زمین‌شناسی اقتصادی
جلد ۱۰، شماره ۱ (سال ۱۳۹۷)
صفحات ۲۵ تا ۴۵

Journal of Economic Geology
Vol. 10, No. 1 (2018)
ISSN 2008-7306

پترولوژی، ژئوشیمی و محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین (شمال اراک)

رضا زارعی سهامیه*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴، پذیرش: ۱۳۹۶/۰۳/۲۲

چکیده

منطقه فرمهین واقع در شمال شهرستان اراک در کمربند آتشفشانی- نفوذی ارومیه- دختر قرار گرفته است. سنگ‌های برون‌زد یافته در این منطقه شامل تراکی بازالت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت، ریوداسیت، ریولیت، ایگنمبریت، توفیت و توف هستند. بافت غالب در این سنگ‌ها پورفیری، پورفیری میکرولیتی و میکرولیتی است. شواهد آلایش ماگمایی به‌صورت منطقه‌بندی نوسانی و آثار خوردگی در پلاژیوکلازها در مقاطع میکروسکوپی مشخص است. حاشیه سوخته در آمفیبول‌ها بیانگر دمای بالا و گریزندگی بالای اکسیژن در هنگام فوران ماگماست. نتایج ژئوشیمیایی بیانگر ماهیت متاآلومین و کالک‌آلکالن بودن ماگمای سازنده است. به‌نظر می‌رسد ذوب‌بخشی گوشته متاسوماتیزه با درجه ذوب‌بخشی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد اسپینل لرزولیت تا گارنت- اسپینل لرزولیت سازنده ماگمای اولیه بوده که ضمن بالا آمدن تفریق حاصل کرده و مختصری با سنگ‌های پوسته قاره‌ای آلایش پیدا کرده است. از لحاظ تکتونوماگمایی محیط حاشیه قاره برای ماگمای سازنده تصور می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *کالک‌آلکالن، آلایش پوسته‌ای، حاشیه قاره، فرمهین، زون ارومیه- دختر*

مقدمه

گستره مورد بررسی در شمال خاوری فرمهین و جنوب باختری تفرش قرار گرفته و شامل مناطق علم باغی، واشقان، قرمز چشمه و سربند است که در این پژوهش به اختصار نام منطقه فرمهین برای آن انتخاب شده است. این مناطق بین طول جغرافیایی ′۴۹°۴۳ تا ′۴۹°۴۵ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۴°۳۸ تا ′۳۴°۴۰ شمالی واقع شده‌اند (شکل ۱) و بر اساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری بخشی از پهنه ایران مرکزی و کمربند آتشفشانی- نفوذی ارومیه- دختر محسوب می شود (Hajian, 1970).

از لحاظ ساختاری برخورد بین صفحات ایران و عربستان طی بازه زمانی الیگوسن تا میوسن بالایی در نظر گرفته شده که با فرض خاتمه‌یافتن فرورانش در زمان‌های یادشده، فعالیت ماگمایی ناشی از آن طی زمان‌های بعدی همچنان ادامه یافته است (Berberian and Berberian, 1981; Ghasemi and Talbot, 2006). فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در کمربند ماگمایی- نفوذی ارومیه- دختر همراه با فعالیت‌های پلوتونیکی و بالاآمدگی زون سنندج- سیرجان و نیز شکستگی قطعه فرورونده بوده است. اوج فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در

*مسئول مکاتبات: zareisah@yahoo.com; zarei.r@lu.ac.ir
DOI: 10.22067/econg.v10i1.61242

Archive of SID
www.SID.ir

امتداد کمربند ماگمایی- نفوذی ارومیه- دختر در ائوسن میانی رخ داده است (Ghasemi and Talbot, 2006). به‌دنبال وقوع فعالیت ماگمایی در زون ارومیه- دختر، در نواحی مانند آشتیان- نراق و فرمهین، ولکانیسم ائوسن میانی (لوتسین) و بالایی با فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی (ریولیت، داسیت) آغاز شده که از نظر حجمی برتری قابل ملاحظه‌ای نسبت به انواع حدواسط (آندزیت) و یا بازیک (آندزیت بازالتی) داشته است که در یک مرحله و به‌صورت تأخیری تشکیل شده‌اند. به‌نظر می‌رسد این تظاهرات آتشفشانی علاوه بر حرکت‌های کوه‌زایی، ناشی از حرکت گسل‌ها نسبت به هم و به‌ویژه حرکت‌های کششی بوده که طی زمان‌های مختلف از ائوسن تا میوسن صورت گرفته و مشابه آن در سایر مناطق ایران مثل تفت و خضرآباد نیز دیده شده است (Zarei Sahamieh et al., 2008).

سازوکارهای چین‌خوردگی و گسله‌های بزرگی چون تفرش، تلخاب و تبرته با روند تقریبی شمال‌باختری- جنوب‌خاوری در شکل‌گیری و ریخت‌شناسی این منطقه، به‌ویژه کنترل حوضه‌های رسوبی و فرآیندهای آتشفشانی مؤثر بوده است؛ به‌گونه‌ای‌که فوران‌های آتشفشانی در هر دو محیط خشکی و دریایی به وقوع پیوسته است و به‌ترتیب ایگنمبریت‌ها و توفیت‌های منطقه نشان‌دهنده آن هستند.

تاکنون در مورد سنگ‌های آتشفشانی- نفوذی زون ساختاری ارومیه- دختر یا سهند- بزمان در ناحیه فرمهین به‌صورت پراکنده و محدود مطالبی گفته شده است. به‌نظر می‌رسد این مطالب در برخی مواقع نه تنها راه‌گشا نبوده؛ بلکه بسیار گیج‌کننده نیز بوده است. بر این اساس، با توجه به پژوهش‌های گسترده‌ای که در نواحی مختلف محدوده مورد بررسی انجام‌شده و مقالاتی که در این زمینه توسط نویسنده ارائه شده، سعی شده است با مقایسه و تلفیق داده‌های صحرایی- سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی به‌دست آمده و با کمک نتایج حاصل از آنالیز انواع سنگ‌های آذرین موجود در محدوده‌های علم باغی، واشقان، قرمز چشمه و سربند و شیمی کانی‌های تشکیل‌دهنده آنها، ضمن دستیابی و معرفی تصویری جامع از وقایع ایجادشده در ناحیه منشأ ماگمای مولد این سنگ‌ها، به سؤال و ابهام‌های موجود در خصوص چگونگی نحوه شکل‌گیری ماگما در منبع و نوع محیط تکتونوماگمایی مناطق مورد بررسی پاسخ داده شود.

زمین‌شناسی گستره مورد بررسی

برون‌زدهای سنگی در محدوده مورد بررسی وابسته به دوران‌های میان‌زیستی و نوزیستی بوده است که قدیمی‌ترین آنها را سنگ‌های کربناته متعلق به تریاس میانی تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها شامل آهک‌های سفید متمایل به خاکستری بوده که حاوی قطعات فسیلی نیز هستند و در منطقه مورد بررسی آهک نقره کمر نامیده و در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فرمهین نشان داده شده‌اند (Hajian, 1970).

در بین این سنگ‌ها، توده‌ها، رگه‌ها و دایک‌های آذرینی رخنمون پیدا کرده‌اند که متعلق به ائوسن و جوان‌تر از آن هستند. در محدوده مورد بررسی، سنگ‌های آتشفشانی در دو دامنه سنی قابل پیگیری هستند. گروه اول: انواعی که به ائوسن منسوب شده‌اند و اغلب به‌صورت توف‌های اسیدی تا بازیک خاکستری، توف حاوی قطعات شیشه‌ای بلورین و گدازه‌های تراکیتی، تراکی آندزیتی و انواع داسیتی- ریوداسیتی به‌صورت نیمه عمیق و دایک به رنگ خاکستری تا صورتی روشن و نیز گدازه‌های تیره‌رنگ آندزیت- تراکی آندزیت، کوارتز لاتیت آندزیت و آندزیت بازالتی را شامل می شوند (شکل ۱). همچنین در این ناحیه، ائوسن به شش واحد (لیتوزون از E_1 تا E_6) تقسیم شده است. گروه دوم: انواع سنگ‌های جوان‌تر که در قسمت جنوب‌شرقی رخنمون دارد و شامل سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی به سن نئوژن هستند که اغلب در اطراف روستاهای سربند، سفیدآباد، شهرآب و جنوب گنه گسترش یافته‌اند (شکل ۱). جوان‌ترین سنگ‌های منطقه مربوط به کواترنری است که شامل تراورتن‌های خاکستری روشن تا تراس‌های آبرفتی است.

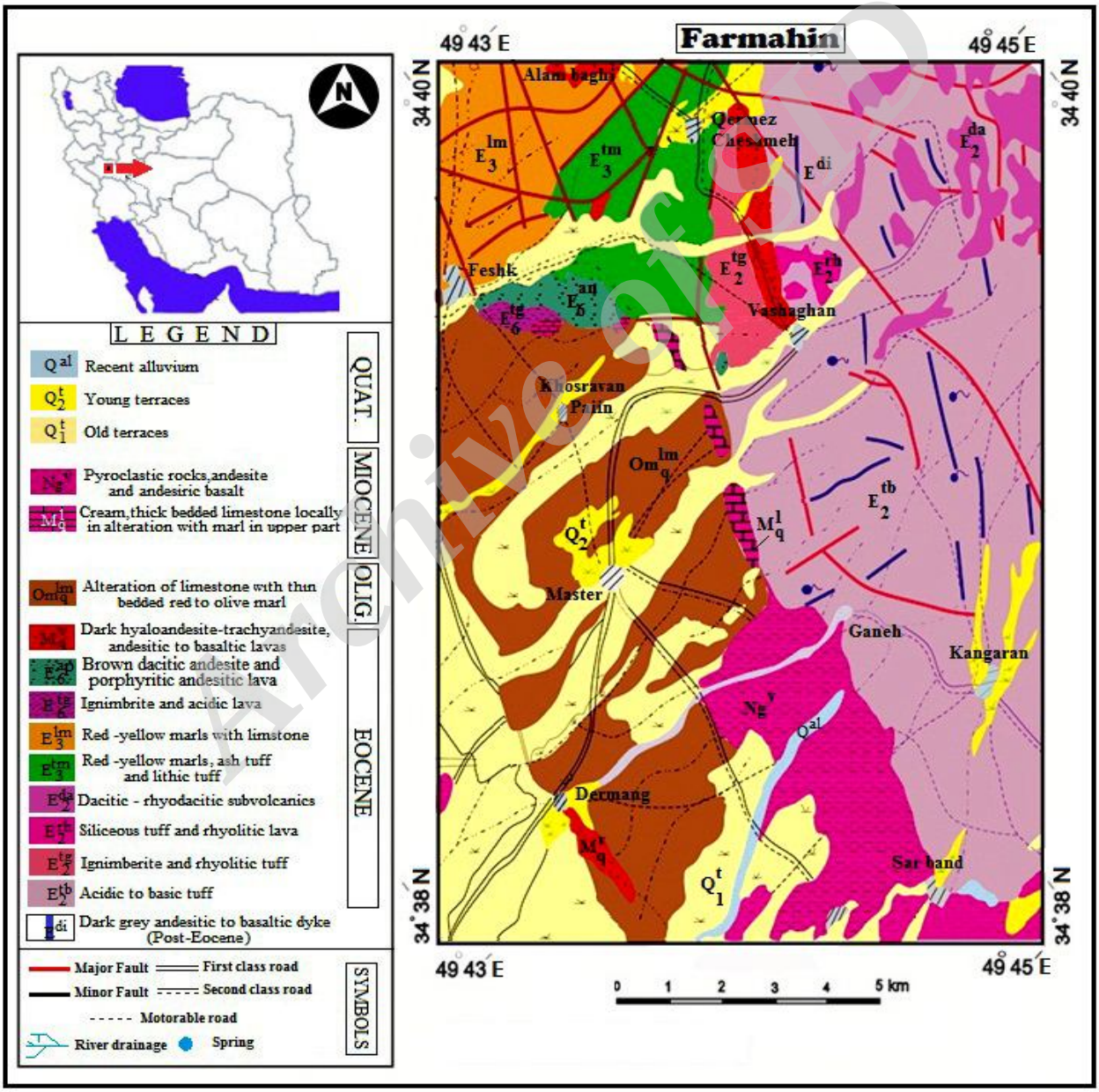
روش مطالعه

بررسی‌های صحرایی با انتخاب رخنمون‌های مناسب و برداشت

Archive of SID

www.SID.ir

۲۷۰ نمونه انجام‌شده است. پس از انتخاب نمونه‌های مناسب و تهیه ۱۵۰ مقطع میکروسکوپی و بررسی‌های سنگ‌نگاری با میکروسکوپ پلاریزان، برای شناخت و بررسی دقیق سنگ‌ها و کانی‌ها و نیز مشخص‌کردن ترکیب شیمیایی آنها، ۴۱ نمونه که شواهد دگرسانی کمتری داشتند، انتخاب و برای آنالیز شیمیایی سنگ کل به‌روش XRF و ICP-MS به سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور ارسال شدند. پس از بررسی‌های دقیق سنگ‌نگاری، تجزیه ریزپردازشی نقطه‌ای کانی‌ها بر روی ۸ مقطع نازک صیقلی در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. طیف‌سنجی گسیلی ICP روشی شعله‌ای با دمای شعله برابر ۶۰۰۰-۱۰۰۰۰ کلوین و روشی انحلالی به‌شمار می‌آید که روش‌های استاندارد سیلیکات‌ها در آن به‌کار می‌رود.



