



سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی سنگهای آتشفشانی ترشیری سلم‌آباد (جنوب شرق سرپیشه)، شرق ایران

معصومه گودرزی، سید سعید محمدی* و محمدحسین زرین‌کوب

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۸، پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۲۰

چکیده

منطقه مورد مطالعه در ۵ کیلومتری جنوب شرق سرپیشه در استان خراسان جنوبی، در حاشیه خاوری بلوک لوت و در حدفاصل زون زمین‌درز سیستان واقع شده است. در این محدوده، رخنمون قابل توجهی از فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری با ترکیب کلی حدواسط (آندزیتی) به همراه نهشته‌های آذرآوری متشکل از توف، برش و آگلومرا وجود دارد. سنگهای گدازه‌ای شامل آندزیت (پیروکسن آندزیت) و آندزیت بازالتی می‌باشند. منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و وجود حاشیه‌های واکنشی در اطراف پیروکسن‌ها از نشانه‌های شرایط عدم تعادل حین انجماد ماگما می‌باشد. این سنگها دارای ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم متوسط تا پتاسیم بالا هستند و غنی‌شدگی LILE (به استثنای Ba) و تهی‌شدگی HFSE نشان می‌دهند. میزان کل عناصر نادر خاکی در گدازه‌های منطقه سلم‌آباد ۱۰۲ تا ۱۵۵ ppm بوده و الگوی یکنواخت با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE (۹/۷۱-۷/۳۵ (La/Yb)_N و ۵/۴۳-۶/۸۱ (Ce/Yb)_N)، طرح نسبتاً تخت عناصر نادر خاکی سنگین (۱/۰۵-۱/۴۰ (Tb/Yb)_N) و آنومالی منفی ضعیف Eu (میانگین $Eu/Eu^* = 0.78$) نشان می‌دهند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد نظیر غنی‌شدگی LREE نسبت به HREEها به همراه غنی‌شدگی در LILEها و وجود بی‌هنجاری منفی Nb، Ti و P در روند تغییرات عناصر کمیاب بیانگر وابستگی آنها به مناطق فرورانش است. مقدار $Mg^{\#}$ در آندزیت‌های سلم‌آباد بین ۴۵/۴ تا ۵۷/۱ و در آندزیت‌های بازالتی ۶۹/۸ است که بیانگر نقش اجزای گوشته‌ای در تشکیل آنهاست. مقدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ اولیه برای آندزیت‌های سلم‌آباد ۰/۷۰۴۵ و مقدار $\epsilon_{Nd}(t)$ برابر ۳/۱ می‌باشد که منشأ گوشته‌ای آنها را تأیید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: آندزیت، گوشته غنی‌شده، الیگوسن، کالک‌آلکان، سرپیشه

مقدمه

در بلوک لوت در ژوراسیک میانی (۱۶۵-۱۶۲ میلیون سال) شروع شده (Karimpour et al., 2011) و در ترشیری به اوج خود رسیده است (Jung et al., 1983; Karimpour et al., 2011). سنگهای آتشفشانی و نیمه‌عمیق ترشیری بیش از نیمی از بلوک لوت را با ضخامت بیش از ۲۰۰۰ متر پوشانده و در اثر فرورانش، پیش از برخورد صفحات عربی و آسیا تشکیل شده است (Karimpour et al., 2011; Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983; Berberian et al., 1982). سنگهای آتشفشانی آندزیتی همراه داسیت و ریوداسیت‌ها طی فاصله زمانی ۵۰ میلیون سال از کرتاسه تا نئوژن زیرین فوران کرده است. به نظر می‌رسد که شدت

منطقه مورد مطالعه در ۵ کیلومتری جنوب شرق سرپیشه در استان خراسان جنوبی بین طول جغرافیایی ۴۷° ۵۹' تا ۵۳° ۵۹' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۰' ۳۲° تا ۳۴' ۳۲° شمالی واقع شده است (شکل ۱). از دیدگاه تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی ایران، این منطقه در حاشیه خاوری بلوک لوت (Jung et al., 1983; Nazari and Salamati, 1999; Karimpour et al., 2011; Arjmandzadeh et al., 2011; Richards et al., 2012; Karimpour et al., 2012) و در حدفاصل زون زمین‌درز سیستان (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983; Saccani et al., 2010; Pang et al., 2012) واقع شده است. فعالیت ماگمایی

این مجموعه دگرگونی است. رخساره‌های پالئوژن (پالئوسن-اوسن) در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه در برگیرنده نهشته‌های توربیدیتی نازک لایه‌سبز و خاکستری‌رنگ است که از تناوب شیل‌های سبز تیره تا خاکستری متمایل به سبز (شکل ۲-۱) آتشفشان‌زادی (Volcanogenic) و ماسه‌سنگ‌های متوسط لایه با رنگ قهوه‌ای تشکیل شده است (PeF).

بر پایه داده‌های صحرایی، در اوسن پایانی تکاپوی آتشفشانی در منطقه آغاز شده است. پس از فعالیت‌های آتشفشانی اوسن میانی و پایانی، که بیشتر ترکیبی حدواسط و آندزیتی دارند و در میان نهشته‌های گوناگون جای گرفته‌اند، در زمان اوسن پایانی-الیگوسن، رخساره‌هایی متناوب از توف، برش، آگلومرا، آندزیت، داسیت و دیگر سنگ‌های وابسته در منطقه سربیشه رخمون یافته است (Nazari and Salamati, 1999). در بخش‌های مرکزی و شرق منطقه مورد مطالعه، واحد آذرآواری متشکل از لیتیک توف، برش (شکل ۲-۱) و آگلومرا (T^{lm}) وجود دارد (شکل ۱) که در بخش بالایی به توف‌های اسیدی سفید رنگ (شکل ۲-۱ و C) تبدیل می‌شود. بخش عمده این واحد، لیتیک توف است که در پاره‌ای افقها، در برگیرنده شیشه‌های آتشفشانی بوده و حالت نواری نشان می‌دهد (شکل ۲-۱). در جنوب کوه کفتاری، طبقات آذرآواری که به شدت خرد شده و تکتونیزه است به صورت متناوب با ماسه‌سنگ دیده می‌شود. در بخش شمالی منطقه، آمیزه‌ای تفکیک نشده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌ها به صورت مجموعه‌ای تکتونیزه و خرد شده (EO^{br}) در مجاورت دیگر واحدهای پالئوژن قرار دارد (شکل ۱). واحد آتشفشانی EO^{ap} شامل گدازه‌های آندزیتی، از گسترش قابل توجهی در بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد. این سنگها به صورت گنبدهایی با ساخت توده‌ای و گاهی ستونی (شکل ۲-۱) بر روی واحد آذرآواری (T^{lm}) قرار گرفته (شکل ۲-۱) و ارتفاعات منطقه نظیر کوه‌های کفتاری، سرتخت و غزله را می‌سازند (شکل ۱). بخش بالایی این واحد دارای ترکیب آندزیتی-بازالتی و بافت حفره‌ای است. بالاترین واحد آتشفشانی با ترکیب بازالت آندزیتی (b)، به رنگ قهوه‌ای تیره و سیاه به صورت روانه‌هایی گسترده، چهره دشت را در غرب سلم‌آباد پوشانده و در برخی مناطق ساخت منشوری دارند. نهشته‌های آواری عهد حاضر (Q^{cog}) به صورت

فعالیت آتشفشانی طی این مدت به میزان قابل توجهی متغیر بوده است (Jung et al., 1983). در بخش‌های شرقی روستای سلم‌آباد در جنوب شرق سربیشه، رخمون قابل توجهی از فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری (اوسن-الیگوسن تا پلیوسن) با ترکیب کلی حدواسط به همراه نهشته‌های آذرآواری مشاهده می‌شود. تاکنون مطالعاتی توسط محققان مختلف در مورد سنگ‌های آتشفشانی منطقه سربیشه انجام شده است (Nazari, 2011; Mohammadi, 2012; Goodarzi, 2011; Makipour, 2011; Pang et al., 2013). پژوهش سعی شده تا با استفاده از شواهد ژئوشیمیایی، خاستگاه و جایگاه زمین‌ساختی مجموعه آتشفشانی جنوب شرق سربیشه مورد بررسی قرار گیرد که می‌تواند در رابطه با شناخت فعالیت‌های ماگمایی بلوک لوت مفید باشد.

روش مطالعه

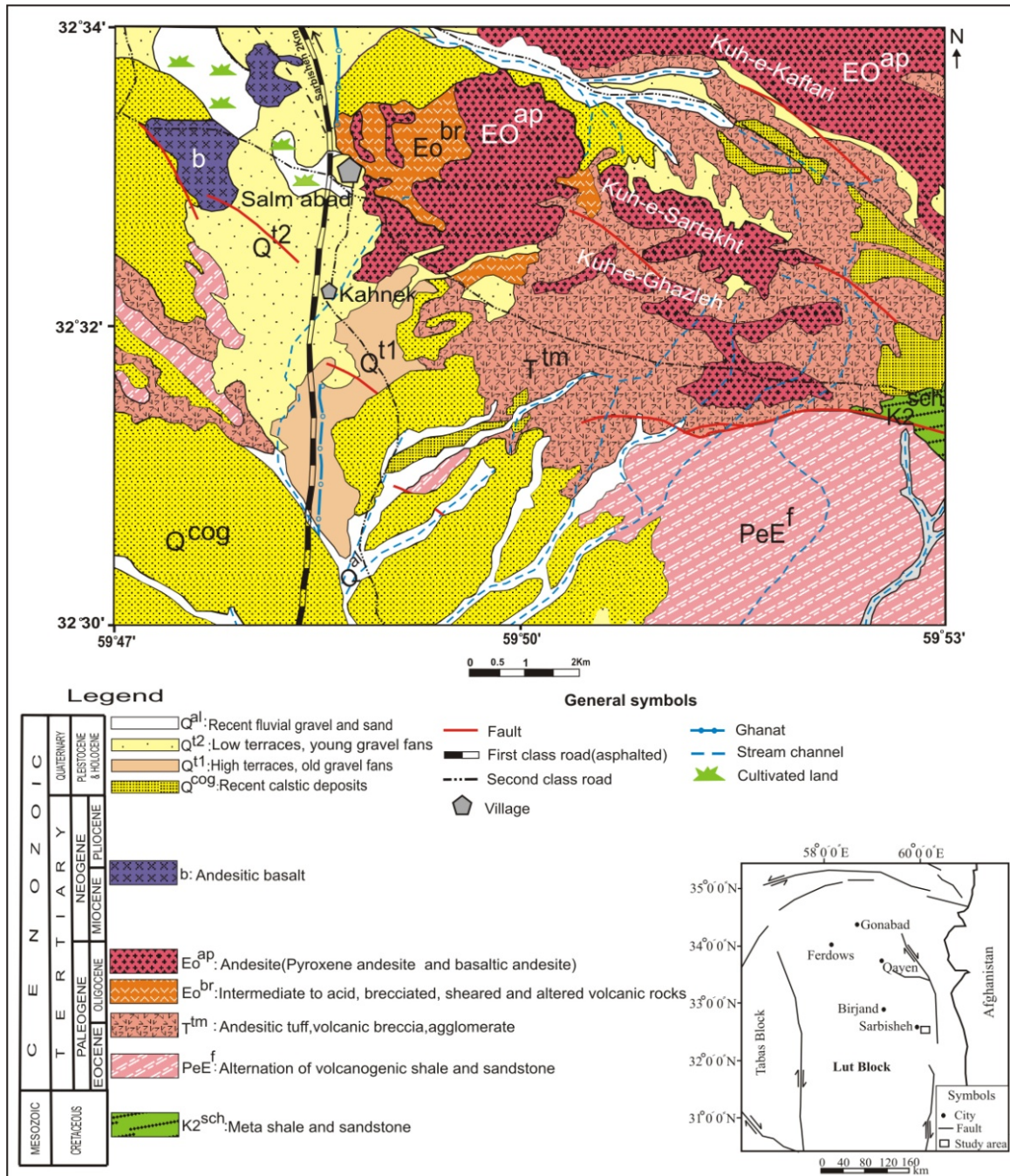
در این پژوهش پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری، تعداد ۸۵ مقطع نازک تهیه گردید و مورد مطالعات پتروگرافی دقیق قرار گرفت. ۱۱ عدد از نمونه‌های دارای دگرسانی کمتر برای آنالیز شیمیایی انتخاب و در شرکت SGS کانادا به روش ICP (برای عناصر اصلی) و ICP-MS (برای عناصر کمیاب و نادر خاکی) مورد آنالیز قرار گرفتند. داده‌های حاصل از آنالیز به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی و تعیین جایگاه تکتونیکی واحدهای مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزارهای مختلف تعبیر و تفسیر شد. همچنین از نتایج آنالیز ایزوتوپی و سن سنجی یک نمونه آندزیت مربوط به مطالعات قبلی (Pang et al., 2013) استفاده گردید.

زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سربیشه (Nazari and Salamati, 1999) قرار گرفته است. قدیمی‌ترین سنگ‌های موجود در منطقه مورد مطالعه، سنگ‌های رسوبی شیل و ماسه‌سنگ متعلق به کرتاسه (Nazari and Salamati, 1999) است که رخمون کوچکی از آن در بخش شرقی وجود داشته (شکل ۱) و به علت قرار گرفتن در مجاورت گسلها، دچار دگرگونی در حد رخساره شیبست سبز (اسلیت-فیلیت) تا رخساره‌هایی با دگرگونی بالاتر شده‌اند (K_2^{sch}). وجود چین‌خوردگی‌های شدید و سطوح شکستگی و درزه‌های فراوان به همراه رگه‌هایی از کلسیت و سیلیس از ویژگی‌های

واحد b می‌باشد. نهشته‌های آبرفتی قدیمی (Q^{t1}) به‌طور عمده شامل قلوه سنگهای گردشده بدون سیمان است. دانه‌های تشکیل‌دهنده بادبزنهاي شنی جوان (Q^{t2}) به سوی کفه‌های گلی به‌طور کاهنده تا اندازه ماسه و سیلت می‌رسد.

طبقه‌هایی سخت نشده و افقی در بخشهای جنوبی، غرب و شمال منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. بیشتر قطعات پدیدآورنده این کنگلومرا، سنگهای آتشفشانی و در غرب و جنوب محدوده مطالعاتی شامل قطعاتی از بازالت آندزیتی

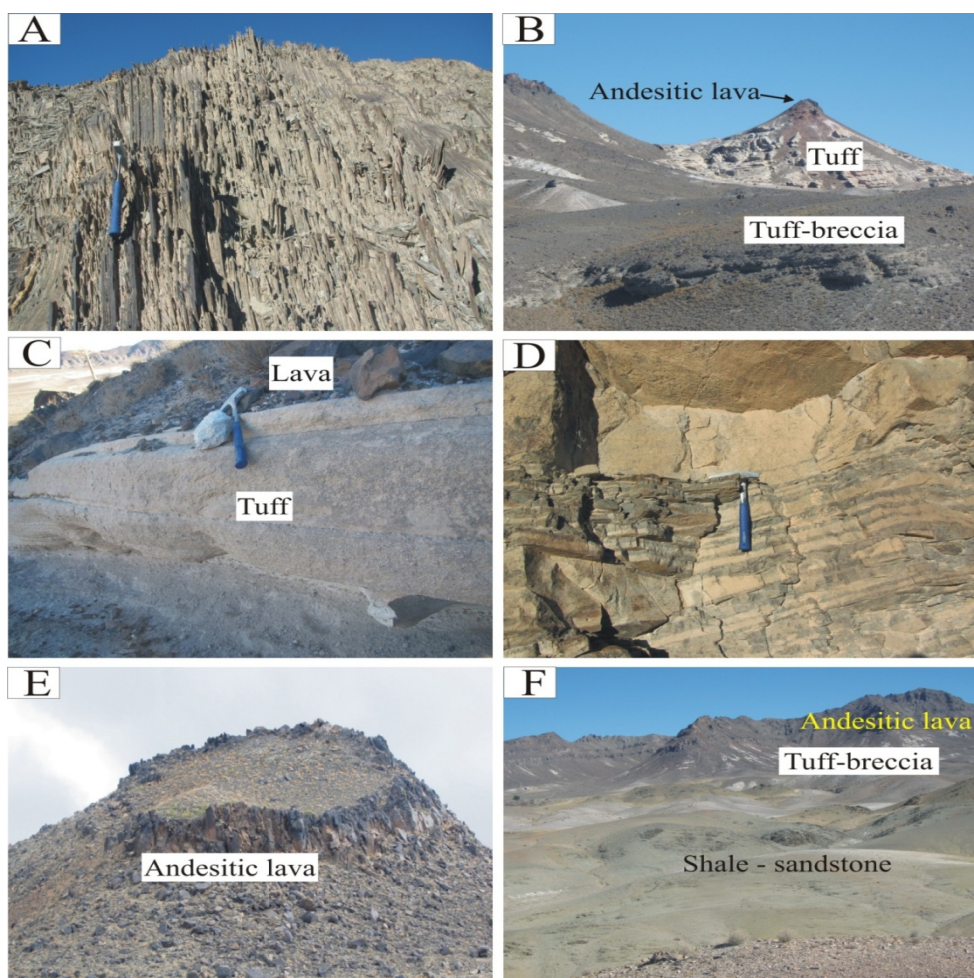


شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه سلم‌آباد بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ سربیشه (Nazari and Salamati, 1999)، با اصلاحات و ترسیم مجدد؛ موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه ساده بلوک لوت (Karimpour et al., 2011) با علامت مستطیل نشان داده شده است.

Fig. 1. Geological map of Salm abad based on 1:100,000 geological map of Sarbisheh (Nazari and Salamati, 1999), modified and redrawn. Location of the study area showing on a simple map of Lut block (Karimpour et al., 2011) with rectangular symbol.

همت‌آباد با طول حدود ۱۴ کیلومتر، یکی از قطعات گسلی سربیشه است که موقعیت هندسی آن N40W/83SW با سازوکار معکوس با مؤلفه راست‌گرد می‌باشد (Karimi, 2012). عملکرد این گسل سبب خردشدگی واحدهای سنگی در محدوده مطالعاتی و تشکیل پهنه‌های دگرسانی شده است. علاوه بر این، وجود پرتگاههای گسلی در جنوب روستای سلم‌آباد و بالآمدگی رسوبات کواترنری، نشان از فعالیت پهنه گسلی در کواترنر دارد.

از دیدگاه ساختاری، منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عملکرد پهنه گسلی سربیشه و سرشاخه‌های آن قرار دارد. این پهنه گسلی با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر در راستای یکی از سرشاخه‌های گسل نه‌خاوری قرار دارد که با تداوم به سمت جنوب به بخش اصلی گسل نهبندان متصل می‌شود (Karimi, 2012). پهنه گسلی سربیشه به سه قطعه با طولهای مختلف تقسیم می‌شود که مبنای این تقسیم‌بندی، ناپیوستگی هندسی در راستای پهنه گسلی بوده است. گسل



شکل ۲. A: نمایی از شیل و ماسه سنگهای دگرگون‌شده در جنوب شرق سربیشه، دید به سوی شمال غرب، B و C: حضور گدازه‌های آندزیتی بر روی توف‌ها در جنوب شرق سربیشه، دید به سوی شمال شرق، D: لیتیک توف در برگیرنده شیشه آتشفشانی و دارای حالت نواری در جنوب شرق سربیشه، E: رخنمون واحدهای گدازه‌های آندزیتی در بخشهای مرکزی و شمال شرق سلم‌آباد به صورت گنبدهایی با ساخت توده‌ای و گاهی ستونی، دید به سوی شمال شرق، F: نمایی از قرارگیری گدازه و آذرآواری‌ها بر روی شیل و ماسه‌سنگ در شرق روستای کهنک، دید به سوی شمال شرق.

Fig. 2. A: View of metamorphosed shale and sandstone in southeast of Sarbisheh, look toward northwest, B and C: Presence of andesitic lavas on top of tuffs in southeast of Sarbisheh, look toward northeast. D: Lithic tuff with volcanic glass and band shape in southeast of Sarbisheh, E: Outcrops of andesitic units in central and northeastern parts of Salm abad as domes with massive and columnar structure, look toward northeast, F: View of lava and pyroclastics on top of shale and sandstone in east of Kahnek village, view toward northeast.

پتروگرافی

سنگهای آتشفشانی جنوب شرق سربیشه شامل سنگهای آذرآواری و گدازه‌ای می‌شوند. واحدهای گدازه‌ای دارای ترکیب کلی آندزیتی بوده و شامل آندزیت (پیروکسن آندزیت) و آندزیت بازالتی هستند.

آندزیت (پیروکسن آندزیت)

نمونه‌های آندزیتی به‌رنگ خاکستری تیره و در قسمت‌های شمالی منطقه، به رنگ قرمز دیده می‌شوند. این سنگها دانه‌ریز و پورفیری بوده و در نمونه دستی آنها بلورهای روشن پلاژیوکلاز قابل تشخیص است. بافت غالب آندزیت‌ها، پورفیری-میکرولیتی (شکل ۳-A و B)، میکرولیتی شیشه‌ای (شکل ۳-C) و گاهی گلومروپورفیری می‌باشد. فنوکریست‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار پلاژیوکلاز با اندازه ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر با ترکیب آندزین-الیگولاکاز و خمیره میکرولیتی، حدود ۷۰-۷۵ درصد این سنگها را تشکیل داده است. برخی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، در بخش‌های مرکزی به کربنات تبدیل شده‌اند (شکل ۳-C). بافت‌های غیر تعادلی شامل منطقه‌بندی، بافت غربالی (شکل ۳-B) و خوردگی خلیجی در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز وجود دارد. بر اساس نظر (Housh and Luhr, 1991) ترکیب پلاژیوکلازها علاوه بر ترکیب و دمای ماگما به گازهای ماگمایی نیز بستگی دارد. در هنگام فوران، مقدار زیادی از گازها از دست رفته و پلاژیوکلازها واجد منطقه‌بندی می‌شوند. همچنین، گاهی اوقات کاهش ناگهانی فشار به دلیل فوران ماگمایی سبب آزاد شدن سیالات ماگمایی و از بین رفتن تعادل میان مذاب- بلور و ایجاد منطقه‌بندی نوسانی می‌شود (L'Heureux and Katsev, 2006). محتوای آب مذاب و دما از عوامل مهم تأثیرگذار در ترکیب و پایداری پلاژیوکلاز است. از دست‌دادن سریع مواد فرار در حین فوران یا نشت آب از ماگما‌های آب‌دار یکی از عوامل تجزیه پلاژیوکلازها و ایجاد بافت غربالی می‌باشد (Monfaredi et al, 2009).

