



پترولوژی، شیمی کانیها و محیط تکتونوماگمایی سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین (شمال اراک)

رضا زارعی سهامیه* و سارا ابراهیمی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۱

چکیده

منطقه مورد مطالعه متعلق به زون ساختاری ارومیه - دختر در استان مرکزی است که در شمال شرق فرمهین و شمال اراک قرار گرفته است. سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه دارای ترمهای مختلف سنگی از قبیل آندزیت، داسیت، ریوداسیت، ایگنبریت و توف می‌باشند و به لحاظ سنی به ائوسن میانی و فوقانی تعلق دارند. بافت غالب این سنگها پورفیری، پورفیری میکرولیتی، میکرولیتی و بعضاً غربالی است. از دیدگاه کانی‌شناسی بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، آمفیبول، کوارتز و بیوتیت کانیهای اصلی، و زیرکن، آپاتیت و کانیهای کدر کانیهای فرعی هستند. ریز پردازش الکترونی کانیها بر اساس آنالیز میکروپروپ نشان می‌دهد که پلاژیوکلازها در سنگهای آندزیت بازالت یا از نوع لابرادوریت، بیتونیت، آنورتیت بوده و پیروکسن‌ها اوژیت، پیژونیت و کلینوانستاتیت تشخیص داده شده‌اند. بررسی میکروسکپی گدازه‌های مذکور شواهد آرایش ماگمایی را به صورت منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها، آثار خوردگی در پلاژیوکلازها و ظهور خرده کانیهای بازیک نشان می‌دهند. وجود حاشیه سوخته در آمفیبول‌های موجود بیان‌کننده دمای بالای ماگمای سازنده حین فوران است. نمودارهای ژئوشیمیایی طبیعت سنگهای مورد بحث را کالکوآلکان معرفی می‌کند. نمودارهای جداکننده محیط زمین‌ساختی سنگهای آتشفشانی، این سنگها را در زمره سنگهای حاشیه قاره قرار می‌دهد که در گستره ی زون فرورانش قرار گرفته و متعلق به کمربند آندزیت‌های کوه‌زایی هستند.

موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای عناصر اصلی نسبت به سیلیس پدیده تفریق ماگمایی را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مقایسه نمودارهای عنکبوتی سنگهای منطقه با کندریت و موب، مبین آلودگی ماگمای مادر است. به نظر می‌رسد که دو فرآیند آلودگی بخشی و تبلور بخشی (AFC) در تشکیل سنگهای مورد مطالعه نقش مهمی داشته است.

کلمات کلیدی: فرمهین، کالکوآلکان، حاشیه قاره، کوه‌زایی

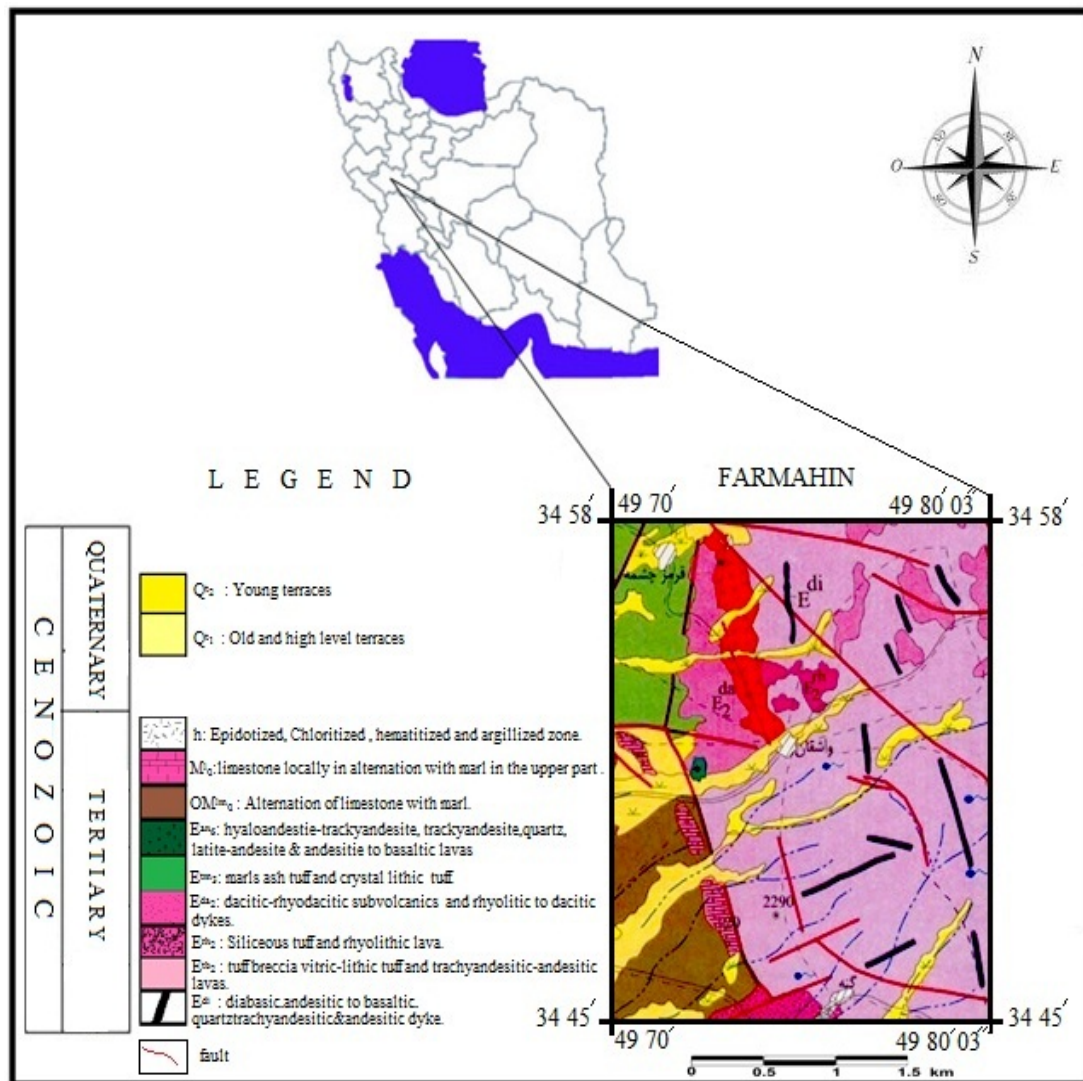
مقدمه

آتشفشانی مذکور شامل انواع اسیدی (داسیت و ریوداسیت)، حادواسط (آندزیت) و بازیک (آندزیت بازالتی) می‌باشد. بررسی میکروسکپی گدازه‌ها شواهدی از آرایش ماگمایی و ظهور خرده کانیهای بازیک را در این سنگها نشان می‌دهد (Ameri et al., 2009; Wilson, 1989; Zarasvandi and Liaghat, 2005). برخورد بین صفحات ایران و عربستان در الیگوسن تا میوسن بالایی رخ داده و فرورانش فعال بین آنها تمام شده اما فعالیت ماگمایی متوقف نشده است (Ghasemi and Talbot, 2006; Berberian and Berberian, 1981). منشأ فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در مجموعه ماگمایی ارومیه - دختر همراه با فعالیتهای پلوتونیک و بالآمدگی زون

محدوده مورد مطالعه در شمال خاوری فرمهین (Hajian, 1970) و شمال باختری آشتیان (شمال اراک) (Emami, 1991) بین طولهای جغرافیایی $49^{\circ}70'$ تا $49^{\circ}80'3''$ شرقی و عرضهای جغرافیایی $34^{\circ}58'$ تا $34^{\circ}42'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). این منطقه از دیدگاه ساختاری، بخشی از زون سه‌بند - بزمان (ارومیه - دختر) به شمار می‌رود. فعالیتهای آتشفشانی صورت گرفته در زمان ائوسن میانی و فوقانی در این بخش از ایران، سبب ایجاد سنگهای آتشفشانی این منطقه شده است. از نظر سنگ‌شناسی، سنگهای

حرکات کششی نیز بوده که طی زمانهای مختلف از ائوسن تا میوسن صورت گرفته و مشابه آن در سایر مناطق ایران نظیر تفت و خضراباد نیز دیده می‌شود (Zarei et al., 2006). این فورانها در هر دو محیط خشکی و دریایی صورت گرفته که اینگمبریتها، توفها و توفیتها معرف آن هستند. از نظر حجمی نیز فورانهای اسیدی و حدواسط بر انواع بازیک برتری دارند (Zarei et al., 2006). سنگهای مربوط به ائوسن بیشترین رخنمون را در منطقه مورد مطالعه دارند و قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه نیز سنگ آهکهای تریاس میانی موسوم به آهک نقره کمر می‌باشد.