شکل ۱. موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین (شمال اراک) در نقشه زمین‌شناسی فرمهین (Hajian,1970)

Fig. 1. Location of volcanic rocks of Farmahin area (North of Arak) in Farmahin map (Hajian, 1970)

Archive of SID

www.SID.ir

در این روش، مبنای کار بر اساس ذوب اسیدی است، ابتدا ۰/۵ گرم از هر نمونه در ظرف تفلون ریخته و حدود ۱۰ سانتی‌متر مکعب از اسید فلوئوریدریک و ۳ سانتی‌متر مکعب اسید پرکلریک به آنها اضافه شده است و به مدت ۶ ساعت روی حرارت ۱۴۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرارگرفته است تا تقریباً حجم کمی از آنها به حالت ژله در آید. سپس نمونه‌ها را از روی هیتر خارج کرده و ۵ سانتی‌متر مکعب اسید کلریدریک و ۳ سانتی‌متر مکعب اسید نیتریک به آنها اضافه شده است، پس از مقداری حرارت‌دهی به بالن ژوژه ۵۰ سانتی‌متر مکعبی برگردانده شده‌اند. در مورد عناصر فرّار مانند As، Bi، Sb و ... به جای ظروف تفلون از لوله آزمایش استفاده و سرانجام توسط دستگاه ICP آنالیز شده‌اند. انجام آنالیزهای میکروپروپ توسط دستگاه Cameca SX100 فرانسه با پوشش کربن در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شده است. دستگاه موردنظر تمام اتوماتیک بوده و انجام آنالیزهای دقیق، بر پایه دقت و قابلیت اطمینان WDSها و پایداری فوق‌العاده پرتو الکترونی است. ولتاژ به‌کار رفته برای سیلیکات‌ها Kev ۱۵ و شدت جریان ۲۰nA است. فرآیند کالیبراسیون نیز به‌صورت Al/Cr, Si/W, C/W, Na/Ab, K/Or, Mn/$MnSiO_3$, Fe/Fe_2O_3, Mg/MgO, Ti/TiO_2 انجام شده است. آنالیز شیمی‌کانی‌ها بر روی پلاژیوکلاز و پیروکسن انجام‌شده؛ اما از آنجا که در بررسی حاضر اساس کار برای تعیین محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین با استفاده از داده‌های شیمی سنگ کل بوده است و از طرفی ارائه تمامی جدول‌های آنالیز شیمی‌کانی‌ها و نمودارهای مربوطه هم‌زمان با داده‌های شیمی سنگ کل به‌صورت یکجا (به‌دلیل حجم بالای جدول‌ها) میسر نیست؛ لذا در مطالعه پیش رو در مباحث مربوط به شیمی‌کانی فقط به تعدادی از نتایج آنالیز نقطه‌ای انجام‌شده کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن و همچنین خلاصه‌ای از نتایج مهم به‌دست آمده از طراحی آنها اشاره شده است. در این بررسی برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای Minpet، Excel ، GCDkit و Corel Draw Ver.17 استفاده شده است.

بحث و بررسی

پتروگرافی

بررسی مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های موردنظر نشان می‌دهد که بافت غالب در سنگ‌های ریولیتی، داسیتی، آندزیتی، تراکی آندزیتی و آندزیت بازالتی منطقه مورد بررسی پورفیری، گلومروپورفیری میکرولیتی و پورفیری میکرولیتی است. همچنین بعضی از کانی‌ها حالت غربالی را نشان می‌دهند.

پلاژیوکلاز در تمامی سنگ‌های منطقه فرمهین رایج‌ترین فنوکریست تشکیل‌دهنده است و در اغلب سنگ‌های مورد بررسی به‌صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار دیده می‌شود؛ اما در سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی حالت کاملاً شکل‌دار این کانی به‌وضوح آشکار است (شکل ۲-A). مقدار پلاژیوکلاز با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین در سنگ‌ها آندزیتی و تراکی آندزیتی و آلبیت- الیگوکلاز در سنگ‌های داسیتی- ریوداسیتی و ریولیتی از ۲۵ تا ۳۵ درصد حجمی متغیر بوده است؛ در حالی که در سنگ‌های آندزیت بازالتی و تراکی بازالت پلاژیوکلازها از نوع بیتونیت- لابرادوریت هستند. در برخی مقاطع از سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی بلورهای پلاژیوکلاز حالت غربالی و غبارآلود دارند و در برخی مقاطع دیگر از این سنگ‌ها حالت خوردگی نشان می‌دهند که می توان آن را به تغییرات فشار بخار آب و یا نداشتن تعادل شیمیایی فنوکریست‌ها با ماگمای سازنده در هنگام خروج گدازه نسبت داد. در سنگ‌های آندزیتی، فراوانی حضور پلاژیوکلاز می‌تواند بیانگر وجود آب (کمتر از ۲/۵ درصد حجمی) در ماگما باشد (Gill, 1981). و علت آن این است که در هنگام فوران ماگمای آندزیتی پلاژیوکلاز فاز لیکیدوس ماگماست. در سنگ‌های داسیتی پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی نوسانی هستند (شکل ۲-B). چنانچه در حین سردشدن مذاب داسیتی آشیانه ماگمایی مورد هجوم ماگمای بازیک قرار گیرد، ابتدا بلورهای پلاژیوکلاز به‌طور بخشی ذوب‌شده و سپس رشد مجدد می‌یابند؛

Archive of SID

www.SID.ir

لذا این بلورها می‌توانند بافت غبارآلود به خود بگیرند (Gill, 1981). بخش‌های غبارآلود حاوی شیشه و پلاژیوکلاز است که بسته به شدت ذوب و ترکیب بلور اولیه ممکن است در مرکز یا حاشیه بلور دیده شوند. بلورهای شفاف موجود در مقاطع مورد بررسی که بدون حاشیه غبارآلود و آثار هضم هستند، بیانگر آن است که به‌طور مستقیم از مذاب مادر متبلور شده و در حین بالا آمدن و سردشدن مذاب باقی‌مانده، در معرض دمای مذاب دیگری قرار نگرفته‌اند. آن‌گونه که در بلورهای پلاژیوکلاز در سنگ‌های تراکی آندزیتی و آندزیتی مورد بررسی دیده می‌شود بعضی منطقه‌بندی عادی و یا نوسانی نشان می‌دهند (شکل ۲-B و D).

پیروکسن یکی دیگر از کانی‌های قابل تشخیص در سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی است (شکل ۲-C). نتایج به‌دست آمده از آنالیز نقطه‌ای بر روی این کانی‌ها بیانگر ترکیب اوژیت و کلینوانستاتیت آنهاست.

فنوکریست‌های آمفیبول با فراوانی ۳ تا ۵ درصد حجمی در نمونه‌های داسیتی، تراکی آندزیتی، آندزیت بازالتی و به‌ویژه آندزیتی آثار تحلیل‌یافتگی و سوختگی را به‌نمایش می‌گذارند (شکل ۲-D). سوختگی حواشی پدیده‌ای است که معمولاً در کانی‌های آبدار (مانند بیوتیت و آمفیبول) موجود در سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شود و اشاره به وقوع واکنش‌های اکسیداسیون و نداشتن تعادل این کانی در محیط‌های آبدار و پر دما دارد. در این سنگ‌ها آمفیبول‌ها در زمینه و هم به‌صورت ادخال در پلاژیوکلازها دیده می‌شوند. آمفیبول‌های زمینه، ریزدانه و سوزنی با چندرنگی قهوه‌ای تا سبز هستند، آمفیبول‌هایی که به‌صورت ادخال در پلاژیوکلازها قرار دارند، تقریباً بی شکل و دارای چندرنگی سبز- آبی هستند که این چندرنگی سبز- آبی می‌تواند بیانگر ترکیب سدیک (Tabatabai Manesh et al., 2010) آنها باشد.

بلورهای الیوین به مقدار تقریبی ۵ درصد حجمی در زمینه سنگ‌های آندزیت بازالتی دیده می‌شوند که البته در اثر شدت تجزیه کاملاً از بین رفته و فقط بخش‌های ناچیزی از آنها باقی‌مانده است. این بلورها در حواشی و امتداد شکستگی‌ها ایدنگزیتی و به اکسید آهن تبدیل شده و اغلب اسکلتی از آنها برجای مانده است. علاوه‌بر دگرسانی ایدنگسیتی، پدیده بولنژیتی (مخلوط گوتیت و کلریت) نیز دیده می‌شود. آثاری از پیروکسن تجزیه‌شده نیز همراه با الیوین قابل مشاهده است (شکل ۲-E).

در برخی مقاطع سنگ‌های داسیتی، کوارتز با فراوانی مودال ۳ تا ۵ درصد حجمی به‌صورت بی‌شکل قابل مشاهده بوده و در بسیاری از موارد دارای حواشی نئومورف هستند. از شکل‌های رایج در این کانی ادخال‌های فراوان و حواشی خلیجی و خورده‌شده است (شکل ۲-F) که می‌توان آن را ناشی از بالا آمدن سریع و کاهش فشار ناگهانی حاکم بر ماگما دانست.

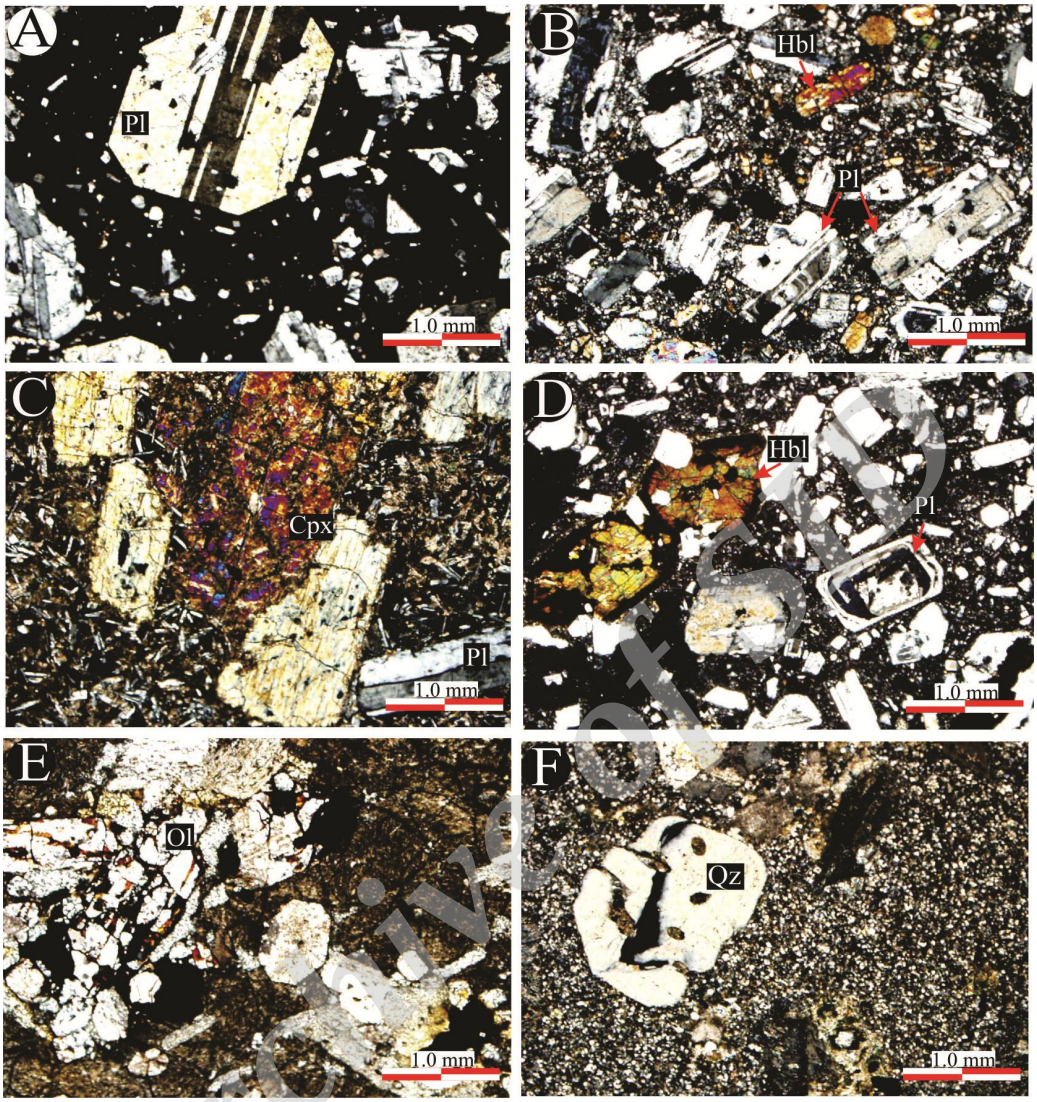
با وجود کانی‌های دما بالا نظیر الیوین، پیروکسن، هورنبلند و نیز مقدار اکسید آلومینیم بالا که در سنگ‌ها تشخیص داده شد؛ چنین به‌نظر می‌رسد که این سنگ‌ها دو پدیده را در تاریخ خود ثبت کرده‌اند، یکی زینولیت‌های دما بالا و دیگری اضافه‌شدن الیوین. فشار بالا ممکن است از حضور فنوکریست‌های پیروکسن با مقدار اکسید آلومینیوم بالا استنتاج شود؛ درحالی‌که علاوه بر فشار عوامل دیگری مانند دما، میزان سردشدن و فعالیت سیلیس می‌تواند آلومینیوم موجود در پیروکسن را متأثر سازد.

