LREE's respect to HREE's, which is a feature of calc-alkaline rocks of active continental margin volcanoes. Based on various geochemical diagrams, tectonic setting of the studied rocks is analogous with tectonic features of active continental margin arc settings. Investigation on the source nature of the studied rocks by using various geochemical diagrams and petrological modeling indicate that they have been generated by 1-5% partial melting of garnet lherzilitic source which enriched by addition of releasing fluids from subducting slab in the subduction environment and this magma has been subjected to upper crust contamination through ascending to above levels.

Key words: Andesite, High-K calc-alkaline series, Active continental margin, Garnet lherzolite, Varzeghan, Alborz-Azarbaijan subzone

* faridazad@sut.ac.ir