سندج- سیرجان، شکستگی قطعه فرورونده می‌باشد که این شکستگی در اوج فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در امتداد مجموعه ماگمایی ارومیه- دختر در ائوسن میانی اتفاق افتاده است (Ghasemi and Talbot, 2006). به نظر می‌رسد سازو کارهای چین‌خوردگی و گسله‌های بزرگی چون تفرش، تلخاب و تبرته با روند تقریبی شمال باختری- جنوب خاوری در شکل‌گیری و ریخت‌شناسی این منطقه به‌خصوص کنترل حوضه‌های رسوبی و فرآیندهای آتشفشانی مؤثر بوده است به گونه‌ای که فورانهای آتشفشانی علاوه بر کوهزایی به‌طور محلی احتمالاً ناشی از حرکات گسلها نسبت به هم و به‌خصوص



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

Fig.1. Location of volcanic rocks of northeast Farmahin (north of Arak) in Farmahin geological map (Hajian, 1970)

روش مطالعه

علی‌رغم رخنمونهای کم‌گدازه و آذرآواریه‌های مورد بحث، مطالعات صحرایی با انتخاب رخنمونهای مناسب و تعداد ۸۰ عدد نمونه‌برداری از آنها آغاز شد. پس از انتخاب نمونه‌های مناسب و تهیه ۳۰ عدد مقطع میکروسکپی و مطالعات پتروگرافی با میکروسکپ پلاریزان، به منظور شناخت و بررسی دقیق کانیها و مشخص کردن ترکیب عنصری آنها، از تجزیه‌های شیمیایی ICP-MS^xXRF (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۱) و آنالیز نقطه‌ای بر روی کانیها توسط آنالیز الکترون میکروپروب انجام شد. طیف‌سنجی گسیلی ICP یک روش شعله‌ای با دمای شعله ۶۰۰۰-۱۰۰۰۰ کلوین است. همچنین، این روش یک روش انحلالی بوده و روشهای استاندارد سیلیکاتها در آن به کار می‌رود. مبنای کار ذوب اسیدی است، بدین ترتیب که نیم گرم از نمونه را داخل ظرف تفلون ریخته و حدود ۱۰ سانتی‌متر مکعب از اسید فلئوریدریک و ۳ سانتی‌متر مکعب اسید پرکلریک بدان اضافه گردیده و به مدت ۶ ساعت روی حرارت ۱۴۰-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته تا تقریباً حجم کمی از آن به حالت ژله باقی بماند. سپس آن را از روی هیتر خارج نموده و ۵ سانتی‌متر مکعب اسید کلریدریک و ۳ سانتی‌متر مکعب اسید نیتریک به آن اضافه نموده، مقداری حرارت داده می‌شود و در بالن ژوژه ۵۰ سانتی‌متر مکعب برگردانده می‌شود. در مورد عناصر فرار مانند As، Bi، Sb و ... به جای ظروف تفلون باید از لوله آزمایش استفاده نمود. نهایتاً محلول آماده شده به دو روش فوق توسط دستگاه ICP خوانده می‌شود. انجام آنالیزهای میکروپروب نیز توسط جدیدترین نسل دستگاه میکروپروب به نام Cameca SX100- فرانسه با پوشش کربن در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۹۱) انجام شده است. دستگاه مذکور تمام اتوماتیک بوده و انجام آنالیزهای دقیق، بر پایه دقت و قابلیت اطمینان WDSها و پایداری فوق العاده اشعه الکترونی است. ولتاژ به کار رفته برای سیلیکاتها، ۱۵ keV و شدت جریان ۲۰ nA می‌باشد. فرایند کالیبره شدن نیز به صورت Al/Cr, Si/W, C/W, Na/Ab, K/Or, Mn/MnSiO₃, Fe/Fe₂O₃, Mg/MgO, Ti/TiO₂ انجام گرفته است. در این مطالعه برای پردازش داده‌ها و رسم نمودارها از نرم‌افزارهای GIS، Excel، Pet و GCDkit استفاده شده است.

استفاده شده است.

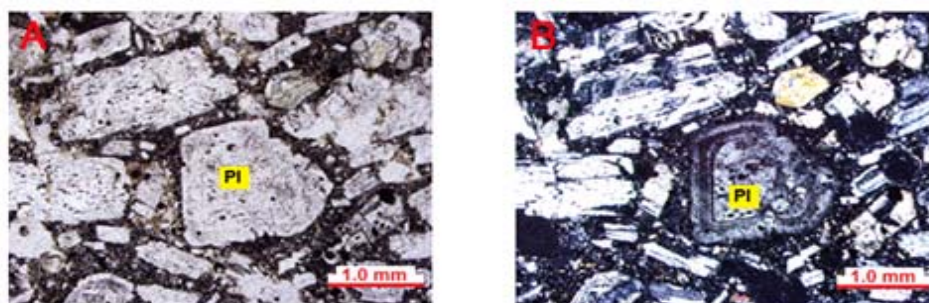
بحث و بررسی

پتروگرافی

بافت غالب در این سنگها شامل پورفیری، میکرولیتی، پورفیری میکرولیتی و غربالی است (Shelley, 1993). پلاژیوکلازها (اغلب شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با ساخت منطقه‌ای)، رایجترین فنوکریست تشکیل‌دهنده این سنگها است (Tsuchiyama, 1985). در حاشیه بعضی از بلورهای این کانی آثار خوردگی دیده می‌شود که می‌توان آن را به تغییرات فشار و یا عدم تعادل شیمیایی فنوکریست‌ها با ماگمای سازنده در هنگام خروج گدازه نسبت داد (شکل ۲-A و B). وجود پلاژیوکلازها در آندزیتها نشان از وجود آب کمتر از ۲/۵ درصد حجمی در ماگما دارد (Gill, 1981). پلاژیوکلازهای داسیت‌ها دارای زوناسیون نوسانی و محتوای آنورتیت و استرانسیوم پایین می‌باشند. در شرایطی که در حین سرد شدن مذاب داسیتی ماگمای بازیگ وارد آشیانه ماگمایی شده باشد این بلورها دارای بافت غبارآلود می‌شوند، بدین ترتیب که ابتدا به‌طور بخشی ذوب شده و سپس رشد مجدد یافته‌اند. بخشهای غبارآلود حاوی شیشه و پلاژیوکلاز می‌باشند که بسته به شدت ذوب و ترکیب بلور اولیه ممکن است در مرکز یا حاشیه بلور دیده شوند بلورهای شفاف و بدون حاشیه غبارآلود و آثار هضم مستقیماً از مذاب مادر متبلور شده‌اند و در حین بالا آمدن و سرد شدن بقیه مذاب در معرض حرارت مذابی دیگر قرار نگرفته‌اند، این بلورها منطقه‌بندی عادی و یا نوسانی نشان می‌دهند. اگر مذابی با ترکیب حدواسط در اثر اختلاط کامل ایجاد شود پلاژیوکلاز کلسیک خیلی آرام با مذاب واکنش داده در حالی که نوع سدیم‌دارتر تحلیل رفته و حاشیه‌دار می‌شود. اگر اختلاط کامل نباشد ماگمای بازیگ فراتافته تحت اشباع از بلور موردنظر، پلاژیوکلاز را در خود حل و گرد کرده و مذاب تغییر ترکیب می‌دهد ولی نوع سدیم‌دار نه تنها گرد می‌شود بلکه حاشیه‌دار و غبارآلود می‌شود. بلورهایی نیز که ترکیب کلسیم‌داری داشته‌اند در اثر حرارت مذاب گرد شده‌اند و با وجود داشتن زوناسیون عادی ترکیب به سمت حاشیه به‌طور ناگهانی تغییر می‌کند. نوع پلاژیوکلازهای موجود از طریق آنالیز میکروپروب تعیین گردیده و در سنگهای آندزیت بازالتی از نوع بیتونیت، لابرادور و آنورتیت تشخیص داده شده است. در جدول ۱

مطالعه آورده شده است.

نتایج تجزیه شیمیایی پلاژیوکلاز برخی از نمونه‌های مورد

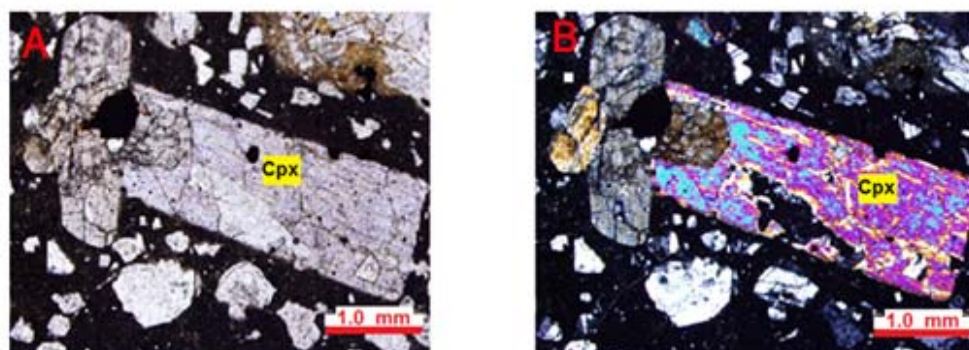


شکل ۲. پلاژیوکلاز با ساختمان زونینگ و حاشیه‌های کلریتی شده در نور xpl و ppl

Fig. 2. Plagioclase with zoning structure and chloritic rims A: xpl B: ppl

اوژیت، پیژونیت و کلینوناستاتیت تشخیص داده شده است (جدول ۲).

پیروکسن یکی دیگر از کانیهای قابل تشخیص در این سنگها (آندزیتی، آندزیت بازالتی) می‌باشد (شکل شکل ۳-A و B) که با انجام مطالعات لازم انواع آنها کلینوپیروکسن از نوع



شکل ۳. پیروکسن‌ها در سنگهای آندزیتی، آندزیت بازالتی xpl و ppl

Fig. 3. Pyroxenes in andesite and basaltic andesite rocks A: xpl B: ppl

دو پدیده را در تاریخ خود ثبت کرده اند: یکی زینولیت‌های دما بالا و دیگری اضافه شدن الیوین. منشأ فشار بالا ممکن است از فنوکریستهای پیروکسن با مقدار اکسید آلومینیوم بالا استنتاج شود در حالی که بسیاری از عوامل به جز فشار، مقدار آلومینیوم پیروکسن را متأثر می‌کند، مثل دما، میزان سرد شدن و فعالیت سیلیس.