ژئوشیمی

نتایج حاصل از شیمی‌کانی پلاژیوکلاز موجود در سنگ‌های مورد بررسی بیانگر دو طیف ترکیبی در پلاژیوکلازهاست (جدول ۱). به‌گونه‌ای که در نمودار Ab-An-Or (Deer et al., 1992) پلاژیوکلاز موجود در نمونه‌های آندزیت بازالتی و تراکی بازالت در محدوده لابرادوریت تا بیتونیت (فقط یک مورد آنورتیت) و در نمونه‌های آندزیتی و تراکی آندزیتی از نوع اولیگوکلاز- آندزین و نیز در نمونه‌های داسیتی- ریوداسیتی وریولیتی از نوع آلبیت- اولیگوکلاز است (شکل ۳-A). این موضوع می‌تواند شاهدی بر تفاوت تهی‌شدگی ماگمای باقی‌مانده از Ca در طول فرآیند تبلور تفریقی در انواع مختلف سنگ‌های منطقه باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. تصاویر میکروسکوپی نمونه‌های انتخابی منطقه فرمهین A: بلورهای اتومورف پلاژیوکلاز، B: بلورهای پلاژیوکلاز با ساختمان زونینگ، C: پیروکسن‌ها در سنگ‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی، D: پلاژیوکلازها با ساختمان زونینگ و آمفیبول‌ها با حواشی سوخته. E: بلورهای الیوین آلترەشده به ایدنگسیت در آندزیت بازالت‌ها و F: بلورهای کوارتز با خوردگی خلیجی. تمامی تصاویر در XPL. Pl=پلاژیوکلاز، Cpx= کلینوپیروکسن، Ol= الیوین، Qtz= کوارتز، Hbl= هورنبلند. علایم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 2. Microscopic images of selected samples from Farmahin area A: Plagioclase mineral with automorphic shape, B: Plagioclase mineral with zoning structure, C: Pyroxenes in andesite and basaltic andesite rocks, D: Plagioclase mineral with zoning structure and amphiboles with opacitized rim, E: Altered olivine to iddingsite in basaltic andesite rocks, and F: Quartz mineral with round embayment. all pictures in XPL (Crossed-polarized light). Pl= Plagioclase, Cpx= Clinopyroxene, Ol= Olivine, Qz= Quartz, Hbl= Hornblande (Mineral abbreviation from Whitney and Evans, 2010)

نتایج حاصل از شیمی کانی پیروکسن موجود در سنگ‌های مورد بررسی در جدول ۲ آمده است. بر اساس نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1988) تمامی کلینوپیروکسن‌ها از نوع اوژیت و کلینوانستاتیت است (شکل ۳-B). در نمودار Q-J (Morimoto et al., 1988) که $Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$ و $J=2Na$ است، این کانی‌ها در محدوده پیروکسن‌های Mg-Fe-Ca(Quad) قرار می‌گیرند (شکل ۳-C). انتقال نتایج بر روی نمودار مجموع $2Ti+Cr+Al^{VI}$ در برابر $Na+Al^{IV}$

Archive of SID

www.SID.ir

(Schweitzer et al., 1978)، نشان می‌دهد که به‌جز سه نمونه، همگی در بالای خط $Fe^{3+}=0$ قرار می‌گیرند (شکل D-۳) و این موضوع نشان‌دهنده فوگاسیته بالای اکسیژن به هنگام تبلور آنهاست (Zarei Sahamieh and Ebrahimi, 2015). شواهد بافتی یادشده در سنگ‌های منطقه به‌ویژه آندزیت‌ها و داسیت‌های کالک‌آلکالن، می‌تواند ناشی از وقوع پدیده اختلاط ماگمایی باشد (Li et al., 2013). این بدان معناست که سنگ‌های آتشفشانی موجود در منطقه که دارای ترکیب حدواسط هستند، ممکن است در نتیجه اختلاط ماگمای بازالتی با ماگمای فلسیک ایجاد شده باشند.

این موضوع قبلاً توسط یوشیدا و همکاران (Yoshida et al., 2013) در مناطق دیگری نیز تأیید شده است. نتایج حاصل از آنالیز شیمی سنگ کل نمونه‌های منطقه فرمهین که شامل مناطق واشقان، قرمز چشمه، سربند و علم باغی است، به‌ترتیب در جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ آمده است.

جدول ۱. نتایج تجزیه نقطه‌ای پلاژیوکلاز در سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین (ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها و فرمول ساختاری بر اساس ۳۲ اتم اکسیژن)

Table 1. Plagioclase EPMA analyses results in volcanic rocks of Farmahin area (Chemical composition of plagioclases and structural formula based on 32 oxygen atoms)

Sample name	SE-4	SE-4	NH-10	NH-10	NH-25	NH-25	AG-23	AG-23	AG-15	AG-15	AG-15
	By	By	By	Lb	Lb	Lb	Ab	Ab	Ab	Olig	Az
SiO_2	48.53	50.1	46.91	50.17	50.94	50.72	67.23	69.01	67.16	53.82	51.85
TiO_2	0.04	0.03	0.01	0.02	0.04	0.03	0.14	0.01	0	0.02	0.02
Al_2O_3	33.22	32.57	34.73	32.09	31.28	31.09	19.16	19.14	21.09	22.10	23.16
Cr_2O_3	0.01	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0
FeO	0.51	0.58	0.44	0.44	0.51	0.53	0	0	0.64	12.83	4.21
MnO	0.01	0.02	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0
MgO	0.05	0	0	0.01	0.01	0	0	0	0	3.91	1.94
CaO	16.35	15.11	17.25	14.29	13.32	13.77	0.25	0.12	0.72	3.06	8.12
Na_2O	2.21	3.02	1.64	3.46	3.58	3.23	12.65	12.13	11.16	4.15	8.03
K_2O	0.05	0.07	0.04	0.11	0.1	0.09	0.62	0.06	1.06	0.35	3.03
F	0	0	0	0.15	0.06	0.22	0	0	0	0	0.01
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.98	101.5	101.04	100.75	99.75	99.69	100.05	100.47	101.83	100.24	100.36
Ions	(Ions based on 32 oxygen atoms)										
Si	8.831	9.038	8.55	8.76	9.921	9.926	2.963	3.004	2.931	2.48	2.280
Ti	0.005	0.003	0.001	0.002	0.005	0.003	0.001	0	0	0.001	0.001
Al	7.112	6.922	7.45	6.6	6.713	6.697	0.996	0.982	1.079	1.203	1.200
Cr	0	0	0.002	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0.067	0.086	0.065	0.063	0.076	0.077	0	0	0.023	0.496	0.155
Mn	0.001	0.002	0	0.001	0	0.001	0	0	0	0	0
Mg	0.01	0	0	0.002	0.002	0	0	0	0	0.269	0.127
Ca	3.184	2.918	3.365	2.67	2.577	2.698	0.012	0.006	0.033	0.151	0.383
Na	0.766	1.041	0.57	1.156	1.261	1.145	1.081	1.024	0.939	0.372	0.685
K	0.01	0.01	0.008	0.021	0,021	0.011	0.035	0.003	0.059	0.021	0.170
Ab	19.34	26.23	4.451	30.05	32.58	29.71	96.12	99.1	91.12	68.35	55.33
An	80.4	73.52	85.34	69.41	66.59	70	1.21	0.9	3.32	27.85	30.92
Or	0.26	0.25	0.21	0.54	0.83	0.29	2.67	0	5.56	3.79	13.73

Olig= Oligoclase, Az= Andesine, Ab= Albite, By= Bytownite, Lb= Labradorite

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج تجزیه نقطه‌ای پیروکسن در سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین (ترکیب شیمیایی پیروکسن و فرمول ساختاری بر اساس ۶ اتم اکسیژن)

Table 2. Pyroxene EPMA analyses results in volcanic rocks of Farmahin area (Chemical composition of pyroxenes and structural formula based on 6 oxygen atoms)

Sample name	NH-25	NH-25	NH-25	NH-25	NH-10	NH-10	AG-15	AG-15	SE-4	SE-4
	Clin-En	Clin-En	Clin-En	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
SiO_2	53.16	53.29	52.7	52.19	50.89	51.06	51.40	51.35	53.22	51.65
TiO_2	0.13	0.13	0.25	0.68	0.7	0.61	0.68	0.59	0.48	0.46
Al_2O_3	1.28	1.31	1.46	2.51	1.98	3.2	3.01	2.89	1.33	1.44
Cr_2O_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
FeO	21.07	20.98	20.25	10.47	10.8	11.12	0.68	10.9	9.54	12.27
MnO	0.79	0.75	0.67	0.39	0.43	0.35	3.01	0.39	0.39	0.57
MgO	23.85	23.37	23.22	15.03	14.32	14	14.09	13.94	15.18	13.67
CaO	1.05	1	1.4	19.36	20.29	20.07	19.89	19.9	20.03	19.85
Na_2O	0	0	0	0	0	0.36	0.40	0.36	0.33	0.31
K_2O	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0	0	0
F	0	0.06	0.08	0	0	0	0.04	0.02	0	0
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	101.33	100.89	100.03	100.63	99.41	100.79	101.04	100.34	100.5	100.24
Ions	(Ions based on 6 oxygen atoms)									
Si	1.948	1.958	1.952	1.933	1.916	1.892	1.91	1.919	1.969	1.948
Ti	0.003	0.004	0.006	0.018	0.02	0.017	0.018	0.016	0.013	0.011
Al^{iv}	0.052	0.042	0.048	0.067	0.084	0.108	0.09	0.018	0.031	0.052
Al^{vi}	0.003	0.014	0.014	0.042	0.004	0.032	0.041	0.044	0.026	0.011
Cr	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.0004
Fe^{+2}	0.580	0.618	0.599	0.325	0.3	0.276	0.022	0.297	0.291	0.325
Fe^{+3}	0.062	0.026	0.027	0	0.04	0.068	0	0.043	0.004	0.060
Mn	0.024	0.022	0.020	0.012	0.014	0.011	0.011	0.011	0.011	0.018
Mg	1.302	1.279	1.279	0.828	0.804	0.773	0.780	0.775	0.836	0.768
Ca	0.039	0.037	0.053	0.768	0.819	0.797	0.791	0.795	0.794	0.8
Na	0	0	0	0	0	0	0.026	0.026	0.022	0.022
K	0	0	0	0	0	0	0.008	0	0	0
Wo	2.07	2.00	2.83	39.96	41.71	41.61	42.69	41.63	41.22	40.97
En	65.84	65.17	65.25	43.17	40.96	40.39	40.98	40.57	43.46	39.25
Fs	32.45	32.82	31.92	16.87	17.33	18.00	16.33	17.80	15.32	19.77

Au= Augite Clin-En= Clinoenstatite

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. نتایج تجریه شیمیایی نمونه‌های منطقه فرمهین- واشقان (عناصر اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 3. Chemical analyses results of samples in Farmahin area-Vasheghan (Major elements based on wt. % and Trace elements based on ppm)

