ژئوشیمی و پتروژنز آداکیت‌های دامنه جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار با تکیه بر نتایج ایزوتوپ‌های Sr-Nd -Pb

ابراهیم محمدی‌گورجی [۱]، قاسم قربانی [۲]* و هادی شفایی‌مقدم [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران
[۲] دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران
[۳] استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۲۶

چکیده

واحدهای مورد مطالعه در شمال باختر سبزوار و در دامنه جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار واقع شده است. تعداد زیادی گنبدهای آتشفشانی با ترکیب ریولیتی (گنبد ساروق، زردکوهی، کوه سفید مهر و نهر) واقع در بخش جنوبی نوار افیولیتی داورزن - سبزوار به داخل سنگ‌های این مجموعه افیولیتی نفوذ کرده‌اند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه، از جمله غنی‌شدگی از عناصر LREE و LILE نسبت به HREE و HFSE، بی‌هنجاری منفی در عناصر TNT (Ta-Nb-Ti)، سرشت پرآلومین تا متاآلومین همراه با کالک- آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا و موقعیت آنها در نمودارهای متمایزکننده محیط‌های زمین‌ساختی، نشان‌دهنده آن است که این سنگ‌ها در یک محیط مرتبط با زون‌های فرورانش تشکیل شده‌اند. گنبدهای مورد مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی آداکیت‌ها (SiO_2 >69.2 wt%، Al_2O_3>14.7 wt%، MgO<0.35 wt%، Sr>273 ppm)، غنی‌شدگی از عناصر LILE و LREE، تهی‌شدگی از عناصر Y و HREE (Y<9.7 و Yb<0.86) و نسبت‌های بالای (Sr/Y>58 و La/Yb>12.1) و به گروه آداکیت‌های غنی از سیلیس (SiO_2≥69.2 wt%، MgO = 0.19-0.31 wt%، $CaO+Na_2O$<7.62 wt% و Sr = 273-936) تعلق دارند. بررسی‌های ژئوشیمیایی و ترکیبات ایزوتوپی Nd، Sr و Pb ($(^{87}sr/^{86}sr)_i$=0.7041-0.7042)، εNd_i=5.60-6.10 و مقادیر $^{206}Pb/^{204}Pb$=18.37-18.39، $^{207}Pb/^{204}Pb$=15.536-15.538 و $^{208}Pb/^{204}Pb$= 38.325-38.327) نشان از آن است که ماگمای سازنده گنبدهای مورد مطالعه از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی فرورانده شده (دارای ترکیب سنگ‌شناسی گارنت‌آمفیبولیت) ایجاد شده و سپس از راه تبلور تفریقی تحول‌یافته است.

کلیدواژه‌ها: سنگ‌شناسی، آداکیت‌های پرسیلیس، ایزوتوپ‌های Sr-Nd-Pb، سبزوار.