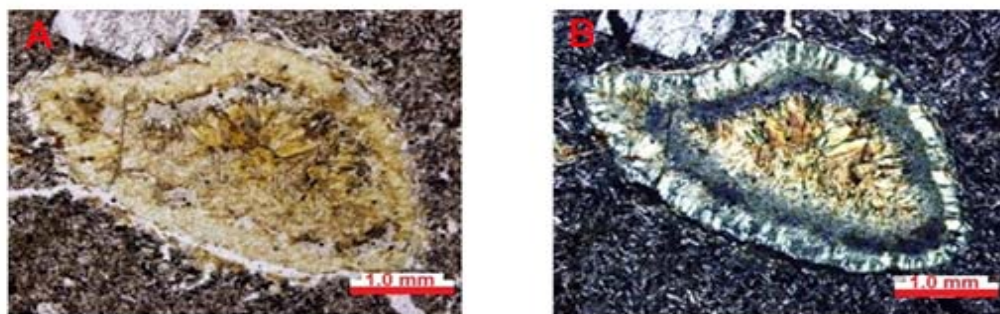
وجود بافتهای موجود در آندزیت‌ها و داسیت‌های کالکوالکانل توصیف شده در بالا، احتمالاً گواه اختلاط ماگمایی می‌باشد (Li et al., 2013). این بدان معناست که سنگهای آتشفشانی با ترکیب حدواسط ممکن است در نتیجه اختلاط ماگماهای بازالتی با ماگمای فلسیک ایجاد شده باشند (Yoshida et al., 2013).

فنوکریستهای آمفیبول با آثار تحلیل یافتگی و سوختگی، به نوعی نشان‌دهنده واکنش اکسیداسیون می‌باشند که به عدم تعادل این کانی در محیطهای آبدار و پر دما بستگی دارد که این حالت را اصطلاحاً سوختگی آمفیبول می‌نامند (Roosbehani and Arvin, 2010). آمفیبولها هم در زمینه و هم در داخل پلاژیوکلازها به چشم می‌خورند. آمفیبولهای زمینه، ریزدانه و سوزنی با چندرنگی قهوه‌ای سبز بوده، آمفیبولهایی که در داخل پلاژیوکلازها قرار دارند، تقریباً بی‌شکل و دارای چندرنگی سبز-آبی هستند. چندرنگی سبز-آبی از ویژگیهای آمفیبولهای سدیم‌دار است (شکل ۴-A و B) (Tabatabai Manesh et al., 2010). وجود کانیهای دما بالا از جمله پیروکسن، هورنبلند و میزان اکسید آلومینیوم در سنگها تشخیص داده شد. چنین به نظر می‌رسد که این سنگها

ژئوشیمی

جدولهای ۱ و ۲ نتایج حاصل از این آنالیزها را بر حسب درصد وزنی نشان می‌دهد.

مطالعات ژئوشیمیایی یکی از بهترین راههای شناخت فرآیندهای ماگمایی است. بدین منظور بر روی نمونه‌های حاوی پیروکسن و پلاژیوکلاز آنالیز نقطه‌ای انجام گرفته است.



شکل ۴. آمفیبول در نور A: xpl B: ppl
Fig. 4. Amphiboles (A. xpl B. ppl)

جدول ۱. نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ پلاژیوکلاز سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین (ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازها و فرمول ساختاری بر اساس ۳۲ اتم اکسیژن)

Table 1. EPMA analyses results of plagioclase of volcanic rocks of North-East Farmahin (Chemical composition of plagioclases and structural formula based on 32 oxygen atoms)

Sample	SE-4	SE-4	SE-4	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-25	NH-25	NH-25
Oxide	By	By	By	By	By	By	By	Lb	Lb	Lb	Lb	An
SiO ₂	48.53	50.1	49.01	46.91	47.28	47.3	49.14	51.04	50.17	50.94	50.72	49.16
TiO ₂	0.04	0.03	0.01	0.01	0	0.02	0.03	0.03	0.02	0.04	0.03	0.02
Al ₂ O ₃	33.22	32.57	33	34.73	34.18	34.22	32.4	31.62	32.09	31.28	31.09	31.64
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0	0	0	0
FeO	0.51	0.58	0.61	0.44	0.44	0.47	0.54	0.5	0.44	0.51	0.53	0.58
MnO	0.01	0.02	0.01	0	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0.02
MgO	0.05	0	0.02	0	0.04	0.06	0	0.06	0.01	0.01	0	0.23
CaO	16.35	15.11	15.75	17.25	16.72	16.28	15.92	14.1	14.29	13.32	13.77	14.6
Na ₂ O	2.21	3.02	2.28	1.64	1.99	1.97	2.85	3.79	3.46	3.58	3.23	0
K ₂ O	0.05	0.07	0.06	0.04	0.04	0.05	0.08	0.13	0.11	0.1	0.09	0.07
F	0	0	0	0	0	0.16	0	0	0.15	0.06	0.22	0.01
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	100.98	101.5	100.81	101.04	100.72	100.58	100.28	101.37	100.75	99.75	99.69	96.33
Ions	(Ions based on 32 oxygen atoms)											
Si	8.831	9.038	8.923	8.55	8.63	8.63	8.96	9.21	8.76	9.921	9.926	9.216
Ti	0.005	0.003	0.001	0.001	0	0.002	0.003	0.003	0.002	0.005	0.003	0.002
Al	7.112	6.922	7.064	7.45	7.35	7.34	6.94	6.72	6.6	6.713	6.697	6.985
Cr	0	0	0	0.002	0	0.004	0	0.002	0	0	0	0
Fe	0.067	0.086	0.087	0.065	0.065	0.065	0.076	0.065	0.063	0.076	0.077	0.09
Mn	0.001	0.002	0.001	0	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0	0.001	0.002
Mg	0.01	0	0.004	0	0.009	0.01	0	0.01	0.002	0.002	0	0.056
Ca	3.184	2.918	3.062	3.365	3.27	3.18	3.1	2.72	2.67	2.577	2.698	2.929
Na	0.766	1.041	0.0787	0.57	0.702	0.695	0.985	1.323	1.156	1.261	1.145	0
K	0.01	0.01	0.01	0.008	0.008	0.01	0.01	0.021	0.021	0.021	0.011	0.011
Ab	19.34	26.23	20.39	4.451	17.63	18.79	24.05	32.55	30.05	32.58	29.71	0
An	80.4	73.52	79.35	85.34	82.17	81.85	75.7	66.93	69.41	66.59	70	99.63
Or	0.26	0.25	0.26	0.21	0.2	0.26	0.25	0.52	0.54	0.83	0.29	0.37

By= Bytownit Lb= Labradorite An= Anorthite

جدول ۲. نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ پیروکسن سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین (ترکیب شیمیایی پیروکسن و فرمول ساختاری بر اساس ۶ اتم اکسیژن)

Table 2. EPMA analyses results of pyroxene of volcanic rocks of northeast Farmahin (chemical composition of pyroxenes and structural formula based on 6 oxygen atoms)

sample	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	SE-4	NH-10
Oxide	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
SiO ₂	51	51.91	49.72	50.59	51.06	49.74	52.94	53.45	53.34	53.22	51.65	46.3
TiO ₂	0.63	0.6	0.67	0.7	0.61	0.65	0.15	0.23	0.32	0.48	0.46	2.43
Al ₂ O ₃	2.59	2.26	2.57	1.88	3.2	2.76	1.3	1.5	1.43	1.33	1.44	10.68
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0.02	0.02	0	0.01	0	0	0	0	0.02	0
FeO	10.02	9.99	10.95	10.7	11.12	11.07	20.96	20.19	19.6	9.54	12.27	13.72
MnO	0.41	0.41	0.42	0.36	0.35	0.37	0.79	0.73	0.61	0.39	0.57	0.34
MgO	14.51	14.69	14.08	13.32	14	14.11	23.54	23.65	23.47	15.18	13.67	13.62
CaO	20.34	20.36	19.45	20.09	20.07	19.26	1.16	1.22	1.56	20.03	19.85	10.81
Na ₂ O	0.1	0.18	0.34	0.42	0.36	0.33	0	0	0.01	0.33	0.31	2.2
K ₂ O	0	0	0	0	0.02	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0.35
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.61	100.4	98.22	99.08	100.79	98.31	100.85	100.97	100.35	100.5	100.24	100.74
Ions	(Ions based on 6 oxygen atoms)											
Si	1.918	1.932	1.91	1.922	1.906	1.902	1.954	1.957	1.960	1.969	1.948	1.747
Ti	0.015	0.015	0.018	0.018	0.015	0.018	0.002	0.004	0.008	0.013	0.011	0.068
Al ^{iv}	0.082	0.098	0.09	0.078	0.094	0.098	0.046	0.041	0.04	0.031	0.052	0.253
Al ^{vi}	0.031	0	0.025	0.004	0.045	0.026	0.007	0.021	0.021	0.026	0.011	0.218
Cr	0	0	0.0004	0.0004	0	0	0	0	0	0	0.0004	0
Fe	0.314	0.311	0.315	0.338	0.345	0.345	0.645	0.618	0.601	0.293	0.358	0.431
Mn	0.011	0.011	0.011	0.011	0.008	0.011	0.024	0.022	0.017	0.011	0.018	0.009
Mg	0.812	0.814	0.806	0.811	0.779	0.803	1.293	1.29	1.286	0.836	0.768	0.764
Ca	0.818	0.812	0.799	0.818	0.801	0.789	0.044	0.046	0.061	0.794	0.8	0.435
Na	0.004	0.008	0.011	0.027	0.022	0.023	0	0	0.0004	0.022	0.022	0.002
K	0	0	0	0	0.0008	0.0004	0.0004	0	0.0004	0	0	0.013
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.002
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Au=Augite

ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ پيروكسن برخی از نمونه‌های مورد مطالعه (ترکیب شیمیایی پيروكسن و فرمول ساختاری بر اساس ۶ اتم اکسیژن)

Table 2 (Continued). EPMA analyses results of pyroxene of volcanic rocks of northeast Farmahin (chemical composition of pyroxenes and structural formula based on 6 oxygen atoms)

Sample Oxide	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-10	NH-25
	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au	Au
SiO ₂	44.69	44.89	43.85	43.73	43.83	47.9	46.83	47.65	44.23	43.77	51.35	51.40
TiO ₂	2.45	2.36	2.46	2.61	2.49	1.91	1.95	1.92	2.81	2.76	0.59	0.68
Al ₂ O ₃	11.09	10.78	10.92	10.81	10.62	8.8	8.05	7.91	11.21	10.88	2.89	3.01
Cr ₂ O ₃	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01	0	0
FeO	13.75	14.15	13.52	12.99	13.66	13.39	13.87	13.84	14.1	13.59	10.9	11.13
MnO	0.32	0.36	0.35	0.32	0.36	0.39	0.39	0.41	0.34	0.30	0.39	0.38
MgO	13.64	13.43	13.56	13.88	13.20	13.89	13.86	14.42	13.18	13.37	13.94	14.09
CaO	10.74	10.88	10.96	10.86	10.58	10.86	10.70	10.75	11.26	11.08	19.9	19.89
Na ₂ O	1.21	2.23	2.14	2.45	1.48	0.87	1.57	0.82	2.27	2.30	0.36	0.40
K ₂ O	0.39	0.38	0.32	0.33	0.30	0.26	0.26	0.25	0.41	0.38	0	0.02
F	0	0	0	0.1	0.17	0.1	0	0.09	0.17	0	0.02	0.04
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	98.28	99.47	98.08	98.09	96.69	98.37	97.48	98.06	99.98	98.44	100.34	101.04
Ions	(Ions based on 6 oxygen atoms)											
Si	1.702	1.79	1.682	1.675	1.697	1.806	1.798	1.808	1.670	1.677	1.919	1.91
Ti	0.068	0.066	0.069	0.073	0.072	0.052	0.055	0.054	0.079	0.078	0.016	0.018
Al ^{iv}	0.298	0.3	0.318	0.325	0.303	0.194	0.202	0.192	0.33	0.323	0.018	0.09
Al ^{vi}	0.197	0.178	0.175	0.163	0.181	0.195	0.158	0.159	0.164	0.165	0.044	0.041
Cr	0	0.0004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fe	0.437	0.446	0.433	0.414	0.442	0.421	0.445	0.438	0.444	0.435	0.339	0.344
Mn	0.009	0.011	0.009	0.009	0.011	0.011	0.011	0.011	0.009	0.009	0.011	0.011
Mg	0.774	0.758	0.775	0.792	0.761	0.779	0.791	0.815	0.74	0.762	0.775	0.780
Ca	0.437	0.441	0.45	0.444	0.437	0.437	0.438	0.436	0.454	0.453	0.795	0.791
Na	0.087	0.159	0.156	0.179	0.107	0.063	0.115	0.059	0.081	0.17	0.026	0.026
K	0.018	0.018	0.013	0.013	0.013	0.009	0.009	0.009	0.009	0.018	0	0.008
F	0	0	0	0.011	0.018	0.011	0	0.009	0.018	0	0.002	0.004
Cl	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Au=Augite

ادامه جدول ۲. نتایج تجزیه الکترون میکروپروپ پیروکسن برخی از نمونه‌های مورد مطالعه (ترکیب شیمیایی پیروکسن و فرمول ساختاری بر اساس ۶ اتم اکسیژن)

Table 2 (Continued). EPMA analyses results of pyroxene of volcanic rocks of northeast Farmahin (chemical composition of pyroxenes and structural formula based on 6 oxygen atoms)

Sample	NH-25	NH-25	NH-25	NH-25	NH-25	NH-25
Oxide	Au	Clin-En	Clin-En	Clin-En	Au	Au
SiO ₂	52.19	53.16	53.29	52.7	49.88	50.32
TiO ₂	0.68	0.13	0.13	0.25	0.63	0.59
Al ₂ O ₃	2.51	1.28	1.31	1.46	2.37	2.3
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0
FeO	10.47	21.07	20.98	20.25	10.27	9.78
MnO	0.39	0.79	0.75	0.67	0.52	0.46
MgO	15.03	23.85	23.37	23.22	14.89	14.98
CaO	19.36	1.05	1	1.4	19.8	20.23
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0
K ₂ O	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0.06	0.08	0.02	0
Cl	0	0	0	0	0	0
Total	100.63	101.33	100.89	100.03	98.38	98.66
Ions	(Ions based on 6 oxygen atoms)					
Si	1.933	1.948	1.958	1.952	1.904	1.910
Ti	0.018	0.003	0.004	0.006	0.016	0.015
A ^{iv}	0.067	0.052	0.042	0.048	0.096	0.090
Al ^{vi}	0.042	0.003	0.014	0.014	0.009	0.012
Cr	0	0	0	0	0	0
Fe	0.322	0.645	0.643	0.652	0.325	0.310
Mn	0.012	0.024	0.022	0.020	0.016	0.016
Mg	0.828	1.302	1.279	1.279	0.846	0.846
Ca	0.768	0.039	0.037	0.053	0.809	0.821
Na	0	0	0	0	0	0
K	0	0	0	0	0	0
F	0	0	0.006	0.008	0.002	0
Cl	0	0	0	0	0	0

Au=Augite Clin-En=Clinoenstatite

بازالتی تشخیص داده شده است. همچنین برای بررسی و تعیین اختصاصات ژئوشیمیایی سنگهای این ناحیه تعداد ۱۲ نمونه انتخاب و برای تجزیه های شیمیایی آماده شدند. در جدول ۳، نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها آورده شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده و انجام محاسبات لازم بر روی آنها و استفاده از نرم افزار Minpet، پلاژیوکلازها از نوع لابرادوریت، بیتونیت، آنورتیت و کلینوپیروکسنها از نوع اوژیت، پیژونیت و کلینوانستاتیت در سنگهای آندزیتی و آندزیت

جدول ۳. نتایج تجربه شیمیایی نمونه‌ها (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 3. Chemical analytical result of samples (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	58.9	61.53	63.61	60.43	64.48	60.66	64.39	59.62	60.27	58.77	55.88	55.75
TiO ₂	0.71	0.63	0.68	0.63	0.57	0.53	0.60	0.73	0.61	0.74	0.69	0.72
Al ₂ O ₃	17.85	17.57	17.88	18.52	16.38	16.92	16.74	18.97	16.11	19.52	17.83	19.23
FeO _t	3.6	1.8	1.75	1.7	1.86	1.60	1.58	3.29	2.02	1.98	1.19	2.22
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	1.73	1.65	2.07	1.93	1.90	2.01	2.36	2.01	2.15	3.69	2.63
CaO	5.08	4.39	3.55	3.26	3.55	5.93	1.52	4.16	5.42	5.13	9.88	9.70
Na ₂ O	3.68	3.10	4.03	3.78	3.81	3.59	3.76	3.94	3.49	3.98	2.66	2.96
K ₂ O	1.25	2.23	2.24	1.88	2.10	2.03	1.93	1.87	1.85	1.77	0.97	0.75
P ₂ O 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
SO ₃	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L.O.I.	1.88	2	0.42	3.44	1.42	2.5	0.98	0.86	3.8	0.72	1.88	1.72
Li	1	0	4	0	0	0	3	2	5	0	1.4	0
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
Ti	6205	5670	5482	5325	5381	5049	4683	5718	5702	6411	6205	6411
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
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
As	0	1	0	0	1.6	0	4	3	0	0	0	0
Rb	116	110	109	103	112	108	107	122	117	122	70.6	77.2
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	218.4	216
Nb	6	8	7	8	8	9	9	4	8	4	6	4.1
Mo	3	3	3	1	2	2	1	1	13	9	2.5	9
Ag	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.4	0.4
Cd	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3
Sn	2.2	2.4	1.2	1.8	1.6	1.4	1.1	1.9	0.7	1.8	2.2	1.8
Sb	0	0	0	3	2	2	0	0	0	0	0	0
Ba	279	370	376	461	387	396	348	381	372	314	278.2	312.8
La	10	17	12	11	13	18	14	12	20	11	0	0
Ce	43	52	44	42	45	52	48	39	57	37	2.3	24.2
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

ادامه جدول ۳. نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها (عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی wt.% و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

Table 3 (Continued). Chemical analyses result of samples (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
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
Gd	6	5	4	5	6	7	4	6	6	6	5.9	5.9
Dy	2	1	2	1	4	5	3	0	5	4	1.4	2.9
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
Hg	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0.1	0.1	0.1	0	0
Tl	0.9	0.8	1	0.8	0.9	1	1.1	0.7	0.7	1.3	0.9	1.3
Bi	1.5	1.4	0.8	1.3	1.6	1.9	0.8	1.9	1.5	1.8	1.5	1.8
U	3.1	2.6	1.1	2.4	2.9	3.3	1.4	3.6	3	3.4	3.1	3.4
Eu/Eu*	0.72	0.73	0.84	0.73	0.65	0.42	0.76	0.72	0.50	0.67	0.45	0.75
(La/Yb) _N	5.45	5.59	5.90	7.87	5.31	4.83	5.31	5.90	4.25	5.31	0	0
Rb/Sr	0.31	0.28	0.30	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30	0.30	0.30	0.29

در این جا با نگاهی به جدول ۴ به بررسی نتایج آنالیزها می‌پردازیم.