Sample No	SE-4	SE-10	SE-20	SE-23	SE-25	SE-47	SE-53	SE-59	SE-76	SE-77	NH-10	NH-25
SiO_2	61.9	62.53	64.61	63.43	64.48	61.66	64.39	61.62	60.27	60.77	59.88	57.75
TiO_2	0.71	0.63	0.68	0.63	0.57	0.63	0.6	0.73	0.61	0.74	0.69	0.72
Al_2O_3	18.85	18.57	17.88	18.62	17.38	17.92	18.74	18.97	17.11	19.52	17.83	19.23
FeO_t	3.6	1.8	2.75	1.7	2.86	2.88	2.58	3.29	3.02	2.98	1.19	2.59
MnO	0.25	0.18	0.15	0.18	0.16	0.19	0.14	0.19	0.21	0.18	0.23	0.16
MgO	2.21	2.73	1.65	2.47	2.93	2.9	2.58	2.36	2.76	2.15	3.69	2.63
CaO	5.08	5.69	4.55	3.46	3.55	5.93	1.52	4.16	5.42	5.13	9.88	9.93
Na_2O	3.68	3.1	4.03	3.88	3.81	3.59	3.76	3.94	3.49	3.98	2.66	2.96
K_2O	1.25	2.23	2.59	1.88	2.45	2.03	2.93	2.87	2.85	1.77	0.97	1.75
P_2O_5	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.16	0.15
L.O.I.	1.88	2.4	0.42	3.64	1.84	2.5	2.98	1.86	3.8	1.72	2.88	2.72
Total	99.51	100.06	99.51	100.09	100.23	100.43	100.42	100.09	99.74	99.04	100.06	100.59
Ti	6205	5670	5482	5325	5381	5049	4683	5718	5702	6411	6205	6411
Be	1.1	1.6	1.4	1.7	1.6	1.8	1.6	1.3	1.7	1.3	1.1	1.3
V	131.9	105.3	99.7	73.2	99.7	96.3	92.8	118.6	115.1	144.1	131.9	144.1
Ba	279	370	376	461	387	396	348	381	372	314	278.2	312.8
Sr	213	228	215	199	224	219	215	261	235	262	231.1	261.5
Y	22.1	24.8	22.3	15	22.9	30.9	26.9	19.2	33.3	23.4	22.1	23.4
Zr	148	138	120	122	146	152	149	132	157	140	218	216
Cr	32	31	34	31	23	20	35	23	34	28	31	28
Co	31	29	25	27	27	28	23	32	28	30	10.7	10.4
Ni	15	27	6	14	1	8	0	28	0	30	3.7	7.4
Cu	27.4	12.3	19.3	19.2	14.3	12.8	13.1	22.6	22.1	22.8	27.4	22.8
Zn	92	66	112	105	91	80	92	87	73	71	107	86
Ga	21.9	16.1	0.4	16.8	24.9	18.4	15	21.7	25.2	25.5	24.9	28.5
Ge	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	0.9	0.4	1.1	0.8	1.1	0.9	1.1
Rb	116	110	109	103	112	108	107	122	117	122	70.6	77.2
Nb	6	8	7	8	8	9	9	4	8	4	6	4.1
La	10	17	12	11	13	18	14	12	20	11	10	10
Pr	9	6	5	6	8	9	5	7	9	9	8.1	8.8
Nd	26	28	27	26	29	32	31	29	36	26	25.9	26.4
Sm	3	4	4	4	4	8	5	3	6	4	2.8	3.4
Eu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.6	1.1
Ho	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.7	0.7
Er	3	3	3	4	3	4	3	3	5	4	3.2	2.9
Yb	4	4	4	3	4	4	4	4	5	4	3.8	4
Lu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.3	0.3
Hf	4	6	3	6	9	7	7	4	4	4	3.3	4.3
Ta	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.1	0.7
Th	5.4	3.6	6.5	8.5	9.7	9.6	8.4	12.5	14.2	7.4	1.6	7.5
U	3.1	2.6	1.1	2.4	2.9	3.3	1.4	3.6	3	3.4	3.1	3.4
Th/Ta	5.4	3.6	6.5	8.5	9.7	9.6	8.4	12.5	14.2	7.4	1.4	10.7
Ba/La	27.9	21.7	31.3	41.9	29.7	22	24.8	31.7	18.6	28.5	27.8	31.2
Nb/U	1.9	3.1	6.4	3.3	2.8	2.7	6.4	1.1	2.7	1.2	1.9	1.2

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. نتایج تجریه شیمیایی نمونه‌های منطقه فرمهین- قرمز چشمه (عناصر اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 4. Chemical analyses results of samples in Farmahin area-Ghermez Cheshmeh (Major elements based on wt. % and Trace elements based on ppm)

Sample No	AG-21	AG-23	AG-12	AG-7	AG-9	AG-16	AG-13	AG-15	AG-2
SiO_2	69.56	70.8	64.29	71.44	76.09	59.13	55.95	50.48	50.8
TiO_2	0.59	0.45	0.33	0.31	0.36	0.69	0.72	1.15	1.00
Al_2O_3	14.54	12.61	13.84	13.31	14.19	14.87	6.61	13.08	8.2
MgO	0.88	1.85	0.26	0.97	0.2	2.62	3.17	3.16	4.34
CaO	1.1	2.75	6.84	0.71	0.37	4.1	8.53	7.07	7.73
MnO	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.07	0.23	0.18	0.16
FeO^t	2.27	4.62	4.2	4.88	2.52	10.78	12.61	10.97	15.29
Na_2O	3.72	3.36	0.12	3.81	2.8	4.27	2.6	3.69	4.22
K_2O	4.02	0.89	1.09	2.97	1.32	2.63	1.54	1.81	0.97
P_2O_5	0.12	0.1	0.09	0.07	0.09	0.15	0.16	0.34	0.19
L.O.I	2.41	4.98	10.21	2.39	3.48	4.83	6.08	8.44	9.63
Total	99.27	102.46	101.31	100.90	101.45	104.15	98.21	100.38	102.53
Ti	7.43	5.64	4.14	3.98	4.5	8.68	9.1	14.49	12.53
Be	2	2	1	1	<1	2	1	1	1
V	71	49	26	26	25	119	138	324	182
Ba	348.2	376.4	318.5	394.2	337.2	439.3	386	379	257.4
Sr	225	248.7	203.2	205.5	266	234.2	232.1	242	189
Y	28.2	22.5	30.4	20.2	24.6	15.4	21.8	26.5	23.7
Zr	131	126	127	145	116	133	127	142	179
Cr	<20	<20	<20	<20	<20	<20	60	<20	50
Co	6	10	1	3	<3	14	18	32	21
Ni	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20
Cu	60	170	30	60	40	40	40	270	80
Zn	40	<30	<30	40	<30	70	60	90	270
Ga	16	14	16	15	15	17	16	18	17
Ge	1	1	2	1	2	1	2	2	1
Rb	125	30	35	76	47	77	28	47	36
Nb	13	9	6	6	7	9	8	4	9
La	30.9	25.5	19.5	23.2	20.2	25.5	21.5	10.3	20
Pr	7.04	5.9	4.17	4.95	4.41	6.18	5.28	3.68	4.94
Nd	26.2	22.8	15.5	18.3	16.6	24.2	21.1	18.1	19.9
Sm	4.9	4.5	3.5	4	3.3	5.2	4.5	5.2	4.7
Eu	1.01	0.86	0.77	0.76	0.53	1.08	1.03	1.48	1.14
Ho	1	0.9	0.8	0.9	0.7	1	0.8	1.3	1
Er	2.9	2.9	2.5	2.8	2.1	2.7	2.4	3.8	2.8
Yb	3.1	3	2.6	3.2	2.4	2.7	2.5	4	2.7
Lu	0.53	0.5	0.48	0.57	0.51	0.48	0.45	0.63	0.5
Hf	7.3	6.1	3.7	3.6	4.4	5.4	3.9	2.9	4.1
Ta	1.1	0.9	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7	0.3	0.6
Th	13.7	12.4	8.1	8.9	9.1	9.9	7.6	1.6	6.4
U	3.8	4.5	2	3	2.5	3.1	2.7	0.5	2
Th/Ta	12.4	13.7	13.5	14.8	13	12.3	10.8	5.3	10.6
Ba/La	11.2	14.7	16.3	16.9	16.6	17.2	17.9	36.7	12.8
Nb/U	3.4	2.0	3.0	2.0	2.8	2.9	3.0	8.0	5.4

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۵. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های منطقه فرمهین- سربند (عناصر اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 5. Chemical analyses results of samples in Farmahin area-Sar Band (Major elements based on wt. % and Trace elements based on ppm)

Sample No	NH-1	NH-2	NH-4	NH-6	NH-9	NH-16	NH-19	NH-22	NH-23	NH-27
SiO_2	58.88	61.51	63.59	60.41	64.46	60.64	64.37	59.60	60.25	58.75
TiO_2	0.69	0.61	0.66	0.61	0.55	0.51	0.58	0.71	0.59	0.72
Al_2O_3	17.83	17.55	17.86	18.50	16.36	16.90	16.72	18.95	16.09	19.23
FeO^t	6.99	5.33	5.25	5.25	5.30	5.36	5.33	6.89	5.77	7.08
MnO	1.69	1.21	1.13	1.55	1.41	1.20	1.49	1.84	1.49	1.63
MgO	0.23	0.16	0.13	0.16	0.14	0.17	0.12	0.17	0.19	0.16
CaO	7.81	7.12	6.33	6.04	6.28	8.71	6.27	6.91	8.15	7.70
Na_2O	2.66	2.90	3.01	2.76	2.79	2.57	2.74	2.92	2.47	2.96
K_2O	0.97	1.21	1.22	0.86	0.90	1.01	0.91	0.85	0.83	0.75
P_2O_5	0.16	0.21	0.20	0.22	0.19	0.21	0.20	0.16	0.18	0.15
L.O.I.	1.88	2.00	0.42	3.44	1.42	2.50	0.98	0.86	3.80	0.72
Total	99.88	99.82	99.79	99.80	99.79	99.77	99.72	99.85	99.79	99.84
Ti	6205.4	5670.4	5482.4	5325.0	5381.3	5049.5	4682.5	5718.3	5702.1	6410.6
Be	1.1	1.6	1.4	1.7	1.6	1.8	1.6	1.3	1.7	1.3
V	131.9	105.3	99.7	73.2	99.7	96.3	92.8	118.6	115.1	144.1
Ba	278.2	369.3	375.7	460.6	384.9	393.9	347.5	380.3	369.9	312.8
Sr	231.1	227.6	214.8	198.8	224.0	219.2	214.8	260.8	234.8	261.5
Y	22.1	24.8	22.3	15.0	22.9	30.9	26.9	19.2	33.3	23.4
Zr	218.4	208.4	189.8	191.8	216.6	224.1	220.4	202.6	227.6	216.0
Cr	31.0	30.9	34.1	30.7	23.2	19.6	34.0	23.0	23.5	28.0
Co	10.7	8.6	4.9	6.8	7.2	8.3	2.9	11.8	8.2	10.4
Ni	3.7	6.7	1.3	3.4	0.0	1.9	<0.5	6.8	<0.5	7.4
Cu	27.4	12.3	19.3	19.2	14.3	12.8	13.1	22.6	22.1	22.8
Zn	54	87	109	122	94	89	92	82	76	69
Ga	24.9	19.1	23.4	19.8	27.9	21.4	18.0	24.7	28.2	28.5
Ge	0.9	0.7	0.6	0.7	0.9	0.9	0.4	1.1	0.8	1.1
Rb	70.6	64.4	64.1	57.5	66.6	63.5	62.1	76.5	71.2	77.2
Nb	6.0	7.9	6.8	7.4	7.6	8.0	7.8	3.4	7.6	4.1
La	9.5	17.3	12.2	10.4	13.1	17.9	14.0	11.6	20.0	10.8
Pr	8.1	6.2	5.0	5.7	7.6	8.4	4.9	7.3	8.9	8.8
Nd	25.9	27.7	26.9	25.8	28.4	31.7	31.6	28.0	36.4	26.4
Sm	2.8	3.5	3.3	3.3	3.5	4.8	4.4	2.9	5.9	3.4
Eu	0.6	1.2	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	0.9	1.4	1.1
Ho	0.7	0.6	0.5	0.5	0.7	0.8	0.5	0.7	0.8	0.7
Er	3.2	2.3	3.0	3.8	2.0	3.7	2.7	2.5	5.2	2.9
Yb	3.8	3.5	3.4	2.5	3.9	4.3	3.9	3.5	4.8	4.0
Lu	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3
Hf	4.3	6.3	2.6	6.2	9.1	6.9	6.7	4.0	3.5	4.3
Ta	1.1	0.4	0.4	0.9	0.7	0.8	0.8	1.3	1.2	0.7
Th	7.5	5.2	8.5	4.2	9.4	10.6	7.4	11.2	13.5	9.4
U	3.1	2.6	1.1	2.4	2.9	3.3	1.4	3.6	3.0	3.4
Th/Ta	6.8	13	21.2	4.6	13.4	13.2	9.2	8.6	11.2	13.4
Ba/La	29.3	21.3	30.8	44.3	29.4	22.0	24.8	32.8	18.5	29.0
Nb/U	1.9	3.0	6.2	3.1	2.6	2.4	5.6	0.9	2.5	1.2