به اعتقاد (Nelson and Montana, 1992; Zellmer et al, 2003) منطقه‌بندی، بافت غربالی و خوردگی خلیجی در پلاژیوکلازها از نشانه‌های وجود شرایط عدم تعادل حین انجماد ماگما بوده و احتمالاً در اثر صعود سریع ماگما، افزایش فشار بخار آب، فرآیندهای آلیس و هضم و کاهش فشار حاکم

بر ماگما ایجاد شده‌اند. فنوکریست‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار پیروکسن از نوع اوژیت (شکل ۳-A و B)، گاهی دارای منطقه‌بندی یا ماکل ساعت‌شنی به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد یافت می‌شود که نشانه رشد نامتعادل در دو منطقه بلور و در حین رشد همزمان آنهاست (Vernon, 2004). وجود حاشیه‌های واکنشی در اطراف پیروکسن‌ها در زمره بافت‌های غیر تعادلی موجود هستند. برخی نمونه‌ها با افزایش میزان پیروکسن به پیروکسن آندزیت تغییر یافته (شکل ۳-D) و تجمعات پلاژیوکلاز و پیروکسن در این نمونه‌ها سبب پیدایش بافت گلومروپورفیری (شکل ۳-E) شده است. هورنبلند به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار (شکل ۳-A) به مقدار کم (حدود ۵ درصد) در آندزیت‌های منطقه مورد بررسی وجود دارد. این کانی در اثر دگرسانی به کلریت، کلسیت و کانیه‌های کدر تبدیل شده است.

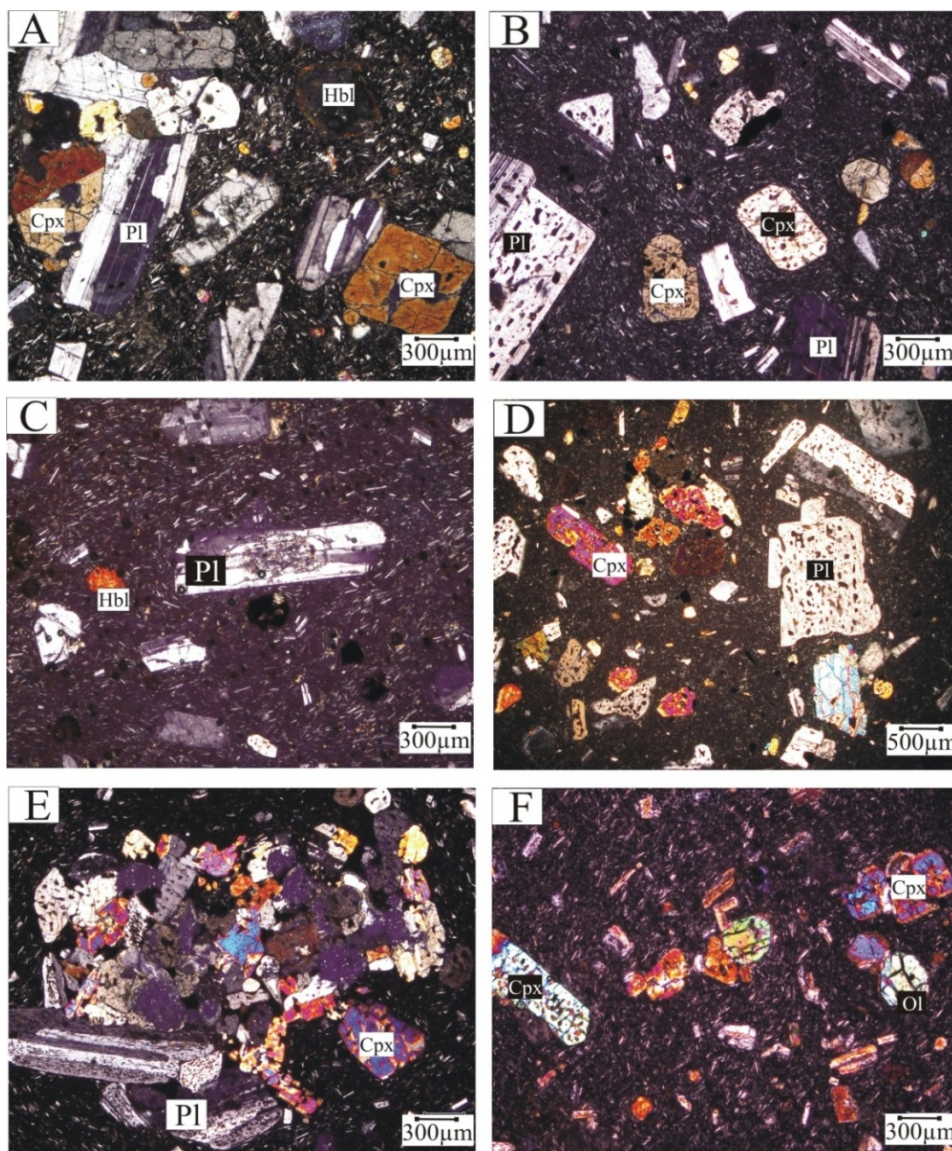
آندزیت بازالتی

این سنگها نسبت به آندزیت‌ها از پراکندگی کمتری در منطقه برخوردار بوده و در قسمت‌های شمالی، مرکزی و غرب منطقه رخنمون دارند. بافت غالب آنها پورفیری با زمینه میکرولیتی (شکل ۳-F)، شیشه‌ای، گلومروپورفیری و گاهی حفره‌ای است و تیره‌تر از آندزیت‌ها هستند. پلاژیوکلاز به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد به‌صورت درشت‌بلور و نیز میکرولیت در زمینه دیده می‌شوند. اندازه این بلورها از ۰/۵ تا حدود ۲ میلی‌متر می‌رسد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در برخی از نمونه‌ها بافت غربالی نشان داده و میکرولیت‌ها بافت جریانی دارند. همچنین، پلاژیوکلازها در بعضی نمونه‌ها دگرسان شده و از مرکز به کربنات تبدیل شده‌اند. درشت‌بلورهای نیمه شکل‌دار و شکل‌دار کلینوپیروکسن (اوژیت)، با اندازه ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر از سازندگان اصلی این سنگها بوده (شکل ۳-F) و در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد حجم این سنگها را به خود اختصاص داده‌اند. در اطراف برخی کلینوپیروکسن‌ها حاشیه‌های دگرسان شده از اکسیدهای آهن قرمز رنگ و کلریت وجود دارد. الیوین اغلب به‌صورت ریزبلور و به‌ندرت درشت بلور (شکل ۳-F) حدود ۵ درصد این سنگها را تشکیل می‌دهد. این کانی اغلب از حاشیه و در برخی موارد به‌طور کامل ایدنگزیتی و به‌ندرت به کلریت تبدیل شده است. کانیه‌های رسی، کلریت، کلسیت و کانیه‌های

کدر، مهمترین کانیهای حاصل از دگرسانی در این سنگها هستند.

ژئوشیمی

نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۳. ویژگیهای پتروگرافی آندزیت‌های منطقه سلم‌آباد. A: بافت پورفیری با زمینه میکرولیتی B: بافت‌های غیر تعادلی نظیر بافت غربالی در پلاژیوکلازها و حضور کلینوپیروکسن‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار C: بافت پورفیری با زمینه میکرولیتی شیشه‌ای، هورنبلندهای نیمه شکل‌دار و دگرسانی بخش مرکزی پلاژیوکلاز به کربنات D: بافت غربالی در پلاژیوکلاز و فراوانی پیروکسن در پیروکسن آندزیت‌ها E: تجمعات پلاژیوکلاز و پیروکسن و تشکیل بافت گلومروپورفیری در پیروکسن آندزیت‌ها F: الیوین ریزبلور به‌همراه کلینوپیروکسن در آندزیت‌های بازالتی (نور در تمام شکلهای XPL است). علائم اختصاری کانیها از (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 3. Petrographic characteristics of Salm abad andesites, A: Porphyritic texture with microlitic groundmass, B: Disequilibrium textures such as sieve in plagioclases and presence of euhedral to subhedral clinopyroxenes, C: Porphyritic texture with vitric microlitic groundmass, subhedral hornblendes and alteration of plagioclase to carbonate in central part, D: Sieve texture in plagioclase and abundant pyroxene in pyroxene andesites, E: Plagioclase and pyroxene assemblages and formation of glomeroporphyritic texture in pyroxene andesites, F: Microcrystals of olivine with clinopyroxene in basaltic andesites (all pictures in crossed polarized light). Mineral abbreviations from (Whitney and Evans, 2010).

جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی (درصد وزنی) و کمیاب (ppm) سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد (جنوب شرق سریشه)

Table 1. Whole rock major (wt.%) and trace element (ppm) composition of the Salm abad volcanic rocks (southeast of Sarbisheh)

Sample No.		M4-3	M1-8	M5-22	M4-18	M1-9	M5-15
Rock type		Andesite	Andesite	Andesite	Andesite	Andesite	Andesite
Sample location	X	59°51'31"	59°51'55"	59°52'49"	59°50'49"	59°52'59"	59°49'40"
	Y	32°32'19"	32°33'57"	32°33'38"	32°32'47"	32°33'17"	32°33'32"
SiO ₂		60.9	61.7	61.6	61.8	61.8	61.4
TiO ₂		0.91	0.86	0.72	0.94	0.9	0.95
Al ₂ O ₃		16.4	15.7	16.5	16.4	16.8	17.2
FeO _t		5.08	5	4.7	5.16	4.89	5.11
MnO		0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.04
MgO		2.46	2.67	3.16	2.4	1.9	2.58
CaO		4.89	5.1	5.57	4.7	4.53	4.7
Na ₂ O		3.7	2.6	3.6	3.01	3.1	4.1
K ₂ O		2.69	3.43	1.4	2.74	3.08	1.06
P ₂ O ₅		0.21	0.19	0.21	0.21	0.21	0.21
LOI		1.9	2.78	2.47	2.3	2.39	2.51
Total		99.22	100.1	100.02	99.72	99.61	99.4
Mg [#]		50	54	57	50	45	50
A.R.		1.86	1.82	1.59	1.75	1.82	1.62
V		104	81	90	97	86	88
Co		15.7	14.1	16.5	14.6	11.5	10.2
Ni		35	24	69	22	13	29
Zn		61	68	57	68	61	72
Rb		117	122	80.6	115	136	92.6
Sr		360	350	400	350	410	370
Y		25.3	20.3	19.3	25.4	27.1	24.1
Zr		256	190	183	266	304	263
Nb		14	11	10	15	15	15
Cs		7.7	6.7	3.9	7.9	9.0	6.0
Ba		390	480	340	400	620	370
Ta		0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
Th		13.5	11.6	9.6	13.5	15.2	13.7
U		2.88	2.34	1.97	2.81	3.03	2.71
Ga		19	17	18	20	21	20
Hf		6	5	5	6	8	7
La		32.4	26.5	25	32	33.1	31.7
Ce		59.6	50.9	47.0	60.5	64.4	57.9
Pr		6.74	5.57	5.12	6.86	7.20	6.56
Nd		24.9	20.2	18.8	25.4	26.5	24.8
Sm		4.8	3.9	3.5	4.7	5.2	4.8
Eu		1.05	0.88	1.04	1.16	1.15	1.17
Gd		4.69	3.70	3.45	4.64	4.69	4.76
Tb		0.73	0.55	0.52	0.76	0.78	0.69
Dy		4.40	3.75	3.32	4.66	4.87	4.22
Ho		0.88	0.70	0.67	0.91	0.95	0.86
Er		2.59	2.19	2.03	2.72	2.80	2.27
Tm		0.34	0.29	0.26	0.35	0.39	0.34
Yb		2.5	2.0	1.8	2.4	2.6	2.2
Lu		0.40	0.29	0.27	0.39	0.40	0.35
(La/Yb) _N		8.74	8.93	9.37	8.99	8.58	9.71
(Ce/Yb) _N		6.17	6.58	6.75	6.52	6.41	6.81
(Tb/Yb) _N		1.29	1.21	1.27	1.40	1.32	1.38
Eu/Eu*		0.68	0.71	0.92	0.76	0.71	0.75