جدول ۴. علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌ها در تمامی شکلها (۶ تا ۱۴)

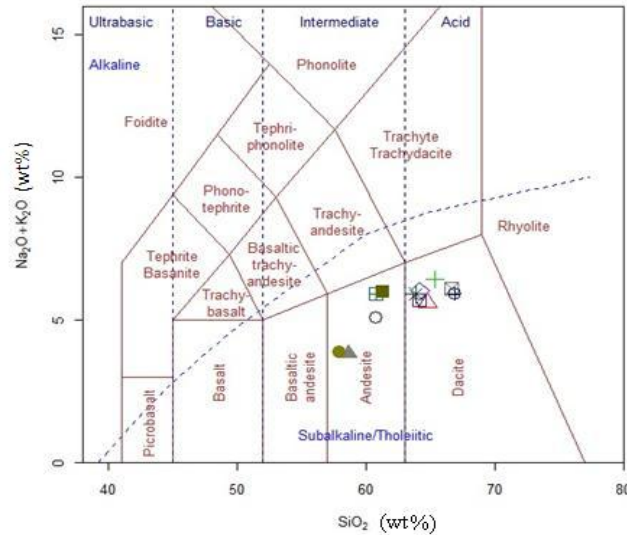
Table 4. Used symbols for each sample in Figs. 6-14)

شماره نمونه 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
علامت Symble	○	△	+	◇	⊠	✱	⊕	⊞	⊟	■	▲	●

Eu در مذاب می‌شود. در شرایط فعالیت زیاد اکسیژن (Eu^{2+}) ضرایب جدایش برای Eu پایین بوده و Eu مانند سایر عناصر کمیاب خاکی رفتار می‌کند. برای طبقه‌بندی سنگهای منطقه به دلیل آتشفشانی و ریزدانه بودن، از داده‌های شیمیایی حاصل از آنالیز سنگ استفاده شده است. نمودار مجموع آلکالی-سیلیس یکی از مفیدترین روشهای طبقه‌بندی برای سنگهای آتشفشانی است. برای اجتناب از این که درصد وزنی اکسیدها، توزیع کاتیونهای نمونه را به درستی منعکس نمی‌کند، برخی محققان ترجیح می‌دهند که ترکیب سنگها را بر اساس کاتیونها محاسبه کنند. از طرفی مطالعه عناصر کمیاب بخش اصلی پترولوژی مدرن بوده و نسبت به عناصر اصلی کارایی بهتری در متمایز کردن فرآیندهای پترولوژی دارند. در این رابطه برای دقت بیشتر و مقایسه، نام‌گذاری سنگها از سه روش مختلف اکسید-اکسید (مجموع آلکالی-سیلیس (TAS)، کاتیونیک (R_1-R_2) و عناصر کمیاب در

اکنون می‌توان با بهره‌گیری از نتایج جدول ۳ به نام‌گذاری و تعیین خاستگاه ماگمایی سنگهای مورد مطالعه پرداخت و در نهایت به فرآیندهای حاکم در منطقه مورد مطالعه پی برد. نسبت Eu/Eu^* برحسب میزان مشارکت Eu^{2+} در پلاژیوکلازها بین فاز جامد و مذاب باقی‌مانده متغیر است. اگر این نسبت بزرگتر از ۱ باشد آنومالی مثبت و اگر کوچکتر از ۱ باشد آنومالی منفی خواهد شد (Tabatabai Manesh et al., 2010). محاسبه این مقدار در سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه، آنومالی منفی Eu را نشان می‌دهد. آنومالی Eu اغلب به وسیله فلدسپاتها (به‌ویژه در ماگمای فلسیک) کنترل می‌شود زیرا Eu در حالت دو ظرفیتی در پلاژیوکلاز و فلدسپات پتاسیم سازگار است در حالی که سایر Eu سه ظرفیتی ناسازگار هستند. Eu به راحتی جانشین Ca می‌شود و در سنگهای آندزیتی در فلدسپاتهای جدا شده از مذاب Ca وجود خواهد داشت و در نتیجه باعث پیدایش آنومالی منفی

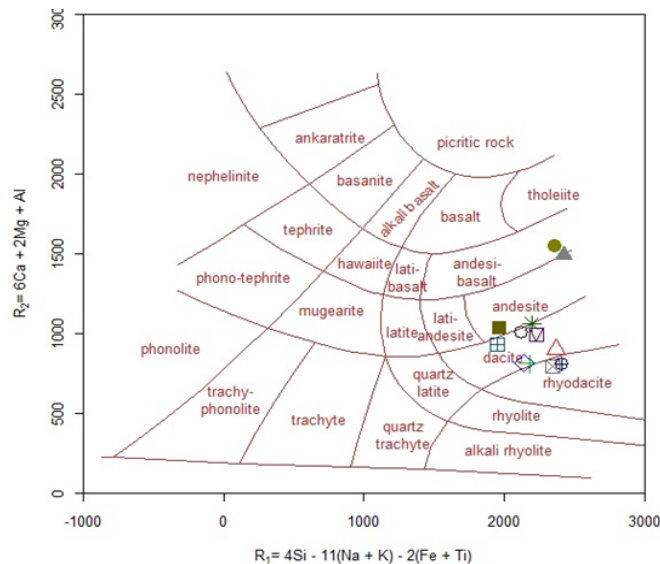
برابر یکدیگر (Zr/TiO₂- Nb/Y) انجام گرفته است تا مقایسه را افزایش دهد (شکل‌های ۵، ۶ و ۷).
نتایج به دست آمده از هر روش، دقت و اطمینان نتیجه‌گیریها



شکل ۵. نمودار مجموع آلکالی (TAS) در مقابل سیلیس (Le Bas et al., 1986). بر اساس این نمودار، نمونه‌ها در قلمرو آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت قرار می‌گیرند

Fig. 5. Na₂O + K₂O vs. SiO₂ diagram (TAS) (Le Bas et al., 1986). According to this diagram, samples located in basaltic andesite, andesite and dacite field.

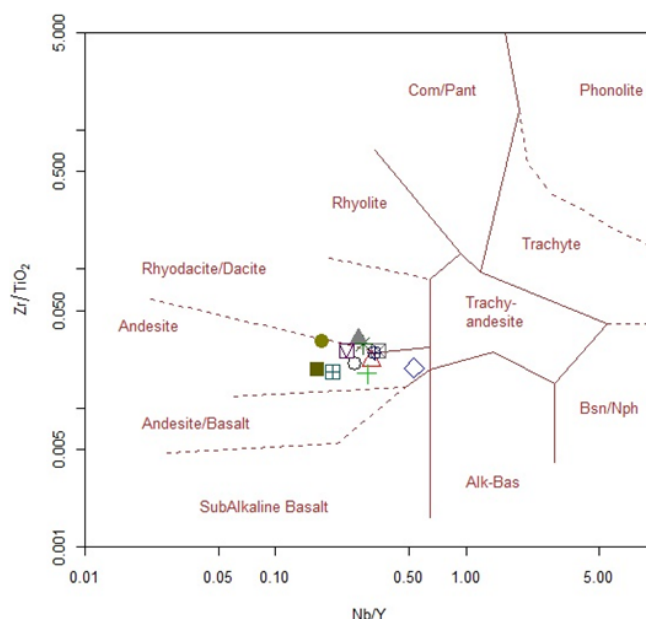
بر طبق نمودار شکل ۵ سنگهای مورد مطالعه، آندزیت بازالتی، آندزیت و داسیت می‌باشند که در زمره سنگهای بازیک، سایدی و حدواسط قرار می‌گیرند. این نتیجه‌گیری را از روی سایر نمودارهای TAS نیز می‌توان به دست آورد.



شکل ۶. نمودار R₁-R₂ (De La Roche et al., 1980) R₁-R₂. بر طبق این نمودار، سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین در محدوده آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریوداسیت قرار می‌گیرند.

Fig. 6. R₁-R₂ diagram (De La Roche et al., 1980) According to this diagram, northeast Farmahin volcanic rocks are located in basaltic andesite, andesite, dacite and rhyodacite fields.

بر اساس این نمودار شکل ۶ سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه، از نوع آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریوداسیت می‌باشند.

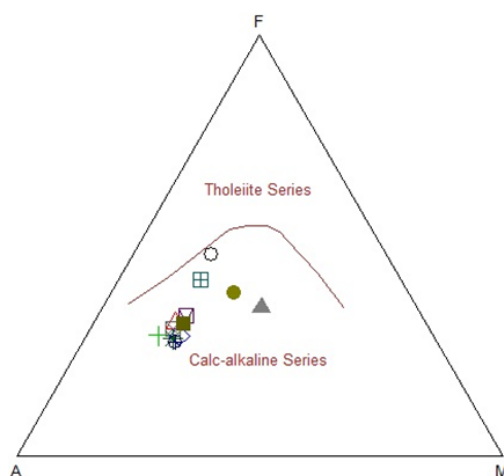


شکل ۷. نمودار Zr/TiO_2 - Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977). این نمودار، سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین را غالباً بازالت، آندزیت و تعداد کمی را نیز داسیت و ریوداسیت معرفی می‌کند.