Archive of SID

www.SID.ir

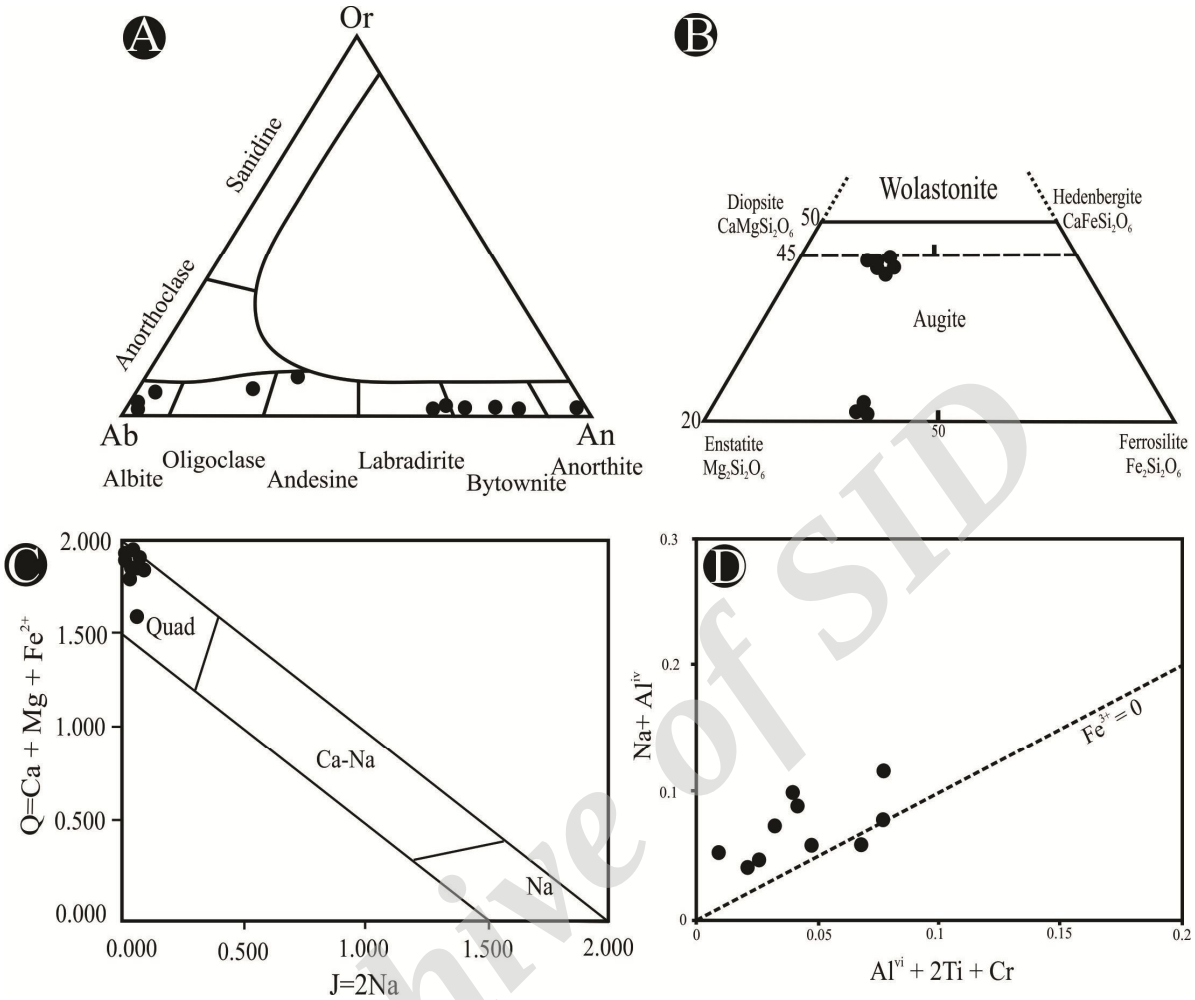
جدول ۶. نتایج تجریه شیمیایی نمونه‌های منطقه فرمهین- علم باغی (عناصر اصلی برحسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 6. Chemical analyses results of samples in Farmahin area-Alam Baghi (Major elements based on wt. % and Trace elements based on ppm)

Sample No	BS-2	BS-4	BS-6	BS-8	BS-10	BS-13	BS-17	BS-20	BS-24	BS-28
SiO_2	73.4	73.0	72.5	54.9	66.0	70.0	75.8	68.9	70.2	56.9
TiO_2	0.3	0.3	0.3	0.6	0.7	0.5	0.4	0.6	0.5	0.8
Al_2O_3	13.7	14.1	14.7	12.6	14.3	14.7	14.0	16.0	11.0	16.3
FeO^t	1.9	2.4	2.4	6.5	3.5	3.9	0.7	3.3	5.1	7.7
MnO	0.1	-	-	0.5	0.1	-	-	-	0.1	0.2
MgO	1.3	1.3	1.4	3.0	0.9	1.6	0.8	1.4	2.0	3.4
CaO	0.5	0.8	0.9	14.5	3.5	0.9	0.4	0.6	3.7	9.1
Na_2O	3.1	2.7	2.7	3.2	3.9	3.9	7.2	3.8	2.4	2.0
K_2O	3.4	3.9	3.8	1.6	2.8	3.3	0.2	4.7	0.9	0.5
P_2O_5	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.1	0.1
L.O.I.	2.1	1.3	1.2	2.3	3.9	0.9	0.3	0.6	3.9	3.1
Total	99.86	99.86	99.84	99.81	99.77	99.82	99.87	99.95	99.87	99.88
Ti	2324.3	1900.6	2257.7	3385.7	5830.5	5327.2	3410.7	4559.1	3544.9	6394.9
Be	1.7	1.5	1.8	1.4	2.0	2.3	1.6	2.4	0.9	1.2
V	37.8	56.7	53.7	73.1	79.4	78.4	46.9	46.1	66.6	144.6
Ba	480.2	545.2	437.0	184.3	430.2	688.4	54.3	672.7	50.9	115.7
Sr	63.6	67.6	52.1	70.9	103.9	102.7	36.6	41.6	63.4	261.7
Y	10.6	14.3	13.6	21.4	25.2	9.2	17.2	15.1	14.9	22.4
Zr	89.7	83.7	98.2	288.8	319.5	140.5	182.3	259.0	119.1	200.2
Cr	46.9	49.3	94.8	29.4	55.0	28.0	35.6	22.0	41.6	73.7
Co	3.6	3.2	2.9	11.6	6.0	8.5	3.7	3.5	13.8	28.4
Ni	<0.5	<0.5	<0.5	8.0	5.2	5.5	0.6	3.8	6.9	26.0
Cu	4.7	4.6	6.1	10.3	29.5	9.1	<0.6	3.5	41.7	46.0
Zn	54.8	40.2	48.9	56.5	209.5	125.7	50.8	121.4	57.7	240.2
Ga	15.1	13.6	14.9	10.5	13.2	18.7	11.7	21.3	9.3	27.0
Ge	<0.1	<0.1	1.4	0.5	2.3	1.9	1.2	1.9	0.7	1.2
Rb	23.1	22.1	18.4	24.7	32.0	32.7	14.5	13.4	17.3	80.0
Nb	6.0	4.0	4.8	7.8	11.9	14.5	15.5	13.5	4.2	4.4
La	11.4	18.5	15.0	20.3	19.7	12.5	26.2	12.1	10.0	8.6
Pr	7.8	6.7	6.6	11.8	10.1	11.6	9.9	13.0	7.4	10.6
Nd	17.3	18.8	18.8	33.2	28.2	18.2	26.3	19.2	25.4	26.2
Sm	2.8	3.5	3.3	3.3	3.5	4.8	4.4	2.9	5.9	3.4
Eu	1.0	0.6	0.4	1.0	1.0	0.6	0.7	1.1	1.3	0.9
Ho	0.5	0.5	0.4	1.0	0.7	0.7	0.5	0.8	0.7	0.9
Er	2.0	2.5	3.6	3.4	5.4	2.0	2.3	2.6	2.6	4.3
Yb	1.3	1.7	1.6	2.5	2.5	1.3	1.7	1.8	1.7	2.9
Lu	0.1	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4
Hf	5.1	4.6	5.4	7.1	4.9	5.1	5.2	6.7	4.8	3.3
Ta	1.0	0.8	0.9	1.0	1.2	0.7	0.9	1.2	1.2	1.1
Th	5.0	8.4	4.1	8.8	8.3	6.6	3.4	6.7	5.5	9.8
U	1.2	1.4	1.4	3.7	2.1	2.2	2.4	1.8	2.7	5.5
Th/Ta	5	10.5	4.5	8.8	6.9	9.4	3.7	5.5	4.53	8.9
Ba/La	42.1	29.5	29.1	9.1	21.8	55.1	3.1	55.6	5.1	13.5
Nb/U	5.0	2.9	3.4	2.1	5.7	6.6	6.6	7.5	1.6	0.8

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳. A: نمودار سه‌تایی Ab-An-Or (Deer et al., 1992) پلاژیوکلازها، B: نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1988) پیروکسن‌ها، C: نمودار $Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$ در مقابل J=2Na پیروکسن‌ها و D: نمودار $2Ti+Cr+Al^{VI}$ در برابر $Na+Al^{IV}$ پیروکسن‌ها (Schweitzer et al., 1978)

Fig. 3. A: Ab-An-Or trilateral diagram (Deer et al., 1992) of plagioclases, B: Wo-En-Fs trilateral diagram (Morimoto et al., 1988) of pyroxenes, C: $Q=Ca+Mg+Fe^{2+}$ *vs.* J=2Na diagram of pyroxenes, and D: $2Ti+Cr+Al^{VI}$ *vs.* $Na+Al^{IV}$ diagram (Schweitzer et al., 1978) of pyroxenes.

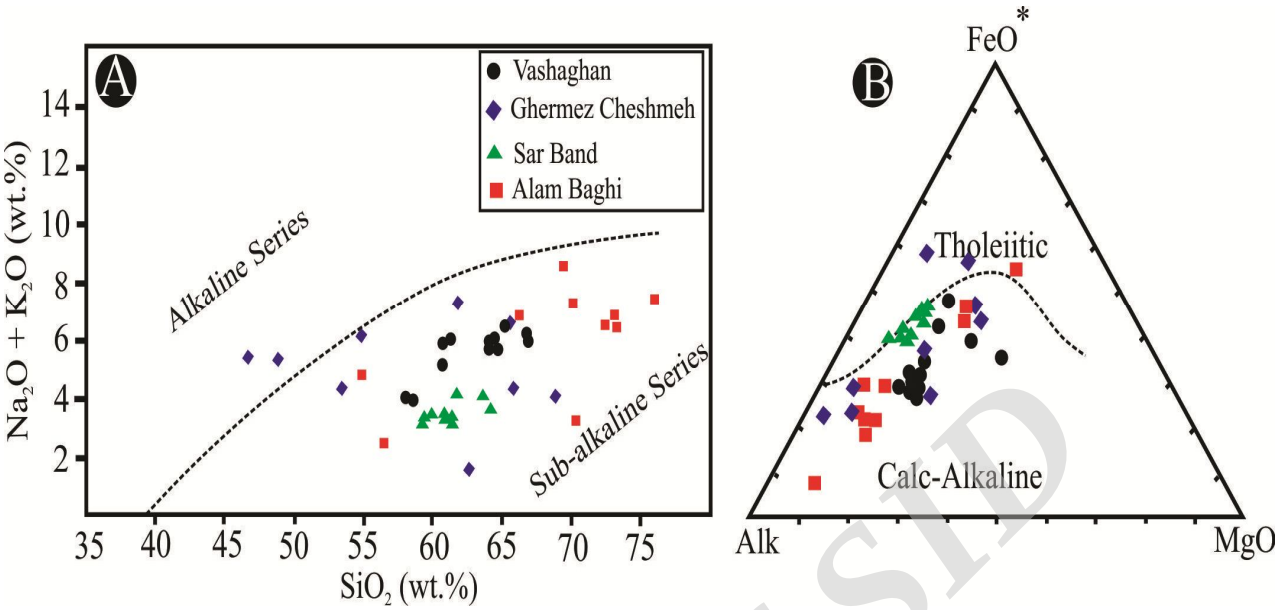
برای طبقه‌بندی و شناسایی سنگ‌های مورد بررسی از نمودارهای متعددی استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از انتقال داده‌های ژئوشیمیایی سنگ کل بر روی نمودار مجموع آلکالی در برابر سیلیس (Irvine and Baragar, 1971)، بیانگر گروه ماگمایی ساب‌آلکالن نمونه‌هاست (شکل ۴-A).