***نویسنده مسئول:** قاسم قربانی
E-mail: ghorbani@du.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

منطقه مورد مطالعه در شمال باختر سبزوار و از دید زمین‌شناسی ساختمانی بخشی از زون ساختاری شمال خاور ایران مرکزی یا به عبارتی دقیق‌تر بخشی از زون افیولیتی سبزوار به حساب می‌آید (Alavi, 1991 ; Stocklin, 1968). چندین نوار افیولیتی با روند تقریباً خاوری – باختری در داخل بخش‌های مختلف این زون وجود دارد و سنگ‌های مورد مطالعه شامل تعدادی از گنبدهای ریولیتی است که در دامنه جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار واقع است و مطالعات انجام شده پیشین (صالحی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶؛ صالحی‌نژاد، ۱۳۸۷) و این مطالعه نشان‌دهنده ویژگی آداکیتی آنهاست. افزون بر این، سنگ‌های منسوب به آداکیتی در دو موقعیت جغرافیایی دیگر در نوار افیولیتی شمال سبزوار وجود دارند که شامل گنبدهای با ترکیب آندزیت - داسیت واقع در دامنه شمالی نوار افیولیتی شمال سبزوار و گنبدهای با ترکیب آندزیت - داسیت واقع در بخش شمالی این نوار هستند که از مشکان تا اسفراین و جنوب قوچان امتداد دارند (Baumann et al., 1983; Spies et al., 1983; Shabanian et al., 2012; تنها، ۱۳۸۸؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). اصطلاح آداکیت را ابتدا Defant & Drummond (1990) برای نشان دادن سنگ‌های آذرین کمان سنوزوییک با ترکیب حدواسط تا سیلیس بالا (SiO_2>56wt%) به کار بردند که از مذاب‌های جوان (≤25 Ma) حاصل از بازالت‌های اقیانوسی فرورونده به‌وجود آمده‌اند. این اصطلاح پس از توصیف آندزیت‌های منیزیمی توصیف شده توسط Kay (1978) از جزیره آداک در آلئوسین، به‌کار برده شد. آداکیت‌ها با ترکیب سنگ‌شناسی آندزیت تا ریولیت و با ویژگی‌های ژئوشیمیایی SiO_2 >56 wt%، Al_2O_3 >15 wt%، MgO < 3wt%، Sr > 400 ppm و غنی‌شدگی از عناصر LILE و LREE و تهی‌شدگی از عناصر Y و HREE (Y<18 و Yb<1.9) و نسبت‌های بالای Sr/Y>40 و La/Yb>20 مشخص می‌شوند (Castillo, 2006 & 2012). Martin et al. (2005) آداکیت‌ها را به دو گروه پرسلیس و کم‌سیلیس تقسیم‌بندی کرده‌اند. در این مطالعه سعی شده است تا گنبدهای مورد مطالعه از نظر روابط صحرایی آنها با واحدهای افیولیتی، سنگ‌نگاری و به‌ویژه ژئوشیمیایی (ایزوتوپی) مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گیرند تا بتوان در مورد منشأ و شرایط تشکیل آنها اظهارنظر کرد.

۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از دید تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ساختاری بخشی از شمال زون سبزوار (Alavi, 1991) و زون ایران مرکزی (Stocklin, 1968) به‌حساب می‌آید (شکل ۱). این ناحیه بین دو گسل بزرگ درونه (در جنوب) و گسل بینالود (در شمال) واقع شده و از شمال و جنوب به ترتیب با زون بینالود و بلوک لوت در ارتباط است. به طور کلی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای دگرگونی، واحدهای سنگی افیولیتی و واحدهای آتشفشانی - رسوبی هستند. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه، واحدهای دگرگونی و افیولیتی بوده و سنی معادل کرتاسه فوقانی- پالئوسن دارند (مجیدی، ۱۳۷۸؛ بهرودی و عمرانی، ۱۳۷۸). افیولیت‌های سبزوار در بخش شمالی کمربند افیولیتی پیرامون خرد قاره ایران مرکزی واقع است. به طور کلی سکانس افیولیتی سبزوار را می‌توان به صورت مجموعه‌ای متشکل از توالی‌های گوشته‌ای مشتمل بر هارزبورژیت‌ها، لرزولیت‌ها، دونیت‌ها و کرومیتیت‌ها به همراه سرپانتینیت‌ها و نیز توالی‌های پوسته‌ای شامل کومولاهای اولترامافیکی به همراه پگماتیت‌گابروها، گابروها، گابرونوریت‌ها، دیوریت‌ها و کمپلکس دایک‌های صفحه‌ای تا انبوهه‌های دایکی مافیک تا فلسیک، پیلولاواها و گدازه‌های جریانی به همراه رسوبات کرتاسه فوقانی- پالئوسن زیرین معرفی کرد.

واحدهای آتشفشانی – رسوبی شامل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن تا پلیو- کواترنری و سنگ‌های رسوبی میوسن تا پلیو- کواترنری هستند.