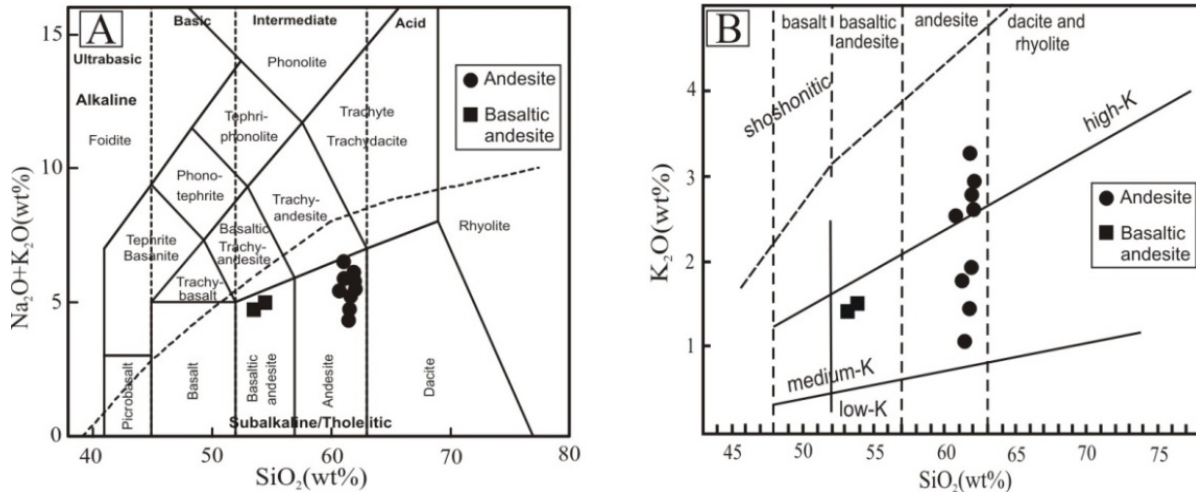
ادامه جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی (درصد وزنی) و کمیاب (ppm) سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد (جنوب شرق سریشه)

Table 1 (continued). Whole rock major (wt.%) and trace element (ppm) composition of the Salm abad volcanic rocks (southeast of Sarbisheh)

Sample No.		M6-7	M4-10	M5-3	M2-11	M3-11
Rock type		Px-andesite	Px-andesite	Px-andesite	Basaltic andesite	Basaltic andesite
Sample location	X	59°51'23"	59°49'38"	59°51'1"	59°47'44"	59°48'10"
	Y	32°31'38"	32°32'47"	32°32'3"	32°33'3"	32°33'49"
SiO ₂		60.97	61.8	61.7	54	53.4
TiO ₂		0.75	0.72	0.88	0.74	0.74
Al ₂ O ₃		16.9	15.9	16.4	16.6	16.6
FeO _t		4.8	4.89	4.97	6.52	6.52
MnO		0.08	0.08	0.08	0.09	0.09
MgO		3.26	3.33	2.79	7.40	7.4
CaO		5.61	5.34	5.19	7.9	8
Na ₂ O		3.9	3.7	3.4	3.5	3.4
K ₂ O		1.84	1.89	2.77	1.5	1.4
P ₂ O ₅		0.21	0.21	0.21	0.19	0.19
LOI		1.41	1.63	1.71	2.25	2.26
Total		99.67	99.49	100.02	100.47	99.77
Mg [#]		57	57	54	70	70
A.R.		1.68	1.71	1.80	1.51	1.48
V		104	89	101	86	119
Co		18.6	17.1	16.3	13.5	18.1
Ni		72	69	29	28	23
Zn		56	62	66	62	66
Rb		83.6	78.9	125	70.5	99.7
Sr		350	370	360	570	580
Y		20.1	18.2	24.6	17.5	21.7
Zr		185	179	227	177	182
Nb		10	10	13	10	10
Cs		3.6	3.3	7.9	6.4	5.8
Ba		360	410	430	280	350
Ta		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Th		6.7	8.9	13.6	8.4	9.4
U		1.93	1.96	2.81	1.97	1.84
Ga		19	17	20	18	17
Hf		4	4	6	4	4
La		25.6	23.8	30.7	22.4	24
Ce		47.1	43.6	57.9	42.4	46.2
Pr		5.05	4.87	6.40	4.62	5.10
Nd		18.7	18	23.2	17.5	19.4
Sm		3.6	3.5	4.5	3.1	3.6
Eu		0.94	0.92	1.05	0.9	1.01
Gd		3.43	3.18	4.47	3.20	3.86
Tb		0.50	0.48	0.63	0.50	0.61
Dy		3.48	3.15	4.04	3.17	3.79
Ho		0.70	0.62	0.86	0.66	0.73
Er		2.12	1.88	2.58	1.87	2.26
Tm		0.28	0.27	0.37	0.25	0.32
Yb		2.1	1.8	2.4	1.7	2.2
Lu		0.29	0.25	0.36	0.24	0.31
(La/Yb) _N		8.22	8.92	8.63	8.89	7.35
(Ce/Yb) _N		5.80	6.27	6.24	6.45	5.43
(Tb/Yb) _N		1.05	1.18	1.16	1.30	1.22
Eu/Eu*		0.82	0.84	0.72	0.87	0.83

میزان سیلیس سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد بین ۵۳/۴ تا ۶۱/۸ درصد متغیر است. این سنگها در نمودار مجموع‌آلکان (Na₂O+K₂O) در برابر SiO₂ (Le Bas et al., 1986; LeMaitre, 2002) در محدوده آندزیت و آندزیت بازالتی (شکل ۴- A) و در نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (LeMaitre, 2002; Helvacı et al., 2009) در قلمرو کالک آلکان پتاسیم متوسط تا پتاسیم بالا واقع می‌شوند (شکل ۴- B).

شکل ۴. موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه سلم‌آباد در A: نمودار مجموع آلکان در مقابل سیلیس (Le Bas et al., 1986; LeMaitre, 2002) B: نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (LeMaitre, 2002; Helvacı et al., 2009).

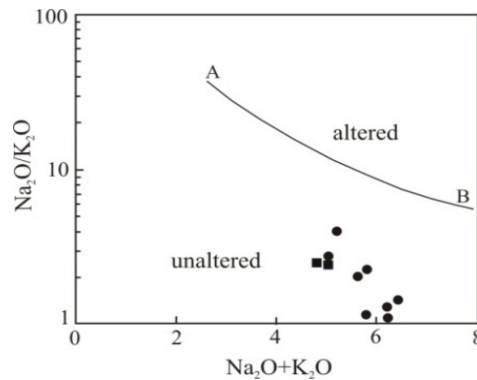


شکل ۴. موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه سلم‌آباد در A: نمودار مجموع آلکان در مقابل سیلیس (Le Bas et al., 1986; LeMaitre, 2002) B: نمودار K₂O در مقابل SiO₂ (LeMaitre, 2002; Helvacı et al., 2009).

Fig. 4. Salm abad samples in A: Total alkalis (Na₂O+K₂O) versus SiO₂ (Le Bas et al., 1986; LeMaitre, 2002), B: K₂O versus SiO₂ diagrams (LeMaitre, 2002; Helvacı et al., 2009).

سنگهای آتشفشانی کالک‌آلکان محصولات عمده محیط‌های تکتونیکی مرزهای صفحات همگرا می‌باشند (Harangi et al., 2007). با وجود این که بر اساس شواهد پتروگرافی، شدت دگرسانی در این سنگها پایین است، میزان LOI برخی نمونه‌ها بالاتر از ۲ درصد وزنی بوده (جدول ۱) و لذا ممکن است تمرکز عناصری نظیر K و Na در اثر دگرسانی پس

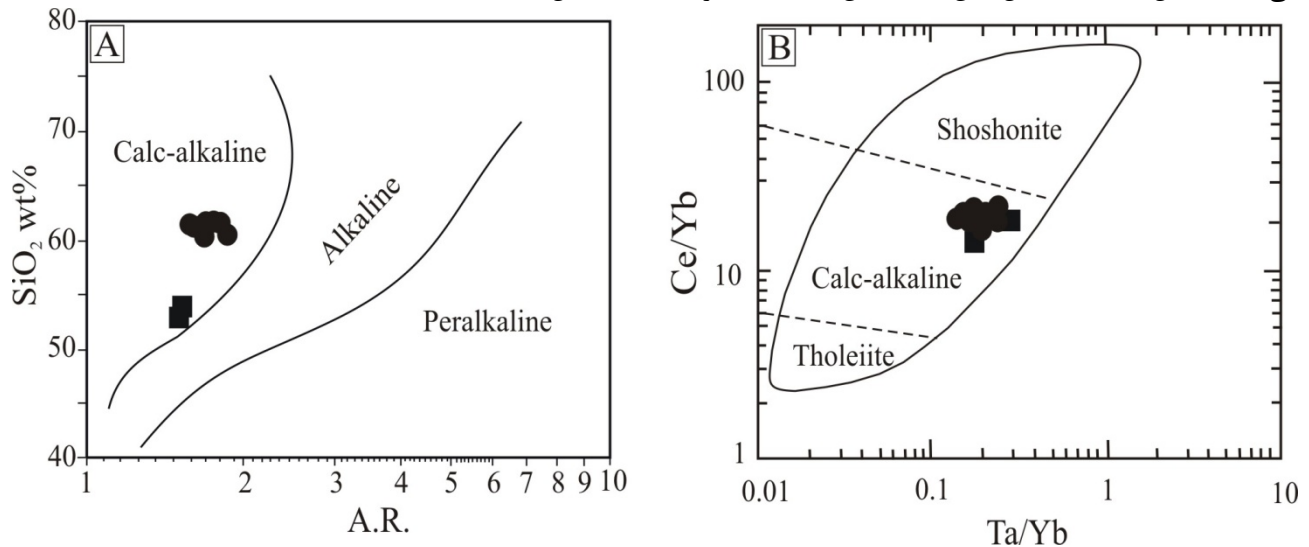
ماگمایی تغییر نموده باشد. برای تشخیص وقوع دگرسانی در نمونه‌ها از نمودار Na₂O+K₂O در مقابل Na₂O/K₂O (Takanashi et al., 2011) استفاده گردید. بر این اساس، سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد دارای Na₂O+K₂O و Na₂O/K₂O پایین بوده (شکل ۵) و لذا تأثیر دگرسانی پس ماگمایی بر روی این عناصر حداقل بوده است.



شکل ۵. نمودار Na₂O+K₂O در مقابل Na₂O/K₂O (Takanashi et al., 2011) برای سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد. منحنی A-B مرز تقریبی بین سنگهای دگرسان‌شده و دگرسان‌نشده را نشان می‌دهد (Miyashiro, 1975). علائم مشابه شکل ۴.

Fig. 5. Na₂O+K₂O versus Na₂O/K₂O diagram (Takanashi et al., 2011) for Salm abad volcanic rocks. A-B curve shows border of altered and unaltered rocks (Miyashiro, 1975). Legend is the same as in Fig. 4.

قلیایی در حین فرآیندهای دگرسانی از سنگ خارج شوند، موقعیت سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد، در نمودار عناصر کمیاب Ta/Yb در مقابل Ce/Yb (Siddiqui et al., 2007) نیز طراحی گردید که ویژگی کالک‌آلکان آنها را تأیید نمود (شکل ۶-۲).