پس از قرارگیری نمونه‌های سنگی در محدوده ساب‌آلکالن، انتقال نتایج بر روی نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) ماهیت کالک‌آلکالن ماگمای سازنده مجموعه مورد بررسی را آشکار کرد (شکل ۴-B).

بر اساس نمودار TAS (Le Bas et al., 1986)، از لحاظ ترکیبی نمونه‌های مناطق مختلف دارای ترکیب سنگ‌شناسی متنوعی هستند؛ به‌طوری‌که در منطقه واشقان و سربند از نوع داسیت تا آندزیت، در منطقه قرمز چشمه تراکی آندزیت، تراکی بازالت ،آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت هستند و در منطقه علم‌باغی ترکیب ریولیت، داسیت و آندزیت بازالتی دارند (شکل ۵-A).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۴. A: نمودار مجموع آلکالی در مقابل سیلیس (Irvine and Baragar, 1971)، B: در نمودار AFM (Irvine and Baragar,1971) سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین در محدوده دسته سنگ‌های کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند.

Fig. 4. A: $Na_2O + K_2O$ *vs.* SiO_2 diagram (Irvine and Baragar, 1971), and B: In AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971) volcanic rocks of Farmahin area located in calc-alkaline field.

برای اطمینان از بی‌تحرکی عناصر استفاده شده در نمودار TAS و تأیید درستی نام‌گذاری نمونه‌هایی که در این نمودار به انجام رسیدند، نتایج آنالیز به نمودار Nb/Y-Zr/TiO_2 (Winchester and Floyd, 1977) نیز منتقل شد و نتایج به‌دست آمده طبق شکل ۵-B، بیانگر ترکیب داسیت، ریوداسیت، آندزیت و آندزیت بازالتی نمونه‌هاست.

از لحاظ میزان Al، انتقال نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌ها بر روی نمودار A/NK در مقابل A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989)، نشان می‌دهد که نمونه‌ها اغلب ماهیت متاآلومین دارند و تعدادی نیز دارای ماهیت پرآلومین هستند(شکل ۶).

برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین از نمودارهای متعددی استفاده شده است. نتایج حاصل از انتقال آنالیز شیمی سنگ‌ها بر روی نمودارهای متمایزکننده محیط‌های زمین‌ساختی از جمله نمودار Nb/Zr در مقابل Zr، نمودار Nb در مقابل Y و نمودار Rb در مقابل Y+Nb (شکل ۷-A، B و C) (Pearce et al., 1984)، به‌ترتیب نشان‌دهنده وابستگی نمونه‌های منطقه فرمهین به محیط‌های فروارنش و کمان‌های آتشفشانی است.

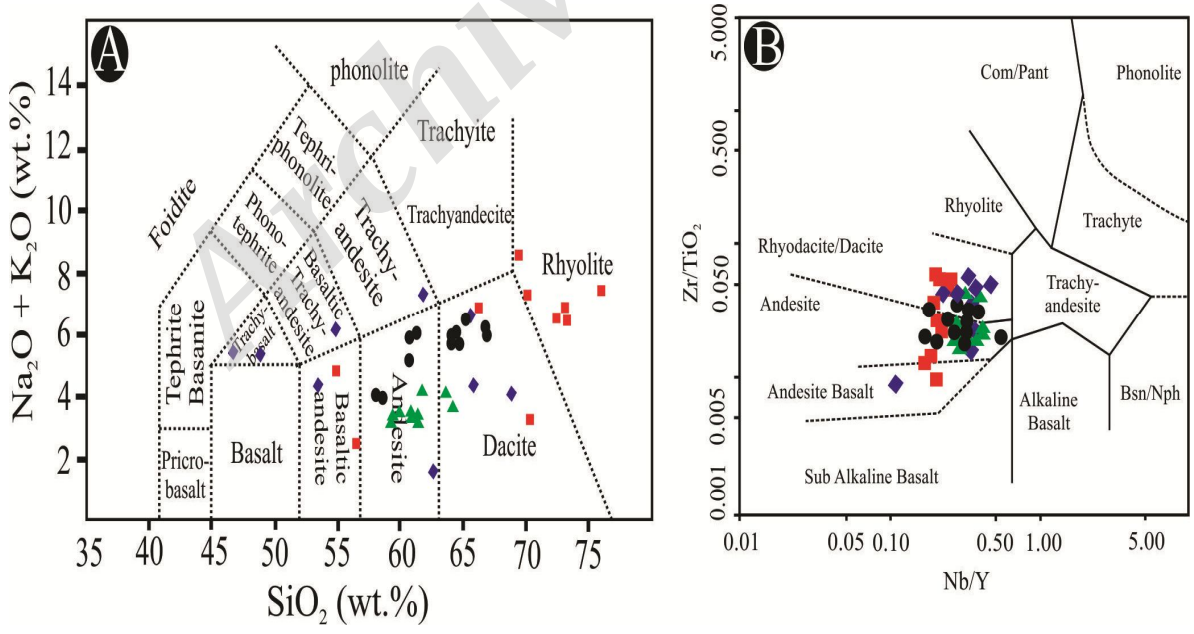
به عقیده وود و همکاران (Wood et al., 1979)، سنگ‌های تشکیل‌شده در کمان‌های قاره‌ای دارای نسبت Th/Ta بزرگتر از ۲ است. این نسبت برای سنگ‌های منطقه واشقان در حدود ۳/۶ تا ۱۴/۲، منطقه قرمز چشمه در حدود ۵/۳ تا ۱۴/۸، منطقه سربند در حدود ۴/۶ تا ۲۱/۲ و منطقه علم باغی در حدود ۳/۷ تا ۱۰/۵ متغیر است. همچنین به اعتقاد آرکولوس و پاول (Arculus and Powell,1986)، سنگ‌های کمان قاره‌ای دارای نسبت Ba/La بزرگتر از ۳ است که این نسبت در سنگ‌های منطقه واشقان از ۲۱/۷ تا ۴۱/۹، منطقه قرمز چشمه از ۱۱/۲ تا ۳۶/۷، منطقه سربند از ۱۸/۵ تا ۴۴/۳ و منطقه علم باغی از ۳/۱ تا ۵۵/۶ متغیر است (جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

از طرفی میانگین تغییرات نسبت Nb/U بازالت‌های اقیانوسی (MORB و OIB)، به‌ترتیب برابر ۵±۲۵ و ۷±۴۷ است (Xu et al., 2005) که این مقادیر از مقدار میانگین نسبت Nb/U نمونه‌های مورد بررسی (با میانگین ۳/۹) بسیار بالاتر است (جدول‌های ۳، ۴، ۵ و ۶).

Archive of SID

www.SID.ir

از نمودار Sm/Yb در مقابل Sm (Aldanmaz et al., 2000) که برای تعیین منشأهای گارنت و اسپینل لرزولیت ارائه‌شده است، برای محاسبه میزان ذوب‌بخشی نمونه‌های مورد بررسی استفاده شده است. از آنجا که La و Sm به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر تغییرات کانی‌شناسی ناحیه منشأ (برای مثال گارنت یا اسپینل) قرار نمی‌گیرند؛ می‌توانند اطلاعاتی را از ترکیب شیمیایی ناحیه منشأ فراهم کنند. Yb سازگار با گارنت و ناسازگار با کلینوپیروکسن است. از این‌رو، این نسبت‌ها را می‌توان برای تمایز منشأ گارنت و اسپینل لرزولیت به‌کار برد (Aldanmaz et al., 2000). هنگامی که یک منشأ اسپینل لرزولیت تحت ذوب‌بخشی قرار می‌گیرد، گوشته و مذاب تولیدشده، نسبت‌های Sm/Yb یکسانی خواهند داشت (درحالی‌که نسبت‌های La/Sm با افزایش درجه ذوب‌بخشی کاهش می‌یابد)، بنابراین ذوب یک منشأ اسپینل لرزولیت، روند ذوب افقی ایجاد خواهد کرد که در داخل یا نزدیک به ردیف گوشته توسط ترکیبات گوشته مورب تهی‌شده DMM یا گوشته اولیه PM قرار خواهند گرفت. در مقابل ذوب‌بخشی با درجات کم یا متوسط یک منشأ گارنت لرزولیت (با گارنت باقی‌مانده) مذاب‌هایی را تولید می‌کند که به‌طور قابل‌توجهی دارای نسبت‌های بالاتر Sm/Yb از ناحیه منشأ گوشته است و در نتیجه روند ذوب آن بالاتر از ردیف گوشته قرار می‌گیرد (Aldanmaz et al., 2000). با توجه به شکل ۸-A، B، C و D همه نمونه‌های مورد بررسی که به تفکیک هر منطقه در نمودار Sm/Yb در مقابل Sm قرار گرفته‌اند، ترکیبی مشابه با مذاب‌های مشتق‌شده از گوشته غنی‌شده دارند که با درجات متفاوت ذوب‌بخشی از یک منشأ اسپینل لرزولیت تا اسپینل-گارنت لرزولیت به‌وجود آمده‌اند. در شکل ۸، به‌ترتیب نمونه‌های تمامی مناطق با درجه ذوب‌بخشی بین ۱۰تا ۲۰ درصد در قلمرو اسپینل لرزولیت (مناطق واشقان و سربند، شکل ۸-A و C) تا گارنت-اسپینل لرزولیت (مناطق قرمز چشمه و علم‌باغی (شکل ۸-B و D)) قرار می‌گیرند.

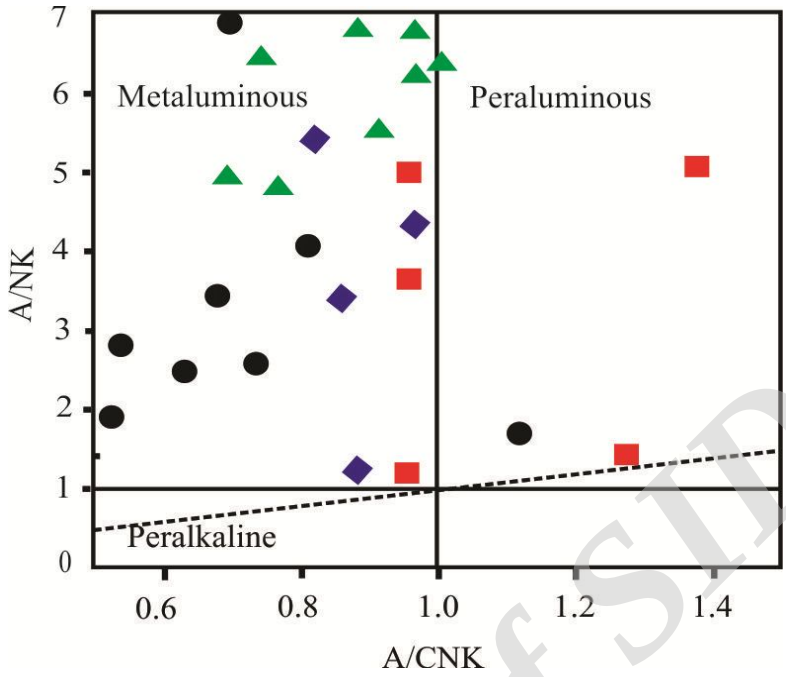


شکل ۵. A: نمودار TAS (Le Bas et al., 1986) برای نمونه‌های منطقه فرمهین. B: در نمودار Zr/TiO_2- Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977) سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین اغلب در میدان داسیت/ ریوداسیت، آندزیت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند. علایم مشابه شکل ۴

Fig. 5. A: TAS diagram (Le Bas et al., 1986) for Farmahin area sample, and B: In Nb/Y - Zr/TiO_2 diagram (Winchester and Floyd, 1977) Farmahin volcanic rocks mostly located inDacite/Rhyodacite, Andesite and Andesite Basalt field. Symbols similar to Fig. 4

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶. نمودار A/NK در مقابل A/CNK (Maniar and Piccoli, 1989)، طبق این نمودار اغلب سنگ‌های آتشفشانی فرمهین متاآلومین و تعداد کمی ماهیت پرآلومین را نشان می‌دهند. علایم مشابه شکل ۴

Fig. 6. According to A/CNK *vs.* A/NK diagram (Maniar and Piccoli, 1989) most of volcanic rocks of Farmahin show metaluminous and few samples show peraluminous nature. Symbols similar to Fig. 4

نمودارهای عنکبوتی بهنجارشده با مورب برای سنگ‌های منطقه مورد بررسی در شکل ۹ ارائه شده است. به عقیده بسیاری از محققان ویژگی‌هایی نظیر غنی‌شدگی عناصر ناسازگاری مانند K, Rb, Sr, Ba و Th و LREEها و نیز آنومالی منفی متوسط تا زیاد عناصری مانند Ti, Eu, Nb و HREE(Yb)، در این نمودارها علاوه بر سازگاری با ویژگی‌های حاکم بر پوسته زیرین می‌تواند بیانگر آلودگی ماگما با پوسته بالایی در طی تحولات ماگمایی و یا حضور متشکله‌های فرورونده مانند سیالات یا مذاب‌های حاصل از رسوبات فرورو باشد. این موضوع از ویژگی‌های شاخص سنگ‌های آتشفشانی وابسته به کمان‌های ولکانیکی به‌شمار می‌رود (Kurkcuoglu, 2010; Temel et al., 1998).