تعداد زیادی گنبدهای آتشفشانی تا نیمه‌آتشفشانی در دامنه شمالی و جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار (شکل ۲) و در شمال این نوار از مشکان تا اسفراین و تا جنوب قوچان رخنمون دارند و جزیی از کمان ماگمایی سنوزوییک افیولیت شمال سبزوار را شامل می‌شوند. ترکیب سنگ‌شناسی آنها متشکل از آندزیت، داسیت و ریولیت است و تاکنون پژوهشگران مختلفی به بررسی آنها پرداخته‌اند. Spies et al. (1983) و Baumann et al. (1983) پیدایش نوار آتشفشانی پس از افیولیت بین سبزوار و قوچان را ناشی از فرورانش با شیب به سمت شمال لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس حوضه سبزوار، از زمان ائوسن میانی به بعد می‌دانند. صالحی نژاد (۱۳۸۷) گنبدهای شمال باشتین (واقع در دامنه جنوبی و شمالی نوار افیولیتی شمال سبزوار) را به صورت گنبدهای نیمه ژرف با ترکیب آندزیت، داسیت و ریولیت، با ماهیت متاآلومین تا پرآلومین ضعیف و کالک‌آلکالن و در گروه آداکیت‌های پرسیلیس می‌داند که از ذوب ورقه اقیانوسی فرورونده داغ و جوان نئوتتیس سبزوار با ترکیب گارنت آمفیبولیت در یک زون فرورانش با شیب رو به شمال ایجاد شده و سپس از طریق فرایندهای تبلور تفریقی و آلایش ماگمایی (AFC) تحول یافته است. قاسمی و همکاران (۱۳۸۹) نیز گنبدهای آداکیتی پرسیلیس جنوب قوچان – اسفراین را ناشی از مذاب‌های حاصل از ذوب بخشی پوسته اقیانوسی فرورانده و دگرگون شده نئوتتیس سبزوار در گستره پایداری گارنت و گوه گوشته‌ای روی آن در یک منطقه فرورانش حاشیه قاره‌ای در پلیو - پلئیستوسن می‌دانند. موقعیت گنبدهای مورد مطالعه با سن احتمالی پلیوسن - پلئیستوسن که بخشی از گنبدهای مطالعه شده توسط صالحی نژاد (۱۳۸۷)، Spies et al. (1983) و Baumann et al. (1983) را در برمی‌گیرد، در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) مشخص شده است. این گنبدها (شامل گنبد ساروق، زردکوهی، کوه سفید و مهر) به رنگ سفید متمایل به خاکستری و عمدتاً به شکل مخروطی از دور به روشنی نمایان (شکل‌های ۳ و ۴) و به داخل سنگ‌های هارزبورژیتی و سرپانتینیتی و سنگ‌های آتشفشانی – رسوبی ائوسن نفوذ کرده‌اند و دارای ترکیب ریولیتی هستند. صالحی‌نژاد (۱۳۸۷) حضور حجم زیادی از قطعات تخریبی این گنبدها در کنگلومرای پلیوسن- پلئیستوسن و نبود آنها در واحدهای مارنی میوسن را بیانگر رخنمون این گنبدها در مرز زمانی میوسن- پلیوسن یعنی حدود ۵ میلیون سال پیش در سطح زمین می‌داند.

۳– روش پژوهش

پس از نمونه‌برداری، مشاهدات و بررسی‌های صحرایی، به منظور تشخیص ارتباط سنگ‌های مورد مطالعه با دیگر واحدهای افیولیت، حدود ۳۰ نمونه برای مطالعات میکروسکوپی انتخاب شدند. به منظور تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی این سنگ‌ها، برخی از نمونه‌های سنگی برای آنالیز کل سنگ به روش ICP-AES و ICP-MS برای عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی در آزمایشگاه ALS کانادا و دانشگاه نانسی فرانسه انتخاب شدند (جدول۱). به منظور تعیین و بررسی دقیق‌تر منشأ سنگ‌های مورد مطالعه نیز ۴ نمونه برای آنالیزهای ایزوتوپی Sr، Nd و Pb به دانشگاه ژنو سوییس فرستاده شده‌اند. مقادیر ایزوتوپی Sr، Nd و Pb نمونه‌های مورد آنالیز در جدول ۲ آمده است.