شکل ۶. A: نمودار A.R. در مقابل SiO_2 (Xie et al., 2012). خطوط مشخص‌کننده محدوده‌های کالک‌آلکان، آلکان و پرآلکان از (Geng et al., 2009)؛ B: نمودار Ta/Yb در مقابل Ce/Yb (Siddiqui et al., 2007) و ماهیت کالک‌آلکان سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد (علایم مشابه شکل ۴).

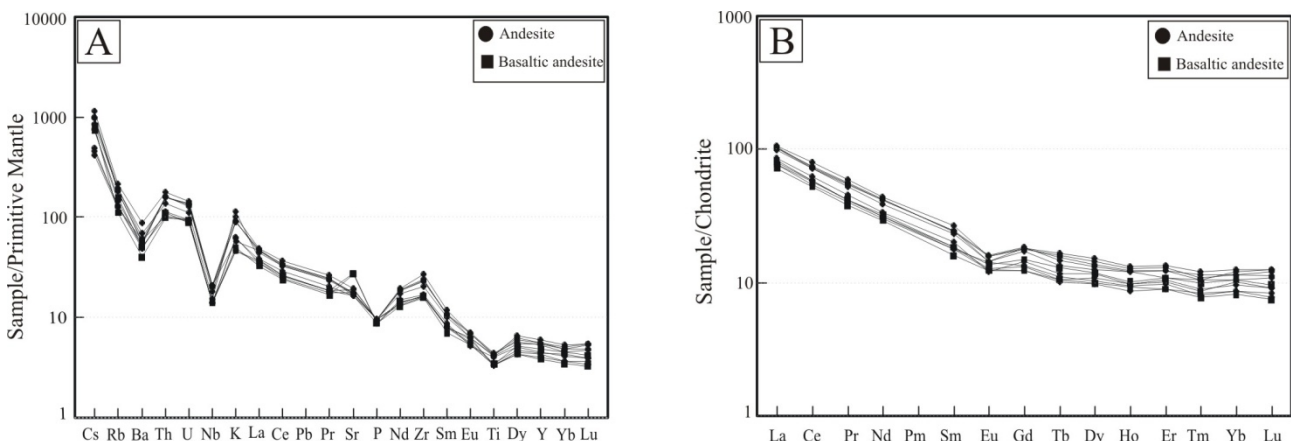
Fig. 6. A: A.R.- SiO_2 diagram (Xie et al., 2012), Calc-alkaline, alkaline and peralkaline limits from (Geng et al., 2009) $\text{A.R.} = (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}) / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O})$, B: Ta/Yb versus Ce/Yb (Siddiqui et al., 2007) and Calc-alkaline nature of Salm abad volcanic rocks (Legend is the same as in Fig.4).

سنگ منشأ و فرآیندهای بلور-مایع در زمان شکل‌گیری سنگ، کنترل می‌شود (Rollinson, 1993). قابلیت انحلال بیشتری از HFSE در سیالات دارند (Machado et al., 2005; Yang and Li, 2008) فرورانش، سیالات آزاد شده از بخش بالایی لیتوسفر فرورونده که از Nb فقیر و از LILE غنی می‌باشند، به گوه گوشته‌ای افزوده می‌شوند (Borg et al., 1997). وجود بی‌هنجاری منفی Nb، Ti و P در روند تغییرات عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه، مؤید تشکیل این سنگها در مناطق فرورانش است (Helvacı et al., 2009; Barth et al., 2000; Wilson, 2007; Zulkarnain, 2009). تهی‌شدگی Ba می‌تواند بیانگر تفریق فلدسپارها (Arsalan and Aslan, 2006) منشأ فرورانش (Foley and Wheller, 1990) و نقش پوسته قاره‌ای بالایی در فرآیندهای ماگمایی (Kuscu and Geneli, 2010) باشد. بیشترین میزان Sr در سنگهای

از نمودارهای چند عنصری جهت شناخت منشأ مجموعه‌های سنگی و فرآیندهای مؤثر بر آن استفاده می‌گردد (Siddiqui, 1993). نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب به‌هنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) برای سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد در شکل A-۷ نشان داده شده است. سنگهای مورد مطالعه، غنی‌شدگی LILE (به استثنای Ba) و تهی‌شدگی HFSE نشان می‌دهند که از خصوصیات عمده ماگماهای وابسته به فرورانش است (Seghedi et al., 2001; Machado et al., 2005; Yang and Li, 2008; Kuscu and Geneli, 2010). کمان می‌تواند در نتیجه ورود اجزای LILE موجود در پوسته فرورونده به درون گوشته بالایی آن و رخداد متاسوماتیسم به‌وجود آید (Seghedi et al., 2001; Mohamed et al., 2000). غلظت عناصر متحرک نظیر Sr، Cs و Ba تابع فاز سیال است، در حالی که میزان عناصر کم‌تحرک توسط شیمی

مورد مطالعه مربوط به نمونه های آندزیت بازالتی است. غنی شدگی U و Th در این سنگها (شکل ۷-A) احتمالاً به آلودگی پوسته‌ای یا خصوصیات منشأ وابسته است (Kuscu and Geneli, 2010). نمودار عناصر نادر خاکی به‌هنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) برای سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه در شکل ۷-B نشان داده شده است. میزان کل عناصر نادر خاکی در گدازه‌های منطقه سلم‌آباد ۱۰۲ تا ۱۵۵ ppm بوده و الگوی یکنواخت با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE شبیه مجموعه‌های کالک‌آلکان (Machado et al., 2005) با $(Ce/Yb)_N = 5/43 - 6/81$ و $(La/Yb)_N = 7/35 - 9/71$ نسبتاً تخت عناصر نادر خاکی سنگین $(1/40 - 1/05)$ $(Tb/Yb)_N = 1/05$ و آنومالی منفی ضعیف Eu (میانگین $Eu/Eu^* = 0/78$) نشان می‌دهند. مقادیر نسبتاً پایین Yb_N در تمام نمونه‌ها بیانگر گارنت باقی‌مانده در منشأ است (Peters et al., 2005). به اعتقاد (Machado et al., 2005).

در (Özdemir, 2011; 2008) محتوای LREE (نظیر La) در مذاب به ذوب‌بخشی گارنت یا اسپینل پریدوتیت بستگی داشته و نسبت La/Yb با درجات متغیر ذوب وابسته است. همچنین مذابهای رخساره گارنت نسبت به مذابهای رخساره اسپینل، نسبتهای بالاتری از La/Yb ایجاد می‌نماید. وجود آنومالی منفی Eu از ویژگیهای گدازه‌های کالک‌آلکان وابسته به فرورانش (Yang and Li, 2008; Martin, 1999) و بیانگر حضور پلاژیوکلاز به‌عنوان فاز باقی‌مانده در حین ذوب‌بخشی می‌باشد (Yang and Li, 2008). غنی‌شدگی LREE نسبت به HREEها به همراه غنی‌شدگی در LILEها و تهی‌شدگی بعضی عناصر HFSE در گدازه‌های سلم‌آباد بیانگر وابستگی آنها به مناطق فرورانش است (Helvacı et al., 2009; Zulkarnain, 2009; Marchev et al., 2004; Nicholson et al., 2004; Asiabanha et al., 2012).



شکل ۷. A: نمودار عناصر کمیاب به‌هنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) B: الگوی عناصر نادر خاکی به‌هنجار شده با کندریت (Boynton, 1984) برای سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد.

Fig. 7. A: Primitive mantle-normalized trace elements spider diagram (Sun and McDonough, 1989), B: Chondrite-normalized REE diagram (Boynton, 1984) for Salm abad volcanic rocks.

واقع می‌شوند. این سنگها در نمودار $100Th/Zr$ در مقابل $100Nb/Zr$ (Asiabanha et al., 2012; Pearce, 1983) در جایگاه فرورانش (شکل ۸-A) و در نمودار Nb/La در مقابل (Kuscu and Geneli, 2010; Asiabanha et al., 2012) در قلمرو آندزیت‌های کوهزایی قرار می‌گیرند (شکل ۸-B) که مربوط به حاشیه‌های قاره‌ای فعال (Siddiqui et al., 2007; Pearce, 1983) می‌باشند (شکل ۸-C). ویژگیهای ژئوشیمیایی سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد

بحث

جایگاه تکتونیکی و خصوصیات منشأ

آندزیت‌ها در محیطهای تکتونیکی مختلف یافت می‌شوند، اما عمدتاً در مناطق فرورانش (قوس جزیره و حاشیه‌های قاره‌ای فعال) وجود داشته و ترکیب آنها در این‌گونه محیطها به فرآیندهای داخلی در مرزهای همگرا بستگی دارد (Gill, 2010). سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد در نمودارهای تمایز تکتونیکی در محدوده کمان آتشفشانی وابسته به فرورانش