به اعتقاد این پژوهشگران در نمودارهای عنکبوتی بهنجارشده با مورب، تهی‌شدگی عناصر از سمت چپ به راست نمودار از ویژگی‌های شاخص مناطق کوه‌زایی بوده و غنی‌شدگی LREEها (بین ۱۰ تا ۱۰۰ برابر) در دسته‌های کالک‌آلکالن امری عادی است.

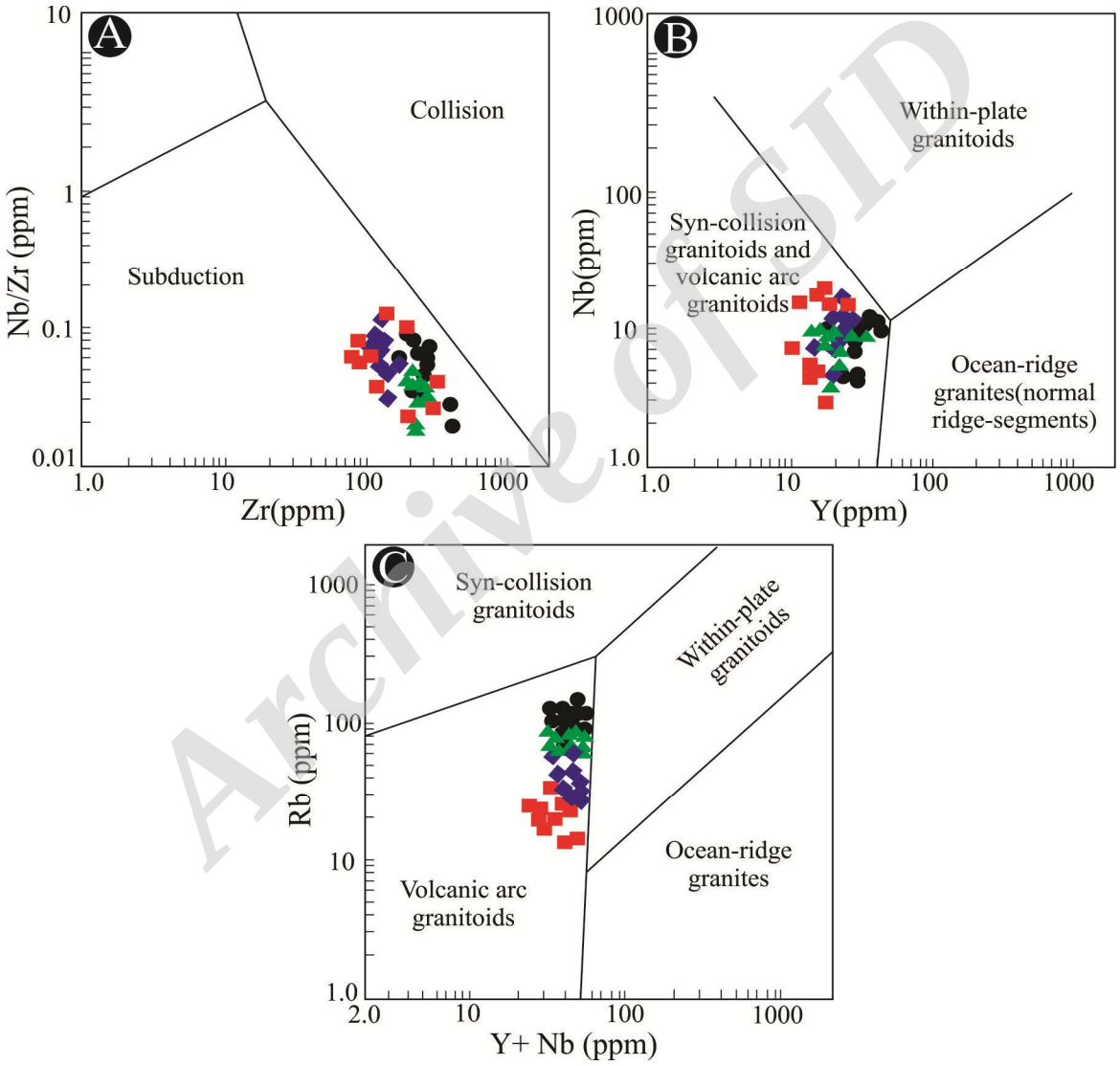
با توجه به شکل ۹-A، B، C و D غنی‌شدگی LILEها (به‌جز استرانسیم) به‌وضوح مشخص است، تهی‌شدگی استرانسیم در نمونه‌های سنگی منطقه می‌تواند ناشی از جانشینی آن با Ca و K در فلدسپات‌ها باشد. آنومالی P توسط آپاتیت و رفتار Rb و Ba نیز در این گروه از سنگ‌ها با رفتار K کنترل می‌شود. آنومالی مثبت K با گدازه‌های حاصل از پوسته زیرین سازگار است. همه این موارد در سنگ‌ها به‌علاوه آنومالی مثبت Rb و آنومالی منفی Nb و Ti مشاهده شده بیانگر آن است که ماگمای تولیدکننده آنها ضمن صعود، احتمالاً متحمل پدیده آلایش پوسته‌ای شده و سنگ‌های تولیدشده را به حواشی فعال قاره نسبت می‌دهد (Temel et al., 1998).

از طرفی آنومالی منفی Nb در نمودارهای چندعنصری بهنجارشده یکی از شاخص‌های مناسب برای تعیین میزان

Archive of SID

www.SID.ir

آلودگی با سنگ‌های پوسته قاره‌ای است و می‌تواند نشان‌دهنده شرکت احتمالی پوسته در فرآیندهای ماگمایی باشد. علاوه‌بر آن، شکل‌گیری آنومالی منفی یادشده توسط آمفیبول کنترل می‌شود که خود یکی از کانی‌های مهم در گوشته است (Ionov and Hoffmann, 1995). همچنین با توجه به این نکته که هر محصول ماگمایی مشتق‌شده از یک منشأ گوشته‌ای تهی‌شده بدون هیچ آلودگی پوسته‌ای باید یک الگوی عناصر ناسازگار مسطح از خود نشان دهد(Rollinson, 1993)، غنی‌شدگی عناصر ناسازگار و LILEها همچون Ba، K و Rb در نمونه‌های مورد بررسی، احتمالاً در نتیجه آلودگی مذاب با پوسته قاره‌ای است که ماگمای سازنده سنگ‌ها در مسیر صعود به سطوح بالای پوسته دچار آن شده است (Riecker et al., 2013).



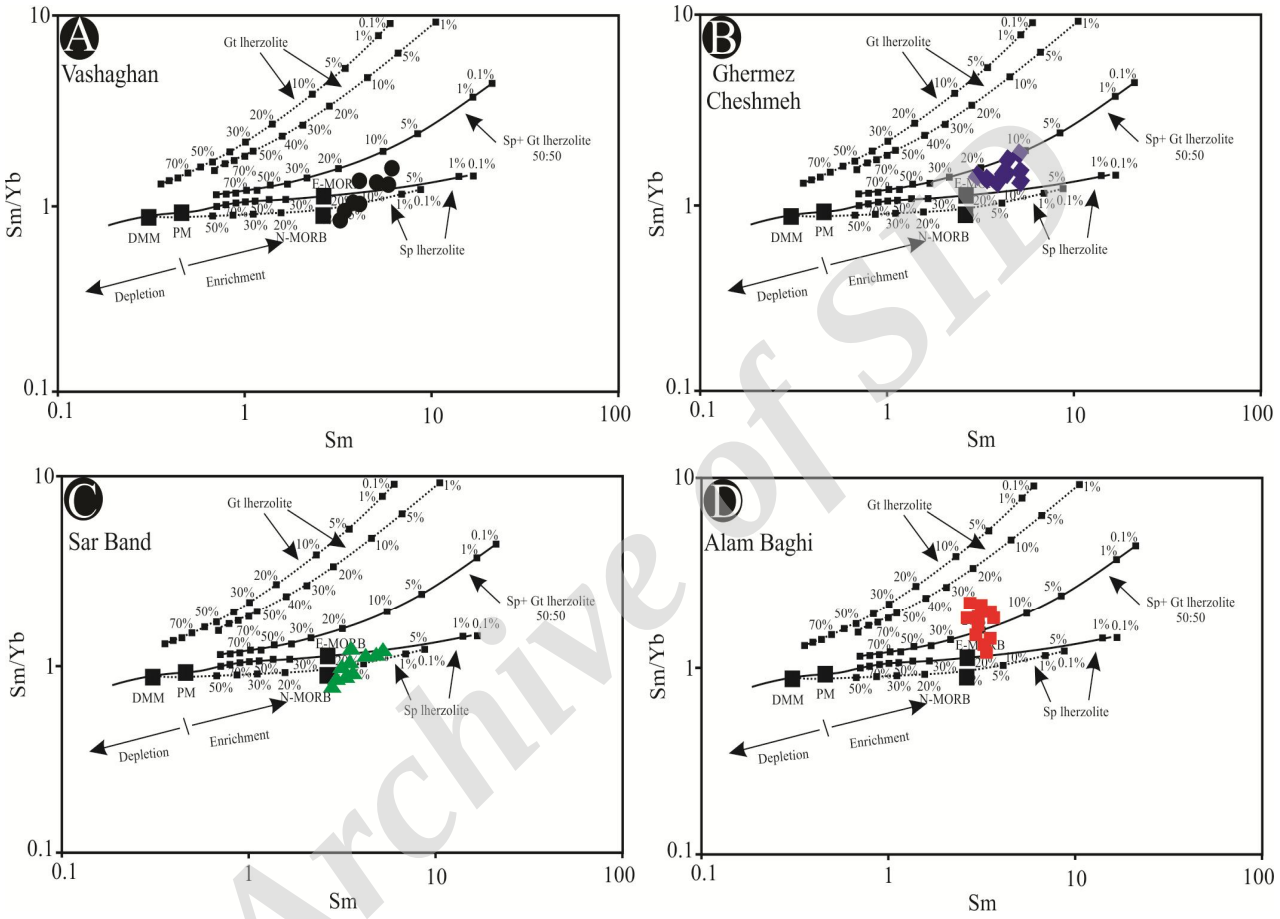
شکل ۷. A: نمودار Nb/Zr در مقابل Zr، B: نمودار Nb در مقابل Y و C: نمودار Rb در مقابل Y + Nb (Pearce et al., 1984) برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه فرمهین. طبق این نمودارها تمامی نمونه‌های منطقه فرمهین وابسته به محیط‌های فرورانش و کمان آتشفشانی هستند. علایم مشابه شکل ۴

Fig. 7. A: Nb/Zr vs. Zr diagram, B: Nb vs. Y diagram, and C: Rb vs. Y + Nb diagram (Pearce et al., 1984) for volcanic rocks of Farmahin area. Fields are after Pearce et al., (1984). According to these diagrams, all of Farmahin samples are related to subduction and volcanic arc environment. Symbols similar to Fig. 4

Archive of SID

www.SID.ir

غنی‌شدگی از LREEها نسبت به HREEها می‌تواند شواهدی از حضور یا عدم حضور گارنت در منشأ نیز در اختیار قرار دهد. بر اساس نظر رولینسون(Rollinson, 1993)، غنی‌شدگی در LREEها نسبت به HREEها مشابه آنچه که در تمامی نمونه‌های مورد بررسی در منطقه فرمهین دیده می‌شود، می‌تواند نتیجه پایداری یا نبود گارنت در منشأ باشد که با حفظ HREE در ساختمان خود تهی‌شدگی این عناصر در ماگمای تولیدشده را موجب شده‌اند.