Fig. 7. Nb/Y - Zr/TiO_2 diagram (Winchester and Floyd, 1977). According to this diagram, northeast Farmahin volcanic rocks are mostly located in basalt and andesite field and it also introduces a few dacite and rhyodacite.

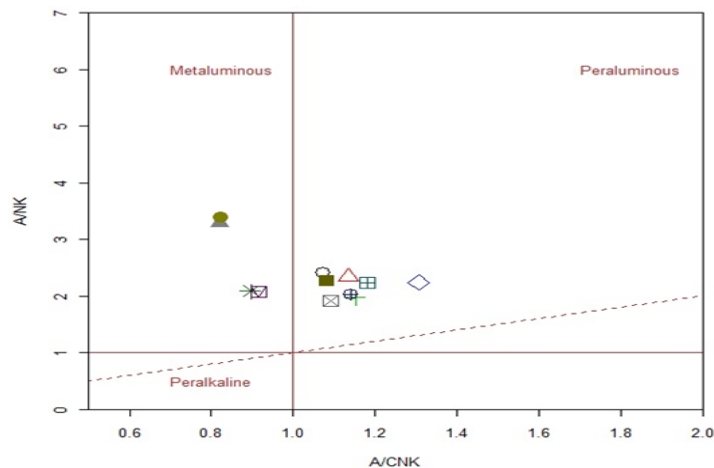
جزو سری ماگمایی کالک آلکالن دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۸). از لحاظ میزان Al موجود، نمونه‌ها اکثراً پرآلومین و تعداد کمی متالومین هستند (شکل ۹).

نمودار شکل ۷ نشان می‌دهد که سنگهای آتشفشانی مذکور در قلمرو بازالت، آندزیت، داسیت و ریوداسیت قرار گرفته‌اند. همه نمونه‌های سنگی در محدوده ساب‌آلکالن قرار گرفته‌اند و با توجه به نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) نیز



شکل ۸. نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) بر طبق این نمودار، تمامی سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین، در محدوده سری سنگهای کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند.

Fig. 8. AFM diagram (Irvine and Baragar, 1971). According to this diagram, all volcanic rocks of northeast Farmahin are located in calc-alkaline field.



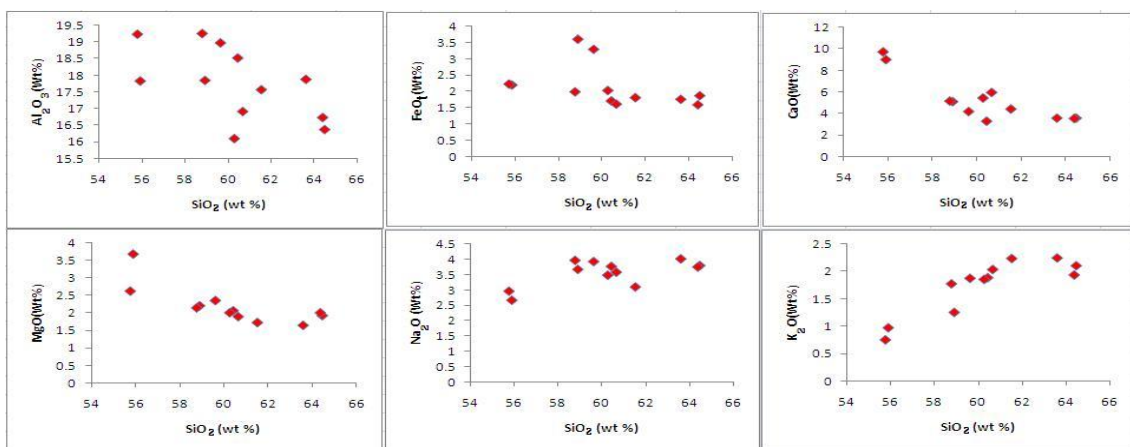
شکل ۹. نمودار A/NK- A/CNK (Clarke, 1992). برطبق این نمودار اکثر سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین پرآلومین و تعداد کمی ماهیت متآلومین را نشان می‌دهند.

Fig. 9. A/CNK - A/NK diagram (Clarke, 1992) According to this diagram, most volcanic rocks of northeast Farmahin show peraluminous and few samples show metaluminous nature.

نمودار Na_2O نسبت به SiO_2 این روند خیلی روشن و پیوسته نیست ولی به‌طور کلی این دو روند افزایشی به عنوان شاهدی بر وجود فرآیندهای تبلوربخشی، اختلاط ماگمایی و هضم می‌باشند. کلمن (Kelemen et al., 2004) نیز عقیده دارد که میزان K_2O بیشتر تحت تأثیر فرآیندهای جدایش ماگمایی که ماگما حین صعود دستخوش آن گشته است، قرار می‌گیرد. همچنین همبستگی مثبت دو عنصر Y و Zr در شکل ۱۱ نشانه تبلوربخشی کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در سنگهای آتشفشانی ناحیه مورد مطالعه است (Pitcher et al., 1985).

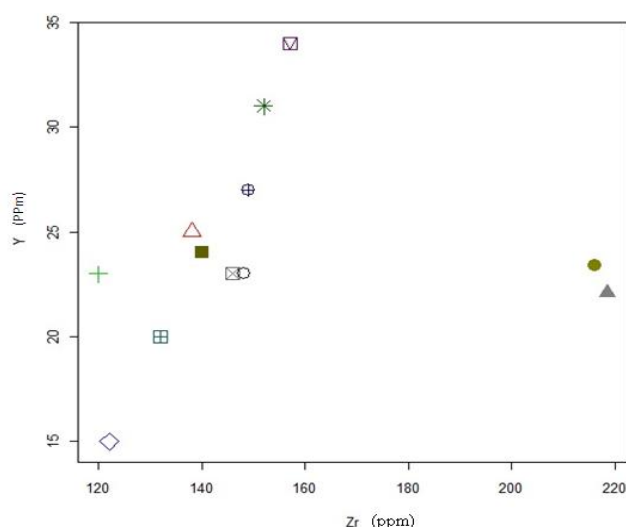
با توجه به روندهایی که رفتار اکسیدهای عناصر اصلی در نمودارهای هارکر نشان می‌دهند (شکل ۱۰) می‌توان نتیجه گرفت که فرآیند تبلور بخشی در تکوین سنگهای ماگمایی منطقه نقش مهمی داشته است.

روند نزولی MgO ، Fe_2O_3 و CaO به‌ترتیب به تبلور بخشی کلینوپیروکسن، اکسیدهای آهن، تیتان و پلاژیوکلاز نسبت داده می‌شود (Ahmadian et al, 2010). معمولاً روند کاهش آلومینیوم توأم با پیشرفت جدایش ماگمایی را به تبلور بخشی پلاژیوکلاز طی آن جدایش نسبت می‌دهند (White, 2013) اکسیدهای Na_2O و K_2O به‌طور کلی با افزایش سیلیس، روندی افزایشی از خود نشان می‌دهند. هرچند در



شکل ۱۰. نمودارهای هارکر. رفتار اکسیدهای عناصر اصلی در برابر سیلیس برای سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین.

Fig. 10. Harker diagrams. Variation of main oxides of elements vs. SiO_2 for volcanic rocks of northeast Farmahin.

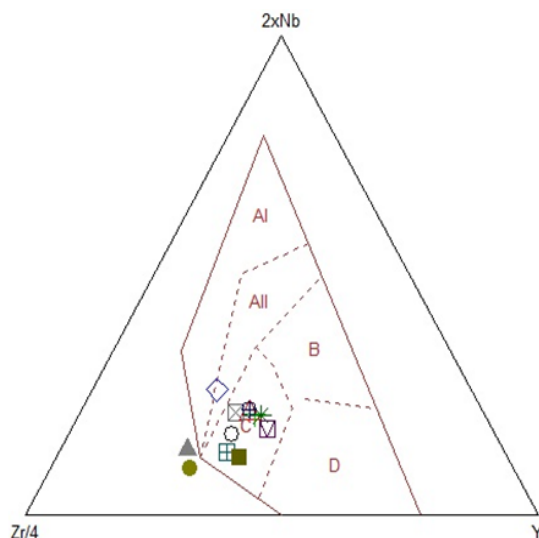


شکل ۱۱. روند مثبت تغییرات Y در برابر Zr

Fig. 11. Positive variation of Y vs. Zr

نمونه آورده شده است. بر طبق نمودار مذکور، سنگهای این ناحیه در قسمت C که مربوط به حاشیه فعال قاره و کمرندهای کوهزایی می‌باشند، قرار گرفته‌اند.