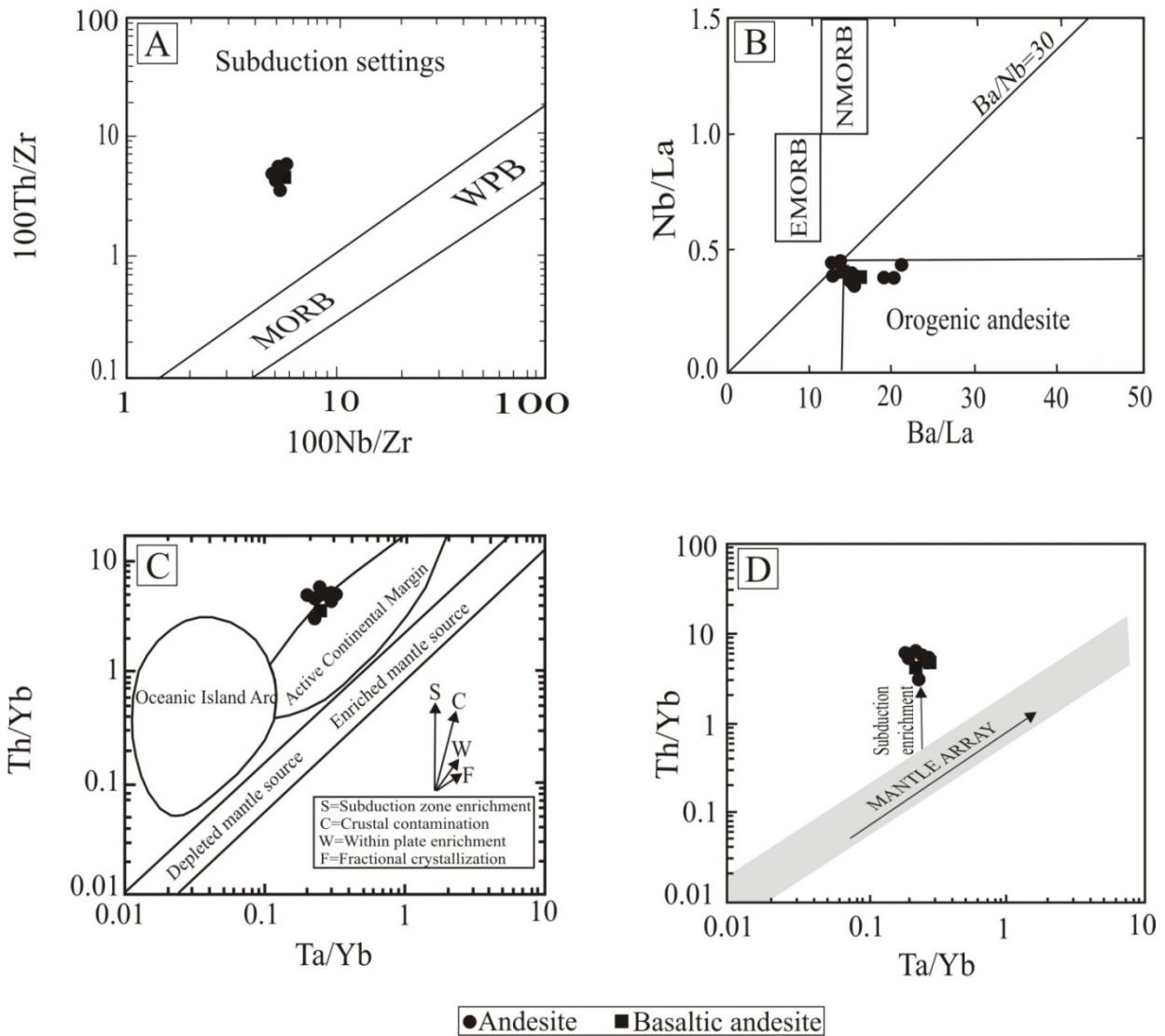
در حاشیه‌های قاره‌ای فعال، از ذوب‌بخشی مواد فرورانده شده و واکنش با گوشته، آندزیت‌های با $Mg^{\#}$ بالا به‌وجود می‌آید (Castro et al., 2013). مطالعات تجربی نشان داده است که $Mg^{\#}$ شاخص مفیدی برای تمایز مذابه‌ای منشأ گرفته از پوسته یا گوشته می‌باشد. مذابه‌ای منشأ گرفته از پوسته زیرین بازالتی، صرف نظر از درجه ذوب‌بخشی به‌وسیله $Mg^{\#}$ پایین (<40) مشخص می‌شود، در حالی که مذابه‌ای با $Mg^{\#} > 40$ فقط به‌وسیله مشارکت اجزاء گوشته حاصل می‌شود (Geng et al., 2009; Rapp and Watson, 1995). مقدار $Mg^{\#}$ در آندزیت‌های سلم‌آباد بین $45/4$ تا $57/1$ و در بازالت‌های آندزیتی $69/8$ است که بیانگر نقش اجزاء گوشته‌ای در تشکیل آنهاست. مذابه‌ای تشکیل شده در شرایط فشار بالا، دارای نسبت‌های بالاتر $Al_2O_3/(Fe_2O_3+MgO+TiO_2)$ می‌باشند، در حالی که مذابه‌ای حاصل بر هم کنش گوشته-پوسته در محدوده بین منحنی‌های فشار بالا و پایین واقع می‌شوند (Geng et al., 2009; Patiño Douce, 1999). سنگهای آتشفشانی مورد مطالعه، دارای مقادیر متوسط از نسبت مورد اشاره بوده ($2/18-1/13$) و در محدوده بین منحنی‌های فشار بالا و فشار پایین واقع می‌شوند (شکل ۹) که حاکی از بر هم کنش گوشته-پوسته در حین تشکیل آنها می‌باشد.

نسبت‌های Nb/U و Nb/La یعنی عناصری که ناسازگاری نشان می‌دهند، طی ذوب گوشته و تبلوربخشی دچار تغییر می‌شود. همچنین مقادیر آنها برای بازالت‌های اقیانوسی و سنگهای پوسته قاره‌ای تفاوت آشکاری نشان داده و یکی از راههای تشخیص آلودگی پوسته‌ای است (Pang et al., 2013). بازالت‌های اقیانوسی دارای Nb/U حدود 50 و Nb/La حدود $1/3-0/9$ است (Sun and McDonough, 1989)، در حالی که میزان نسبت‌های یاد شده برای میانگین پوسته قاره‌ای به ترتیب حدود $4/4$ و $3/9$ (Rudnick and Gao, 2003) می‌باشد. مقادیر Nb/U سنگهای مورد مطالعه $4/7$ تا $5/5$ (میانگین $5/08$) و مقدار Nb/La بین $0/39$ تا $0/47$ (میانگین $0/43$) بوده که به مقادیر مذکور برای پوسته قاره‌ای بالایی نزدیک است. از طرف دیگر، آنومالی منفی Nb و Ti که در شکل $A-7$ مشاهده می‌شود، می‌تواند به حضور اجزای فرورانش در گوشته منشأ (Pang et al., 2013) (Özdemir, 2011). آلودگی پوسته‌ای (Özdemir, 2011)

نظیر غنی‌شدگی $LREE$ ها نسبت به $HREE$ ها به همراه غنی‌شدگی در $LILE$ ها، و وجود بی‌هنجاری منفی Nb ، Ti و P در روند تغییرات عناصر کمیاب بیانگر وابستگی آنها به مناطق فرورانش بوده (Marchev et al., 2004; Nicholson et al., 2004; Asiabanha et al., 2012) آنها از گوشته لیتوسفری غنی‌شده (Helvacı et al., 2009) منشأ گرفته است. نسبت Str/Y عمدتاً به‌وسیله فراوانی نسبی گارنت، آمفیبول و پلاژیوکلاز در باقیمانده کنترل می‌شود؛ به‌طوری‌که میزان بالای گارنت و مقادیر پایین آمفیبول و پلاژیوکلاز در باقیمانده سبب ایجاد نسبت Str/Y بالا در مذاب می‌گردد (Geng et al., 2009). سنگهای آندزیتی مورد مطالعه دارای نسبت Str/Y نسبتاً بالا (میانگین $18/92$) بوده که بیانگر حضور گارنت در باقی‌مانده است. این امر، تهی‌شدگی ضعیف Eu و آنومالی مثبت Sr گدازه‌های سلم‌آباد (شکل $7-V$ و A و B) را توجیه می‌نماید. بنابراین، گدازه‌های منطقه سلم‌آباد احتمالاً از ذوب‌بخشی گوه گوشته‌ای که خود در اثر تماس با سیالات مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورونده، از عناصر کمیاب غنی شده، منشأ گرفته است. موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb (Helvacı et al., 2009; Pearce, 1983). این تفسیر را تأیید می‌نماید. در این نمودار، عناصر کمیاب Ta و Th نسبت به Yb سنجیده می‌شود تا تغییرات شیمیایی ناحیه منشأ شامل غنی‌شدگی، آلاینش پوسته‌ای و تفریق بلوری مشخص شود. تغییرات نسبت Ta/Yb و Th/Yb بیانگر تغییرات منشأ می‌باشد. وجود غیر یکنواختی در منشأ، مقادیر Ta و Th را به‌طور یکسان تحت تأثیر قرار داده و ترکیب گوشته نسبت به گوشته اولیه در راستای یک شیب واحد به سمت نسبت‌های بالاتر یا پایین‌تر Ta/Yb و Th/Yb جابه‌جا می‌شود (Aldanmaz et al., 2000). نسبت‌های Ta/Yb و Th/Yb تمام گدازه‌های منطقه سلم‌آباد از قلمرو گوشته‌ای به سمت مقادیر بیشتر جابه‌جا شده است (شکل $8-D$). این تغییر ترکیبی به فرآیندهای وابسته به فرورانش نسبت داده می‌شود (Helvacı et al., 2009). شاره‌های متاسوماتیک ممکن است شامل سیال آبدار یا مذابه‌ای بخشی اولیه حاصل از رسوبات و یا پوسته بازالتی فرورانده شده به گوه گوشته‌ای باشد که سبب پایین آوردن سالیدوس گوشته، ذوب‌بخشی و تولید ماگما می‌شود (Harangi et al., 2007; Hoang et al., 2011).

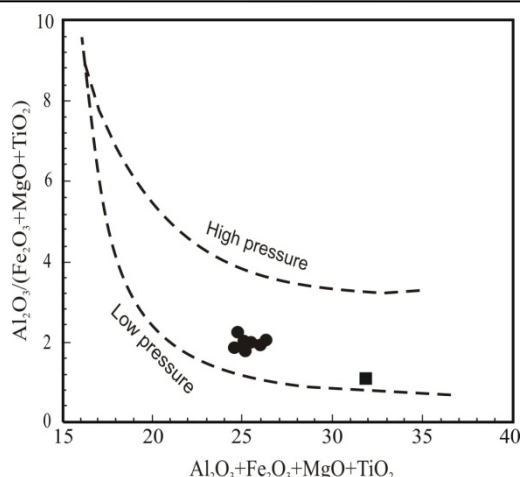
وجود نشانه‌های قاره‌ای در سنگهای گدازه‌ای مورد مطالعه را می‌توان به اضافه شدن سیالات آبدار و مذاب حاصل از رسوبات به منشأ گوشته‌ای در نتیجه فرورانش اقیانوس سیستم نسبت داد.

یا مرتبط با روتیل باقی‌مانده باشد که این عناصر را در حین ذوب رسوبات حفظ می‌نماید (Pang et al., 2013). میانگین نسبت Th/La در نمونه‌های سلم‌آباد حدود ۰/۴ است. به اعتقاد (Plank, 2005)، نسبت بالای Th/La در ماگماهای کمان از رسوبات فرورانده به ارث برده شده است. بنابراین،



شکل ۸. نمودارهای تمایز تکتونوماگمایی برای سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد. A: نمودار $100Th/Zr$ در مقابل $100Nb/Zr$ (Asiabanha et al., 2012; Pearce, 1983). B: نمودار Nb/La در مقابل Ba/La (Kuscu and Geneli, 2010; Asiabanha et al., 2012). C: نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (Siddiqui et al., 2007; Pearce, 1983). D: نمودار Th/Yb در مقابل Ta/Yb (Helvacı et al., 2009; Pearce, 1983).

Fig. 8. Tectonomagmatic discrimination diagrams for Salm abad volcanic rocks. A: $100Th/Zr$ versus $100Nb/Zr$ (Asiabanha et al., 2012; Pearce, 1983), B: Nb/La versus Ba/La (Kuscu and Geneli, 2010; Asiabanha et al., 2012), C: Th/Yb versus Ta/Yb (Siddiqui et al., 2007; Pearce, 1983), D: Th/Yb versus Ta/Yb (Helvacı et al., 2009; Pearce, 1983).



شکل ۹. نمودار عناصر اصلی سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد. محدوده بین منحنیهای فشار بالا و فشار پایین در برگزیده اعماقی است که بر هم کنش گوشته-پوسته رخ می‌دهد (Patiño Douce, 1999; Geng et al., 2009) (علایم مشابه شکل ۸).

Fig. 9. Major elements diagram for Salm abad volcanic rocks. The area between the high and low pressure curves encompasses the range of depths at which mantle–crust interaction takes place (Patiño Douce, 1999; Geng et al., 2009) (Legend is the same as in Fig.8).

از نمونه‌های مطالعه شده این تحقیق) برداشت گردیده، $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ و مقدار 0.7045 و مقدار $3/1$ می‌باشد که منشأ گوشته‌ای سنگهای آندزیتی سلم‌آباد را تأیید می‌کند. نتایج مطالعات محققان مذکور نشان می‌دهد که سنگهای کالک‌آلکان شرق ایران از یک منشأ گوشته‌ای فلوگوپیت‌دار با نشانه‌های به ارث رسیده از فرورانش، تشکیل شده است. بسته شدن اقیانوس سیستان در کرتاسه پسین سبب برخاستگی کوههای شرق ایران و ایجاد لیتوسفر چگال و ضخیم در زیر آن شده است. جدا شدن پی لیتوسفری سنگین و ضخیم (احتمالاً از پالئوژن زیرین) و بالا آمدن استنوسفر، سبب ذوب پریدوتیت‌های آبدار در گوشته لیتوسفری و رخداد ماگماتیسیم کالک‌آلکان در رژیم تکتونیکی پس برخوردی در ائوسن زیرین تا الیگوسن فوقانی (۵۵ تا ۲۵ میلیون سال) شده است.