شکل ۸. A: نمودار نسبت Sm /Yb در برابر Sm برای نمونه‌های واشقان، B: نمودار نسبت Sm /Yb در برابر Sm برای نمونه‌های قرمز چشمه، C: نمودار نسبت Sm /Yb در برابر Sm برای نمونه‌های سربند و D. نمودار نسبت Sm /Yb در برابر Sm برای نمونه‌های علم باغی. نمودار از آلدانماز و همکاران (Aldanmaz et al., 2000)، DMM= Depleted MORB Mantle و PM= Primitive Mantle. علایم مشابه شکل ۴

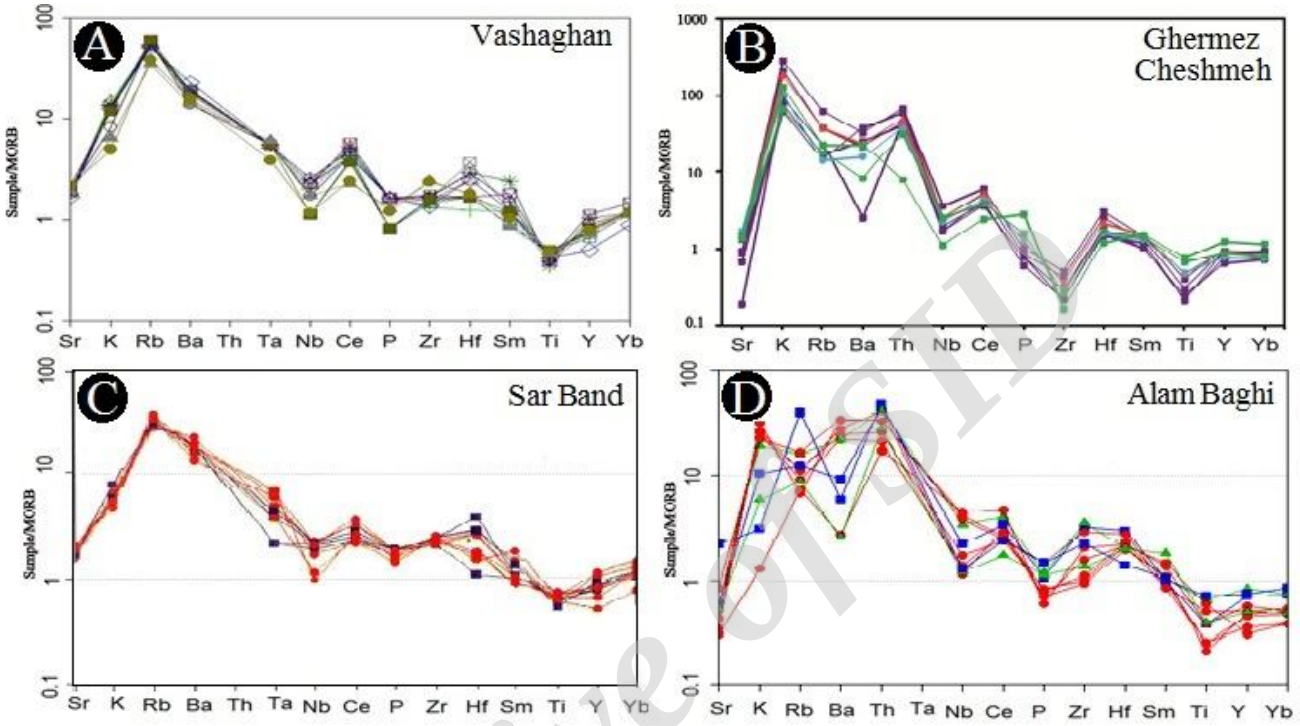
Fig. 8. A: Sm /Yb *vs.* Sm diagram for Vashaghan samples, B: Sm /Yb *vs.* Sm diagram for Ghermez Cheshmeh samples, C: Sm /Yb *vs.* Sm diagram for Sar Band samples, and D: Sm /Yb *vs.* Sm diagram for Alam Baghi samples. Diagram from (Aldanmaz et al., 2000). DMM= Depleted MORB Mantle and PM=Primitive Mantle. Symbols similar to Fig. 4

بر همین اساس، تهی‌شدگی موجود در HREEهای منطقه را می‌توان نتیجه پایداری یا نبود گارنت در منشأ ماگمای سازنده سنگ‌های مورد بررسی دانست. همچنین در این نمودارها شاخصه غنی‌شدگی از LILE و تهی‌شدگی از HFSE نمونه‌های مورد بررسی را می‌توان به عنوان ویژگی برجسته سنگ‌های آتشفشانی وابسته به کمان آتشفشانی به‌شمار آورد (شکل ۷) چرا که، غنی‌شدگی LILEs (Rb, K, Th) و LREEs(La, Ce, Nd) نسبت به HFSEs(Yb, Y, Sm) از ویژگی محیط‌های مرتبط با فرورانش Zr, Hf, Ta, Nb به‌شمار می‌آید (Rollinson, 1993; Temel et al., 1998;

Archive of SID

www.SID.ir

Yoshida et al., 2013). تشابه الگوی REEها در همه نمونه‌های مناطق واشقان، قرمز چشمه، سربند و علم باغی نشانه وجود خاستگاهی مشترک برای آنهاست (شکل ۹-A، B، C و D).



شکل ۹. A: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجارشده نسبت به مورب برای نمونه‌های واشقان، B: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجارشده نسبت به مورب برای نمونه‌های قرمز چشمه، C: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجارشده نسبت به مورب برای نمونه‌های سربند و D: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجارشده نسبت به مورب برای نمونه‌های علم باغی که نسبت به مورب بهنجار شده‌اند. مقادیر بهنجارشده از سان و مک دونالف (Sun and McDonough, 1989)

Fig. 9. A: MORB-normalized incompatible element patterns for Vashaghan samples, B: MORB-normalized incompatible element patterns for Ghermez Cheshmeh samples, C: MORB-normalized incompatible element patterns for Sar Band samples, and D: MORB-normalized incompatible element patterns for Alam Baghi samples. Normalizing values are from Sun and McDonough (1989).

نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که سنگ‌های آذرین مناطق مختلف فرمهین از قبیل واشقان، قرمز چشمه، سربند و علم باغی از گدازه‌های آتشفشانی و سنگ‌های آذرآواری تشکیل شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی بررسی‌شده از نوع آندزیت بازالتی، تراکی بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ریولیت هستند. بر اساس حاصل از نتایج ریزپردازش نقطه‌ای، در آنها کانی‌های پلاژیوکلاز شامل آلبیت و الیگوکلاز (در سنگ‌های داسیت تا ریوداسیت و ریولیتی)، الیگوکلاز–آندزین (در سنگ‌های تراکی آندزیت و آندزیتی)، بیتونیت- لابرادوریت (در سنگ‌های تراکی بازالتی و آندزیت بازالتی)، کلینوپیروکسن (اوژیت و کلینوانستاتیت)، آمفیبول (هورنبلند و اکسی هورنبلند)، کوارتز، بیوتیت، آپاتیت و کانی‌های اوپک تشخیص داده شده است. ماگماتیسم منطقه حاصل عملکرد فازهای کوه‌زایی و به‌صورت محلی فعالیت‌های کششی بوده؛ به‌طوری‌که فوران‌های آتشفشانی در هر دو محیط خشکی و دریایی رخداده است و ایگنمبریت‌ها و توفیت‌ها به‌ترتیب بیانگر آن هستند. از نظر حجمی نیز فوران‌های اسیدی و حدواسط

Archive of SID

www.SID.ir

حجم بیشتری از فوران‌های بازیک را در بر می‌گیرند. ماگمای سازنده این سنگ‌ها ماهیت کالک‌آلکالن دارد، این موضوع توسط ترکیب شیمیایی کانی‌ها نیز تأیید شده است. نتایج ژئوشیمیایی و پترولوژیکی نشان می‌دهد که ماگمای مولد و سازنده این سنگ‌ها ترکیبی مشابه با مذاب‌های مشتق‌شده از گوشته غنی‌شده با درجه ذوب‌بخشی ۱۰ تا ۲۰ درصد از یک منبع اسپینل لرزولیت تا گارنت- اسپینل لرزولیت داشته است. روند تغییرات عناصر کمیاب در همه نواحی مشابه بوده است که این امر دلالت بر هم منشأ بودن آنها دارد. از دیدگاه محیط‌های تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی مورد نظر به محیط فرورانش نسبت داده می شود. بر این اساس تصور شکل‌گیری ماگمای سازنده یادشده از طریق فرآیند ذوب‌بخشی گوشته تهی‌شده بالایی متاسوماتیزه و آلایش اندک ماگمای سازنده با سنگ‌های پوسته قاره‌ای دور از ذهن نیست و می‌توان گفت پیدایش سنگ‌های مورد بررسی با ولکانیسم حاصل از فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر خرد قاره ایران مرکزی مرتبط بوده است.

References

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(1–2): 67–95.

Arculus, R.J. and Powell, R., 1986. Source component mixing in the regions of arc magma generation. Journal Geophysical Research, 91(B6):5913– 5926.

Berberian, F. and Berberian, M., 1981. Tectonoplutonic episodes in Iran. In: H.K. Gupta and F.M. Delany, (Editors), Zagros Hindukush, Himalaya Geodynamic Evolution. American Geophysical Union, Washington D.C., pp. 5–32.

Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussuman, J., 1992. An Introduction to the Rock Forming Minerals. Longman, Landon, 621 pp.

Ghasemi, A. and Talbot, C.J., 2006. A new scenario for the Sanandaj-Sirjan zone (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 26 (6): 683–693.

Gill, J.B., 1981. Orogenic Andesites and Plate Tectonics, Minerals and Rocks. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 390 pp.

Hajian, J., 1970. Geological map of Farmahin, scale1:100000. Geological Survey of Iran.

Ionov D.A. and Hoffmann A.W., 1995. Nb–Ta-rich mantle amphiboles and micas; implication for subduction-related metasomatic trace element fractionations. Earth and Planetary Science Letters, 131(3-4): 341–356.

Irvine, T.N. and Baragar, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences, 8(5): 523–548.

Kurkcuoglu, B., 2010. Geochemistry and petrogenesis of basaltic rocks from the Develidog volcanic complex, Central Anatolia, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 37(1):42–51.

Le Bas, M.J., Le Maitre, R.W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali silica diagram. Journal of Petrology, 27 (3):745–750.

Li, X., Mo, X., Yu, X., Ding, Y., Huang, X., Wei, P. and He, W., 2013. Petrology and geochemistry of the early Mesozoic pyroxene andesites in the Maixiu Area, West Qinling, China: Products of subduction or syn-collision? Lithos, 172–173(3):158–174.

Maniar, P.D. and Piccoli, P.M., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geology, Society American Bulletin, 101(5):635–643.

Morimoto, N., Fabrise, J., Ferguson, A., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Akoi, K. and Gottardi G., 1988. Nomenclature of pyroxenes. American Mineralogist, 173(9–10):1123–1133.

Pearce, J.A., Nigel, B., Harris, N.B.W. and Tindle, A.G., 1984. Trace Element Discrimination Diagrams for the Tectonic Interpretation of Granitic Rocks. Journal of Petrology, 25(4): 956–983.

Archive of SID

www.SID.ir

Riecker, R.E., Zimmerman, C. and Kudo, A., 2013. Geochemistry of Andesites and Related Rocks, Rio Grande Rift, New Mexico. American Geophysical Union, New Mexico, 438 pp.

Rollinson, H.R., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation and Interpretation. Longman scientific and technical, London, 352 pp.

Schweitzer, E.L., Papike, J.J. and Bence, A.E., 1978. Clinopyroxenes from deep sea basalts, a statistical analysis. Geophysical Research Letters, 5(7):573−576.

Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. A chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors), Magmatism in oceanic basins. The Geological Society, London, pp. 313–345.

Tabatabai Manesh, M., Safai, H. and Mirlohi, A.S., 2010. Study of mineralogy and effective process on volcanic rocks in Jahaq anticlinal (south of Kashan). Journal of Petrology, 1(2): 61–76. (In Persian)

Temel, A., Gundogdu, M.N., Gourgoud, A. and Le Pennec, J.L., 1998. Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1–4): 447–471.

Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical geology, 20(5): 249–284.

Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1): 185–187.

Wood, D.A., Joron, J.L. and Treuil, M., 1979. A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. Earth and Planetary Science Letters, 45(2):326–336.

Xu, Y.G., Ma, J.L., Frey, F.A., Feigenson, M.D. and Liu, J.F., 2005. Role of lithosphere-asthenosphere interaction in the genesis of Quaternary alkali and tholeiitic basalts from Datong, western North China Craton. Chemical Geology, 224(4):247–271.

Yoshida,T., Okamura, S., Sakamoto, I., Ikeda, Y., Adachi, Y., Kojima, M., Sugawara, M. and Shitahaku, R., 2013. Petrology of felsic rocks dredged from the Myojin Seamount and the Myojin Rift in the north Izu-Bonin arc-Contribution of intra-oceanic subduction system to making continental middle crust. Meeting of International Association of Volcanology and Chemistry of the Earth's Interior, Volcanological Society of Japan, Kagoshima, Japan.

Zarei Sahamieh, R. and Ebrahimi, S., 2015. Petrology, Mineral chemistry and Tectono-Magmatic Setting of Volcanic Rocks of North-East Farmahin (North of Arak). Journal of Economic Geology, 6(2):375–392. (in Persian with English abstract)

Zarei Sahamieh, R., Tabasi, H. and Jalali, M., 2008. Petrology and tectonomagmatic investigation of volcanic rocks of Ashtian. Journal of Science, Kharazmi University, 8(3):227–240. (in Persian with English abstract)

Archive of SID

www.SID.ir