برای تعیین جایگاه تکتونیکی سنگهای ناحیه از نمودارهای Ti- Zr, (Pearce et al., 1977) $MgO-FeO-Al_2O_3$ می‌توان استفاده کرد که در شکل ۱۲ یکی از آنها به‌عنوان

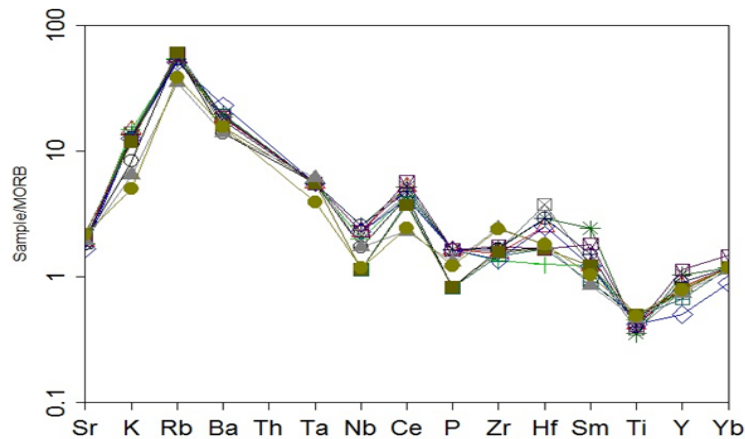


شکل ۱۲. نمودار متمایز کننده جایگاه تکتونیکی برای سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین (Ameri et al., 2009). بر طبق این نمودار تقریباً همه نمونه‌ها در قلمرو C قرار گرفته‌اند. محدود AI آلکالی بازالت‌های درون صفحات، محدود AII بازالت‌های تولیتی و آلکان درون صفحات، محدود B بازالت‌های نوع E-MORB، محدود C بازالت‌های تولیتی درون صفحات و بازالت‌های جزایر قوسی، محدود D بازالت‌های جزایر قوسی و بازالت‌های نوع N-MORB را نشان می‌دهند.

Fig. 12. Tectonic setting discrimination diagram for volcanic rocks of northeast Farmahin (Ameri et al., 2009). According to this diagram, all samples located in C field. AI = Intraplate alkali basalt. AII = Intraplate tholeiite and alkaline basalts. B = E-MORB. C = Intraplate tholeiitic basalts and island arc basalt. D = island arc basalt and N-MORB.

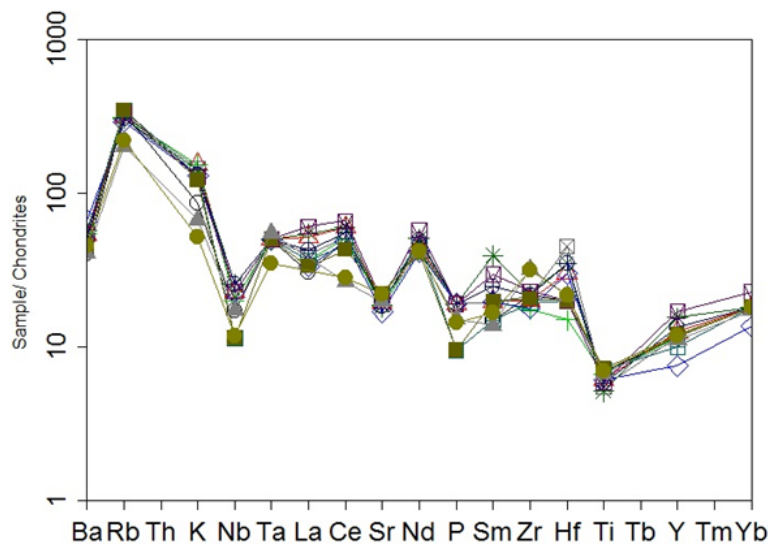
ضمن صعود احتمالاً متحمل پدیده آرایش پوسته‌ای شده و سنگهای تولید شده را به حواشی فعال قاره نسبت می‌دهد. رفتار Sr باتیلوربخشی و تفکیک پلاژیوکلازهای کلسیک کنترل شده است. عناصر نادر خاکی سبک نظیر La، Ce و Nd با افزایش اسیدیته سنگها روند تفریق نزولی را به نمایش می‌گذارند که نشانگر مشارکت آنها در فازهای کانیایی مرتبط با تبلوربخشی و تفکیک بلورین می‌باشد.

الگوی عنکبوتی همه تیپ‌های سنگی منطقه مطالعاتی مذکور که در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ آمده است و عادی‌سازی شده با مورب و کندریت می‌باشند (Rollinson, 1993). دارای آنومالی مثبت Rb و آنومالی منفی Ti و Nb می‌باشند. 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. همگی این موارد در سنگها نشان‌دهنده آن است که ماگمای تولید کننده آنها



شکل ۱۳. نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین که نسبت به مورب به‌هم‌نگار شده‌اند.

Fig. 13. MORB-normalized incompatible element patterns for volcanic rocks of northeast Farmahin.



شکل ۱۴. نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب سنگهای آتشفشانی شمال شرق فرمهین که نسبت به کندریت به‌هم‌نگار شده‌اند.

Fig. 14. Chondrite-normalized incompatible element patterns for volcanic rocks of northeast Farmahin.

نشان‌دهنده شرکت احتمالی پوسته در فرآیندهای ماگمایی باشد. علاوه بر آن، شکل‌گیری آنومالی منفی مذکور توسط آمفیبول کنترل می‌شود که خود یکی از کانیهای مهم در

آنومالی منفی Nb در نمودارهای چندعنصری نرمالیزه (نمودارهای عنکبوتی) یکی از شاخصهای مناسب در تعیین میزان آلودگی با سنگهای پوسته قاره‌ای است و می‌تواند

پردازش ریزالکترونی کانیهایی چون پلاژیوکلاز (لابرادوریت، بیوتیت، آنورتیت)، کلینوپیروکسن (اوزیت، پیژونیت، کلینوانستاتیت)، آمفیبول، کوارتز، بیوتیت، آپاتیت و کانیهای اپک در آنها تشخیص داده شده است. علاوه بر آن نمودارهای مختلف تعیین نوع ماگما، ماگمای سازنده این سنگها را کالکوالکالان معرفی می‌کند (Saunders et al., 1980). روند تغییرات عناصر کمیاب، هم‌روند بوده که این امر دلالت بر خاستگاه مشترک آنها دارد. با توجه به شواهد ساختی، بافتی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و نمودارهای پترولوژیکی رسم شده سنگهای مذکور به محیط فرورانش نسبت داده می‌شود، براین اساس تصور شکل‌گیری ماگمای سازنده فوق از طریق فرآیند ذوب‌بخشی گوشته تهی فوقانی متاسوماتیزه و آرایش اندک ماگمای سازنده با سنگهای پوسته قاره‌ای دور از ذهن نمی‌باشد (Barth et al., 2002; Gioncada et al., 2006). هدف از ارائه این مقاله، تعیین وضعیت ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی و محیط آتشفشانی آنها در جنوب غرب فرمپین بوده است که با توجه به کارهای انجام شده تا حدودی تحقق پیدا کرده است.

قدردانی

از حمایتها، حسن توجه و دقت سرکار خانم رقیه جان‌شکن مسؤول امور آزمایشگاههای سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و نیز نظرات ارزشمند داوران محترم در جهت ارتقاء سطح علمی مقاله، سپاس‌گزاری می‌شود.

گوشته است (Ionov and Hoffmann, 1995). همچنین با توجه به این نکته که هر محصول ماگمایی مشتق شده از یک منشأ گوشته‌ای تهی شده، بدون هیچ آلودگی پوسته‌ای باید یک الگوی عناصر ناسازگار مسطح از خود نشان دهد (Rollinson, 2003). غنی‌شدگی در عناصر ناسازگار و عناصر LILE همچون K, Ba, Rb در نمونه‌های مورد مطالعه احتمالاً در نتیجه آلودگی مذاب با پوسته قاره‌ای است که این ماگما در مسیر صعود به سطوح بالای پوسته دچار این حادثه شده است (Robert et al., 2013). تشابه الگوی REE در همه نمونه‌ها نشانه وجود یک خاستگاه مشترک برای همه ولکانیک‌های مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب گفته شده در بالا، منطقه مورد مطالعه شامل گدازه‌های آتشفشانی و سنگهای آذرآواری می‌باشد. به لحاظ سنی در این منطقه سنگهای قدیمی‌تر از تریاس وجود ندارد و سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه متعلق به ائوسن (لوتسین میانی تا پایانی) می‌باشند که توسط دایکهای جوانتر قطع شده‌اند. به‌علاوه در این زمان فازهای کوه‌زایی (Ghasemi and Talbot, 2006)، در منطقه مورد مطالعه به وقوع پیوسته که سبب ایجاد فورانهای آتشفشانی در هر دو محیط خشکی و دریایی شده است که ایگنمبرلیت‌ها و توفیت‌های موجود شاهدهی بر این ادعا می‌باشند. از نظر حجمی نیز فورانهای اسیدی و حدواسط بیشتر از بازیک می‌باشند. سنگهای آتشفشانی مطالعه شده از نوع آندزیت بازالتی، آندزیت، داسیت و ریوداسیت بوده و براساس کاوش و

References

- Ahmadian, J., Bahadoran, N., Torabi, G. and Morata, M., 2010. Geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks in Arosan Kabood (north-east of Anarak). *Journal of Petrology*, 1(1): 103-120. (in Persian)
- Ameri, A., ashrafi, N. and Karimi qarebaba, H., 2009. Petrology, Geochemistry and tectonics environment of Eocene volcanic rocks in east of Heris, east Azerbaijan, north-west of Iran. *Journal of geosciences*, 18(71): 85-90. (in Persian)
- Barth, M.G., Foley, S.F. and Horn, I., 2002. Partial melting in Archean subduction zones:

- constraints from experimentally determined trace elements partition coefficients between eclogitic material and tonalitic melts under upper mantle conditions. *Precambrian Research*, 113(3-4): 323-340.
- 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 DC, pp. 5-32.
- Clarke, D.B., 1992. *Granitoid Rocks*. Chapman & Hall, New York, 283 pp.