نتیجه‌گیری

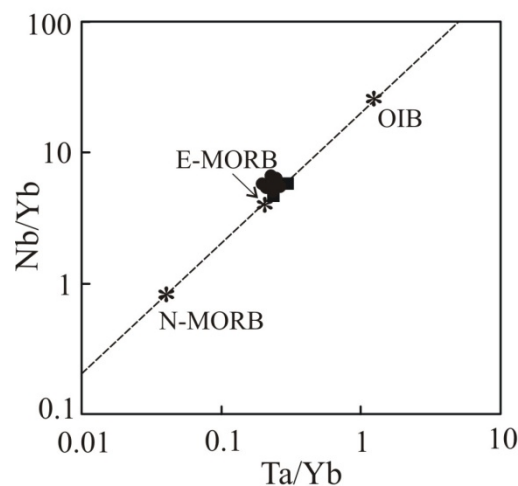
در منطقه سلم‌آباد در جنوب شرق سربیشه، گدازه‌های آندزیتی به‌صورت گنبدهایی با ساخت توده‌ای و گاهی ستونی بر روی واحدهای آذرآواری قرار گرفته است. بافت غالب آندزیت‌ها، پورفیری با خمیره میکرولیتی گاهی شیشه‌ای، گلوومروپورفیری و در آندزیت‌های بازالتی بافت حفره‌ای نیز اضافه می‌شود. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و

عناصر کمیاب با ناسازگاری متفاوت، می‌توانند برای پی بردن به غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی منشأ ماگما مورد استفاده قرار گیرند. HFSE و HREE به دلیل تحرک کمتر در سیال در مقایسه با سایر عناصر کمیاب، برای این منظور مناسب هستند (Pang et al., 2013). میزان Zr/Nb در بازالت‌های اقیانوسی، تغییرات قابل توجهی را نشان می‌دهد، به طوری که نسبت یاد شده در OIB کمتر از ۱۰، در E-MORB حدود ۱۰ و در N-MORB حدود ۴۰ است (Pearce and Norry, 1979). به دلیل این که Nb از Zr ناسازگارتر است، نسبت Zr/Nb ماگما با افزایش درجه تفریق، کاهش می‌یابد (Pang et al., 2013). میزان Zr/Nb در نمونه‌های مورد مطالعه $17/3$ تا $18/5$ بوده که قابل مقایسه با E-MORB می‌باشد. همچنین، در نمودار Nb/Yb در مقابل Ta/Yb (Pang et al., 2013; Pearce, 1982)، داده‌های گدازه‌های منطقه سلم‌آباد در محدوده E-MORB قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). این ویژگی، مشخص می‌کند که صرف نظر از غنی‌شدگی وابسته به سیال، گوشته منشأ ماگمای سنگهای مورد مطالعه، در عناصر کمیاب ناسازگار غنی بوده است.

بر اساس مطالعات انجام شده توسط (Pang et al., 2013)، مقدار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ اولیه برای یک نمونه آندزیت (نمونه 07-23) با سن $27/7$ میلیون سال (الیگوسن فوقانی) که از حاشیه روستای سلم‌آباد با موقعیت جغرافیایی مشابه نمونه M5-15

بازالتی می‌باشد. غنی‌شدگی Th و U در این سنگها احتمالاً به آلودگی با پوسته قاره‌ای یا خصوصیات منشأ وابسته است، به طوری که وجود نشانه‌های قاره‌ای در سنگهای گدازه‌ای مورد مطالعه را می‌توان به اضافه شدن سیالات آبدار و مذاب حاصل از رسوبات به منشأ گوشته‌ای در نتیجه فرورانش اقیانوس سیستان نسبت داد. مقادیر نسبتاً پایین Yb_N و نسبت Sr/Y بالا (میانگین ۱۸/۹۲) در نمونه‌ها بیانگر گارنت باقی‌مانده در منشأ است. سنگهای آتشفشانی سلم‌آباد در نمودارهای تمایز تکتونیکی در محدوده کمان آتشفشانی وابسته به فرورانش واقع می‌شوند.

هورنبلند سازندگان اصلی آندزیت‌ها بوده، در آندزیت‌های بازالتی مقادیری البوین نیز وجود دارد. بر اساس شواهد پتروگرافی، ترکیب شیمیایی عناصر اصلی و مقدار LOI، شدت دگرسانی در این سنگها پایین است. میزان سیلیس سنگهای آتشفشانی منطقه سلم‌آباد ۵۳/۴ تا ۶۱/۸ درصد و در رده‌بندیهای شیمیایی در محدوده آندزیت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند. وجود بی‌هنجاری منفی Eu، Nb، Ti و P در روند تغییرات عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه، مؤید تشکیل این سنگها در مناطق فرورانش است. بیشترین میزان Sr در سنگهای مورد مطالعه مربوط به نمونه‌های آندزیت



شکل ۱۰. نمودار Nb/Yb در مقابل Ta/Yb (Pang et al., 2013; Pearce, 1982) و موقعیت گدازه‌های سلم‌آباد. مقادیر N-MORB، E-MORB و OIB از (Sun and McDonough., 1989). خط منقطع نشانه آرایه گوشته‌ای است که به کمک مقادیر N-MORB و OIB برون‌یابی شده است. (علامه مشابه شکل ۸).

Fig. 10. Nb/Yb versus Ta/Yb diagram (Pang et al., 2013; Pearce, 1982) for Salm abad volcanic rocks. N-MORB, E-MORB and OIB values are after (Sun and McDonough., 1989). Dashed line denote mantle arrays extrapolated from N-MORB and OIB values (Legend is the same as in Fig. 8).

References

- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., 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): 67-97.
- Arjmandzadeh, R., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., Santos, J.F, Medina, J.M. and Homam, S.M., 2011. Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut block, Eastern Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(3): 283-296.
- Arsalan, M. and Aslan, Z., 2006. Mineralogy, petrography and whole-rock geochemistry of the Tertiary granitic intrusions in the Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 27(2): 177-193.
- Asiabanha, A., Bardintzeff, J.M. Kananian, A., Rahimi, G., 2012. Post-Eocene volcanics of the Abazar district, Qazvin, Iran: Mineralogical and geochemical evidence for a complex magmatic evolution. *Journal of Asian Earth Sciences*, 45: 79-94.
- Barth, M.G., McDonough, W.F. and Rudnick, R.L., 2000. Tracking the budget of Nb and Ta

- in the continental crust. *Chemical geology*, 165(3-4):197-213.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society*, 139(5): 605-614.
- Borg, L.E., Clyne, M.A. and Bullen, T.D., 1997. The variable role of slab-derived fluids in the generation of a suite of primitive calc-alkaline lavas from the southernmost Cascade Range. *Canadian Mineralogist*, 35: 425-452.
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson, (Editor), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63-114.
- Camp, V.E. and Griffis, R., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 15(3): 221-239.
- Castro, A., Vogt, K. and Gerya, T., 2013. Generation of new continental crust by sublithospheric silicic-magma reamination in arcs: A test of Taylor's andesite model. *Gondwana Research*, 23(4): 1554-1566.
- Foley, S.F. and Wheller, G.E., 1990. Parallels in the origin of the geochemical signatures of island arc volcanics and continental potassic igneous rocks: the role of residual titanites. *Chemical Geology*, 85(1-2):1-18.
- Geng, H., Sun, M., Yuan, C., Xiao, W.J., Xian, W.S., Zhao, G.C., Zhang, L.F., Wong, K. and Wu, F.Y., 2009. Geochemical, Sr-Nd and zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late Carboniferous magmatism in the West Junggar, Xinjiang: implications for ridge subduction? *Chemical Geology*. 266(3-4): 364-389.
- Gill, R., 2010. *Igneous rocks and processes*. Wiley-Blackwell, Malaysia, 428 pp.
- Goodarzi, M., 2011. *Petrology of volcanic rocks in east of Sarbisheh (east of Iran)*. M.Sc Thesis, University of Birjand, Birjand, Iran, 141 pp. (in Persian with English abstract)
- Harangi, S., Downes, H., Thirlwall, M., Gmelin, K., 2007. Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian arc, Eastern Central Europe. *Journal of petrology*, 48(12): 2261-2287.
- Helvacı, C., Ersoy, E.Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö. and Uzel, B., 2009. Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole-bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 185(3):181-202.
- Hoang, N., Itoh, J. and Miyagi, I., 2011. Subduction components in Pleistocene to recent Kurile arc magmas in NE Hokkaido, Japan. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 200(3-4): 255-266.
- Housh, T.B. and Luhr, J. F., 1991. Plagioclase melt equilibria in hydrothermal systems. *American Mineralogist*, 76: 477- 492.
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, Chr., Baumann, A. and Horn, P., 1983. Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran. Ministry of mines and metals, Geological survey of Iran, geodynamic project (geotraverse) in Iran, Tehran, Report 51, pp. 285-336.
- Karimi Dehkordi, M., 2012. Deformation analysis along of Sarbisheh fault zone in eastern Iran. M.Sc Thesis, University of Birjand, Birjand, Iran, 143 pp. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Farmer, G.L. and Stern, C.R., 2012. Petrogenesis of granitoids, U-Pb Zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristics and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut block, eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1-27. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh, A., 2011. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1):19-36.
- Kuscu, G.G. and Geneli, F., 2010. Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences*, 99(3): 593-621.
- 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.
- Le Maitre, R.W., 2002. *Igneous rocks: a classification and glossary of terms*:

- recommendations of the International Union of Geological Sciences. Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge, 236 pp.
- L'Heureux, I. and Katsev, S., 2006. Oscillatory zoning in a (Ba,Sr) SO₄ Solid solution: Macroscopic and cellular automata models. *Chemical Geology*, 225(3-4): 230-243.
- Machado, A.,T, Chemale, Jr. F., Conceicao, R.V., Kawaskita, K., Morata, D., Oteiza, O. and Schmus, W.R.V., 2005. Modeling of subduction components in the Genesis of the Meso-Cenozoic igneous rocks from the South Shetland Arc, Antarctica. *Lithos*, 82(3-4): 435-453.
- Makipour, M., 2011. Geology, Alteration and Petrology of igneous rocks in Golab area (Sarbisheh, east of Iran). M.Sc Thesis, University of Birjand, Birjand, Iran, 117 pp. (in Persian with English abstract)
- Marchev, P., Raicheva, R., Downes, H., Vaselli, O., Chiaradia, M. and Moritz, R., 2004. Compositional diversity of Eocene-Oligocene basaltic magmatism in the Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: implications for genesis and tectonic setting. *Tectonophysics*, 393(1-4): 301-328.
- Martin H, 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46(3): 411-429.
- Miyashiro, A., 1975. Classification, characteristics and origin of ophiolites. *The Journal of Geology*, 83(2): 249-281.
- Mohamed, F.H., Moghazi, A.M. and Hassanen, M.A., 2000. Geochemistry, Petrogenesis and tectonic setting of late Neoproterozoic Dokhan-type volcanic rocks in the Fatira area, eastern Egypt. *International Journal of Earth Science*, 88(4): 764-777.
- Mohammadi, S.S., 2012. Geology and Petrology of Tertiary volcanic rocks of Sarbisheh perlite mine area (eastern Iran) and industrial applications. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 59-76. (in Persian)
- Monfaredi, B., Masoudi, F. and Tabbakh Shabani, A.A., 2009. Magmatic Interaction as Recorded in Texture and Composition of Plagioclase Phenocrysts from the Sirjan Area, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 20(3): 243-251.
- Nazari, Z., 2011. Geology and Petrology of volcanic rocks in northwest of Sarbisheh (east of Iran). M.Sc Thesis, University of Birjand, Birjand, Iran, 114 pp. (in Persian with English abstract)
- Nazari, H. and Salamati, R., 1999. Geological map of Sarbisheh, scale 1:100000. Geological survey of Iran.
- Nelson, S.T. and Montana, A., 1992. sieve - textured plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression. *American Mineralogist*, 77(11-12): 1242-1249.
- Nicholson, K.N., Black, P.M., Hoskin, P.W.O. and Smith, I.E.M., 2004. Silicic volcanism and back-arc extension related to migration of the Late Cainozoic Australian- Pacific plate boundary. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 131(3-4): 295-306.
- Özdemir, Y., 2011. Volcanostratigraphy and petrogenesis of Süphan stratovolcano. Ph.D. Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 279 pp.
- Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H.Y. and Lo, C.H., 2013. Eocene-Oligocene post-collisional magmatism in the Lut-Sistan region, eastern Iran: Magma genesis and tectonic implications. *Lithos*, 180-181: 234-251.
- Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Yang, H.M., Chu, C.H., Lee, H.Y. and Lo, C.H., 2012. Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut-Sistan region, eastern Iran. *Chemical Geology*, 306-307: 40-53.
- Patiño Douce, A.E., 1999. What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origin of granitic magmas? In: A. Castro, C. Fernandez and J.L. Vigneresse (Editors.) *Understanding Granites: Integrating New and Classical Techniques*. Geological Society, London, Special Publications, 168 pp. 55-75.
- Pearce, J.A., 1982. Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In: R.S. Thrope (Editor), *Andesites*. Wiley, Winchester, pp. 525-548.
- Pearce, J.A., 1983. Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: C.J. Hawkesworth, M.J. Norry (Editors.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva publishing, Nantwich, pp. 230-249.

- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y, and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 69(1): 33-47.
- Peters, T.J., Menzies, M., Thirlwall, M. and Kyle, P., 2008. Zuni-Bandera volcanism, Rio Grande, USA – melt formation in garnet- and spinel facies mantle straddling the asthenosphere-lithosphere boundary. *Lithos*, 102(1-2): 295-315.
- Plank, T., 2005. Constraints from thorium/lanthanum on sediment recycling at subduction zones and the evolution of the continents. *Journal of Petrology*, 46(5): 921-944.
- Rapp, R.P. and Watson, E.B., 1995. Dehydration melting of metabasalt at 8-32-kbar - implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36(4): 891-931.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A. and Fletcher T., 2012. High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu ± Mo ± Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology*, 107(2): 295-332.
- Rollinson, H.R., 1993. Using geochemical data, Evaluation, Presentation, Interpretation. Longman Scientific and Technical, New York, 352 pp.
- Rudnick, R.L. and Gao, S., 2003. Composition of the continental crust. In: R.L. Rudnick (Editor), *Treatise in Geochemistry*. Vol 3. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 1-64.
- Saccani, E., Delavari, M., Beccaluva, L. and Amini, S., 2010. Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): Implication for the evolution of the Sistan Ocean. *Lithos*, 117(1-4): 209-228.
- Seghedi, I., Downes, H., Pecskey, Z., Thirlwall, M.F., Szakacs, A., Prychodko, M. and Matthey, D., 2001. Magmagenesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: the Ukrainian Carpathians. *Lithos*, 57(4): 237-262.
- Siddiqui, R. H. , Asif Khan, M. and Qasim Jan, M., 2007. Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc, Baluchistan, Pakistan: Implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 40: 1-23.
- Sun, S.S. and McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematic of ocean basalts: implications for mantle composition and process. In: A.D. Saunders and M.J. Norry (Editors.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society 42, London, pp. 313-345.
- Takanashi, K., Shuto, K. and Sato, M., 2011. Origin of Late Paleogene to Neogene basalts and associated coeval felsic volcanic rocks in Southwest Hokkaido, northern NE Japan arc: Constraints from Sr and Nd isotopes and major- and trace-element chemistry. *Lithos*, 125(1-2): 368-392.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134-156.
- Vernon, R.H., 2004. A practical Guide to Rock Microstructure. Cambridge University Press, Cambridge, 594 pp.
- Whitney, D. and Evans, B.D., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185-187.
- Wilson, M., 2007. *Igneous Petrogenesis*. Springer Verlag, London, 466 pp.
- Xie, J., Yang, X., Sun, W. and Du, J., 2012. Early Cretaceous dioritic rocks in the Tongling region, eastern China: Implications for the tectonic settings. *Lithos*, 150: 49-61.
- Yang, W., Li, Sh., 2008. Geochronology and geochemistry of the Mesozoic volcanic rocks in Western Liaoning: Implications for lithospheric thinning of the North China Craton. *Lithos*, 102(1-3): 88-117.
- Zellmer, G.F., Sparks, R.S.G., Hawkworth, C.J. and Wiedenbeck, M., 2003. Magma emplacement and remobilization timescale beneath Montserrat: Insight from Sr and Ba zonation in plagioclase phenocrysts. *Journal of Petrology*, 44(8): 1413-1431.
- Zulkarnain, I., 2009. Geochemical Signature of Mesozoic Volcanic and Granitic Rocks in Madina Regency Area, North Sumatra, Indonesia, and its Tectonic Implication. *Jurnal Geologi Indonesia*, 4(2): 117-131.



Petrography, geochemistry and tectonic setting of Salmabad Tertiary volcanic rocks, southeast of Sarbisheh, eastern Iran

Masoumeh Goodarzi, Seyyed Saeid Mohammadi* and Mohammad Hossein Zarrinkoub

Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Submitted: Aug. 19, 2013

Accepted: Nov. 11, 2013

Keywords: Andesite, enriched mantle, Oligocene, calc-alkaline, Sarbisheh

Introduction

The area reviewed and studied in this paper is located 5 km southeast of Sarbisheh city at eastern border of the Lut block (Jung et al., 1983; Karimpour et al., 2011; Richards et al., 2012) in eastern Iran between 59° 47' and 59° 53' E longitude and 32°30' and 32°34' N latitude. The magmatic activity in the Lut block began in middle Jurassic (165-162 Ma) and reached its peak in Tertiary (Jung et al., 1983). Volcanic and subvolcanic rocks of Tertiary age cover over half of Lut block with up to 2000 m thickness and formed due to subduction prior to the collision of the Arabian and Asian plates (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983; Berberian et al., 1982). Most of magmatic activity in the Lut block formed in middle Eocene (Karimpour et al., 2011). The andesitic volcanics were erupted together with the dacites and rhyodacites during a time interval of some 50 Ma from early Cretaceous to early Neogene. It can be assumed that the intensity of the volcanic activity was varying significantly during this time span (Jung et al., 1983). Tertiary volcanic rocks (Eocene-Oligocene to Pliocene) with intermediate composition associated with pyroclastic rocks cropped out in eastern parts of Salmabad village, southeast of Sarbisheh. The main purpose of this paper is better understand the tectono-magmatic setting of the Tertiary volcanic rocks in southeast of Sarbisheh, eastern Iran based on geochemical characteristics.

Materials and methods

Eleven samples were analyzed for major elements by inductively coupled plasma (ICP) technologies and trace elements were analyzed using

inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), following a lithium metaborate/tetraborate fusion and nitric acid total digestion, at the SGS Laboratories, Toronto, Canada.

Results

In the Salmabad area, Tertiary volcanic rocks with mainly intermediate (andesitic) composition are exposed associated with pyroclastic deposits such as tuff, breccia and agglomerate. Extrusive rocks include andesite (pyroxene andesite) and basaltic andesite. Zoning, sieve texture and embayment of plagioclase phenocrysts and existence of reaction rims around pyroxenes are evidences for disequilibrium conditions during magma crystallization. These rocks have medium to high-K calc-alkaline nature and show enrichment in LILE (except for Ba) and depletion of HFSE. The Salmabad area lavas have 102-155 ppm total REE and display coherent REE patterns characterized by enrichment in LREEs relative to HREEs ((La/Yb)_N=7.35-9.71; (Ce/Yb)_N=5.43-6.81), nearly flat HREEs ((Tb/Yb)_N=1.05-1.40) and weak negative Eu anomalies (average Eu/Eu* = 0.78). Geochemical characteristics of the Salmabad volcanic rocks such as enrichment in LREEs relative to HREEs in association with enrichment in LILE and negative anomalies of Nb, Ti and P show their relation to subduction zone. The range of Mg[#] is 45.1-57.1 for the Salmabad andesites and 69.8 in basaltic andesite indicating the involvement of mantle components. The isotopic compositions (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_t = 0.7045 and ε_{Nd}(t) = 3.1 for the Salmabad andesites point to a mantle origin.

*Corresponding author's email: ssmohammadi@birjand.ac.ir

Discussion

Orogenic magmas are defined geochemically as showing diagnostic Nb-Ta trough and enrichment in large ion lithophile elements (LILE) such as Th, Pb, Sr and K in primitive mantle normalized trace element variation diagrams (Kuscu and Geneli, 2010). The origin of this kind of geochemical signature is commonly interpreted as subduction-related setting (Gill, 2010), in sources that had undergone mantle wedge metasomatism (Seghedi et al., 2001) or crustal contamination of mantle-derived magmas (Harangi et al., 2007). The andesitic magma in Salmabad area displays an orogenic signature, i.e., enrichment in LILE and Th, and relative depletion in Nb, Ti and P. The dominance of positive $\epsilon\text{Nd}(t)$ values (3.1) for the studied rocks indicate a mantle origin. High values of Sr, Th and U in these rocks can be related to crustal contamination. Thus, the orogenic signature of these rocks is attributed to the mantle source, presumably metasomatized by the Sistan ocean subduction. The trace element features are consistent with the roles played by subducted sediments and fluid released from the subducted slab in magma genesis.

Acknowledgements

The authors would like to thank reviewers for the constructive comments which greatly contributed to the improvement of the manuscript.

References

- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society*, 139(5): 605-614.
- Camp, V.E. and Griffis, R., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 15(3): 221-239.
- Gill, R., 2010. *Igneous rocks and processes*. Wiley-Blackwell, Malaysia, 428 pp.
- Harangi, S., Downes, H., Thirlwall, M., Gmeling, K., 2007. Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Relationships of Miocene Calc-alkaline Volcanic Rocks in the Western Carpathian arc, Eastern Central Europe. *Journal of petrology*, 48(12): 2261-2287.
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, Chr., Baumann, A. and Horn, P., 1983. Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran. Ministry of mines and metals, Geological survey of Iran, geodynamic project (geotraverse) in Iran, Tehran, Report 51, pp. 285-336.
- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh, A., 2011. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1):19-36.
- Kuscu, G.G. and Geneli, F., 2010. Review of post-collisional volcanism in the central Anatolian volcanic province (Turkey), with special reference to the Tepekoy volcanic complex. *International Journal of Earth Sciences*, 99(3): 593-621.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A. and Fletcher T., 2012. High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu \pm Mo \pm Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology*, 107(2): 295-332.
- Seghedi, I., Downes, H., Pecskey, Z., Thirlwall, M.F., Szakacs, A., Prychodko, M. and Matthey, D., 2001. Magmagenesis in a subduction-related post-collisional volcanic arc segment: the Ukrainian Carpathians. *Lithos*, 57(4): 237-262.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134-156.