- De La Roche, H., Laterier, J., Grand Claude, P. and Marchel, M., 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1 - R_2 diagrams and major elements- Its relationships with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29(1-4): 183-210
- Emami, M.H., 1991. Geological map of Qom (1/100000). Geological Survey of Iran.
- 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, 16. Springer-verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 390 pp.
- Gioncada, A., Hauser, N., Matteini, M., Mazzuolir, M. and Omarini, R., 2006. Mingling and mixing features in basaltic andesites of the eastern Cordillera (central Andes, 24S): a petrographic and microanalytical study. *Periodico di Mineralogia*, 75(2-3): 127-140.
- Hajian, J., 1970. Geological map of Farmahin (1/100000). 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.
- Kelemen, P.B., Hanghoj, K. and Greene, A.R., 2004. One View of the Geochemistry of Subduction related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 593-659.
- 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., 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: 158-174.
- Pearce, T.H., Gorman, B.E. and Birkett, T.C., 1977. The relationship between major element geochemistry and tectonic environment of basic and intermediate volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 36(1): 121-132.
- Pitcher, W.S., Atherton, M.P., Cobbing, E.J. and Beckinsale, R.D., 1985. *Magmatism at a Plate Edge: the Peruvian Andes*. Blackie, London, 328 pp.
- 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.
- Rollinson, H.R., (translated by Karimzadeh Samarin, A.), 2003. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Tabriz University Press, Tabriz, 557 pp. (in Persian)
- Roosbehani, L. and Arvin, M., 2010. Petrography, geochemistry and petrogenesis of rhyolitic and andesitic rocks in Nasir Abad, south-west, Kerman. *Journal of Petrology*, 1(2): 1-16. (in Persian).
- Saunders, A.D., Tarncy, J. and Weaver, S.D., 1980. Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas. *Earth and Planetary Science Letters*, 46(3): 344-360.
- Shelley, D., 1993. *Igneous and metamorphic rocks under the microscope*. Chapman & Hall, University Press, Cambridge, Great Britain, 445 pp.
- Tabatabai Manesh, M., Sayed 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)
- Tsuchiyama, A., 1985. Dissolution Kinetics of plagioclase in the melt of the system diopside - albite - anorthite, and origin of dusty plagioclase in andesite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 89(1): 1-16.
- White, P. J., 1985. Age, petrology and geochemistry of Wairakau Andesites, Whangaroa, Northland. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 28(4): 635-647.
- Wilson, M., 1989. *Igneous petrogenesis A global tectonic approach*. Unwin Hyman, London, 466 pp.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products*

- using immobile elements. *Chemical geology*, 20: 325-343.
- 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, Kagoshima, Japan.
- Zarasvandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad Porphyry Copper Deposits, Central Iran. *International Geology Review*, 47(6): 620-645.
- 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)



Petrology, mineral chemistry and tectono-magmatic setting of volcanic rocks from northeast Farmahin, north of Arak

Reza Zarei Sahamieh* and Sara Ebrahimi

Department of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorram abad, Iran

Submitted: Sep. 19, 2013

Accepted: Jan. 21, 2014

Keywords: *Farmahin, calc-alkaline, continental margin, orogenic*

Introduction

The study area is a small part of the Urumieh-Dokhtar structural zone in the Markazi province, located in the northeastern part of the Farmahin, north of Arak (Hajian, 1970). The volcanic rocks studied from the area include andesite, dacite, rhyodacite, ignimbrite and tuff of Middle to Late Eocene age (middle Lutetian to upper Lutetian) (Ameri et al., 2009). It seems that folding and faulting is caused in sedimentary basin and volcanic activities. On the other hand, except of orogeny maybe rifting had rule in eruption so that this case has seen in the other area such as Taft and Khezrabad in central Iran (Zarei Sahamieh et al., 2008). The oldest formation in the studied area is Triassic limestones. The dominant textures of these rocks are porphyritic, microlite porphyritic, microlitic and rarely sieve-texture. Sieve texture and dusty texture (dusty plagioclases) indicates magma mixing. Mineralogically, they contain plagioclases, clinopyroxenes, amphiboles, quartz and biotite as the main constituents and zircon, apatite, and opaque minerals as accessories. Plagioclases in the andesitic and basaltic-andesite rocks are labradorite, bytownite and anorthite (based on electron microprobe). Moreover, plagioclases in andesitic rocks show that H₂O is lesser than 2.5 percent. Amphibole is found in both plagioclases and groundmass.

Materials and methods

In this article are used different analyses methods such as XRF, ICP-MS and EPMA.

Whole-rock major and trace element analyses were determined with ICP-MS method.

The major and trace element composition of some rock was determined by electron probe micro-analysis (EPMA) using a Cameca SX100

instrument in Iran Mineral Processing Research Center (IMPRC). Moreover, whole-rock major and some trace element analyses for some samples were obtained by X-ray fluorescence (XRF), using an ARL Advant-XP automated X-ray spectrometer.

Results

Chemical data based on electron micro probe studies of minerals indicate the presence of labradorite, bytownite, anorthite as the plagioclases in volcanic rocks, as well as augite, pigeonite and clinoenstatite among the pyroxenes are abundant. Microscopic study of these lavas and pyroclastic rocks show evidences of magmatic contamination in the form of oscillatory zoning, resorption rims in plagioclase and presence of basic inclusions. The presence of oxidized amphibole rims (in hornblende) indicates the high temperature of the magma at the time of eruption.

Based on geochemistry especially the ratio of Eu/Eu* is variable between liquid and solid phases. The calculated of this ratio in studied rocks show negative anomaly (Eu<1) (Tabatabai Manesh et al., 2010).

According to classification diagrams is used of different diagrams for example TAS/SiO₂, R1-R2 and Zr/TiO₂-Nb/Y. TAS/SiO₂ diagram show that the rocks are of basaltic-andesite, andesite and dacite. R1-R2 diagram show these rocks are andesite, andesi-basalt, dacite and rhyodacite. Finally, based on Zr/TiO₂-Nb/Y the rocks in area under study are andesite, basalt, dacite and rhyodacite type.

The geochemical diagrams (such as AFM) for identify of mama series show that the rocks studied are calc-alkaline and A/NK-A/CNK show

*Corresponding authors Email: zareisah@yahoo.com

magma is peraluminous to metaluminous in nature. Enrichment of incompatible and LILE elements such as Ba, K and Rb show that contamination of magma with continental crust have been occurred in this area. Similarity between REE patterns in all samples is related to common source for all volcanic rocks in the studied area.

Discussion

The tectonic setting diagrams show that these rocks belong to the continental margin which have been involved in a subduction zone and belong to the orogenic andesite belt.

The position of the samples on the major elements-SiO₂ diagrams indicate that magma differentiation has been occurred. Spider diagrams show depletion and enrichment that the type of rocks in studied area have positive anomalous of Rb and negative anomalous of Nb and Ti, this phenomenon shows contamination between magma and crustal rocks (Ghasemi and Talbot, 2006; Rollinson, 1993). Comparison of spider diagrams normalized to chondrite or MORB also show that the parent magma has been contaminated. It appears that assimilation and fractional crystallization (AFC) were the dominant processes in the genesis of the studied volcanic rocks (Roozbehani and Arvin, 2010). As a conclusion and regarding to what we said in this article, the area under study are included both lava and pyroclastic rocks such as andesite, dacite, rhyodacite, ignimbrite, tuff and tuffits that cut by younger dykes and belong to Middle to Late Eocene age (middle Lutetian to upper Lutetian). There is no rocks older than Triassic age. Volcanic rocks have been occurred in two environments, dry and water together. From volumetric point of view, Aciditic and intermediate rocks such as dacite, rhyodacite and andesite are the most in the area under study (Ahmadian et al., 2010). Basitic rocks are a lesser amount than the others.

Regarding to all evidences such as field works, structurally, texturally, mineralogically, geochemically and petrologically show that rocks in studied area belong to subduction zone and magma that created of these rocks have been

originated from mantle and contaminated with continental crust during eruption and rising.

Acknowledgments

The authors wish to thank Journal Manager and reviewers who critically reviewed the manuscript and made valuable suggestions for its improvement.

References

- Ahmadian, J., Bahadoran, N., Torabi, G. and Morata, M., 2010. Geochemistry and petrogenesis of volcanic rocks in Aroosan Kabood (north-east of Anarak). *Journal of Petrology*, 1(1): 103-120. (in Persian)
- Ameri, A., ashrafi, N. and Karimi qarebaba, H., 2009. Petrology, Geochemistry and tectonics environment of Eocene volcanic rocks in east of Herris, east Azerbaijan, north-west of Iran. *Journal of geosciences*, 18(71): 85-90. (in Persian)
- 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.
- Hajian, J., 1970. Geological map of Farmahin (1/100000). Geological Survey of Iran.
- Rollinson, H.R., 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation and Interpretation*. Longman scientific and technical, London, 352 pp.
- Roozbehani, L. and Arvin, M., 2010. Petrography, geochemistry and petrogenesis of rhyolitic and andesitic rocks in Nasir Abad, south-west, Kerman. *Journal of Petrology*, 1(2): 1-16. (in Persian).
- Tabatabai Manesh, M., Sayed 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)
- 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)