۴– بحث و بررسی

۴–۱. سنگ‌نگاری

سنگ‌های مورد بررسی بیشتر از نظر سنگ‌نگاری دارای ترکیب ریولیتی هستند. بافت‌های پورفیریتیک و گلومروپورفیریتیک با خمیره میکرولیتی و جریانی از مهم‌ترین بافت‌های دیده شده در سنگ‌های مورد مطالعه هستند. درشت‌بلورهای آلکالی‌فلدسپار (سانیدین) به همراه میکرولیت‌های آن بخش عمده‌ای از این سنگ‌ها را به خود اختصاص داده‌اند و دارای ماکل کارلسباد هستند. این درشت‌بلورها اکثراً شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در حالی که ریزبلورهای موجود در خمیره بی‌شکل هستند (شکل ۵-A). آثار دگرسانی و تبدیل‌شدگی آلکالی‌فلدسپارها به سریسیت و کانی‌های رسی در اغلب آنها مشاهده می‌شود. درشت‌بلورها و ریزدرشت‌بلورهای پلاژیوکلاز به شکل هم‌بعددانه و دارای منطقه‌بندی و ماکل تکراری هستند (شکل ۵- B). درشت‌بلورهای کوارتز عمدتاً به صورت گرد و مدور و بی‌شکل هستند. خورده شدگی‌های خلیج مانند در بلورهای کوارتز از جمله ویژگی‌های شاخص میکروسکوپی ریولیت‌هاست (شکل۵-C). کانی‌های کوارتز بیشتر به صورت ریزبلور یا ریزبلورین در خمیره و به مقدار کمتر به صورت درشت‌بلوردیده می‌شوند. کانی‌های مافیک شامل بیوتیت و آمفیبول به صورت درشت‌بلور و در خمیره دیده می‌شوند و برخی به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده‌اند (شکل ۵- D و E) و به صورت لکه‌های سبز تا قهوه‌ای رنگ در متن سنگ مشاهده می‌شوند. از مهم‌ترین کانی‌های ثانویه نیز می‌توان به کلسیت، کلریت، اپیدوت و سریسیت اشاره کرد.

۴–۲. ژئوشیمی

سنگ‌های مورد مطالعه از نظر مقدار SiO_2 دارای طیف ترکیبی ۶۹/۲ تا ۷۴ درصد بوده و در تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی که توسط Le Bas et al. (1986) ارائه شده است همه نمونه‌ها در قلمرو ریولیت واقع می‌شوند. سری ماگمایی آنها در این نمودار در قلمرو ساب‌آلکالن و نزدیک به مرز آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۶). در نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976) نیز در محدوده کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا واقع می‌شوند (شکل ۷). بر اساس نمودار Maniar & Piccoli (1989) نمونه‌ها در مرز قلمرو پرآلومین تا متاآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۸). احتمالاً گرایش نمونه‌ها به سمت پرآلومین ناشی از فرایند تفریق و دگرسانی فلدسپارهای آلکالن به کانی‌های رسی است.

در نمودار عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun & McDonough, 1989) نمونه‌های مورد مطالعه غنی‌شدگی در عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREE) نشان می‌دهند (شکل ۹ - الف). در نمودار چند عنصری بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) (شکل ۹- ب) نیز تمامی نمونه‌های مورد بررسی در عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) به‌ویژه Nb، Ta، P و Ti بی‌هنجاری منفی و در عناصر Sr، Pb، K، Rb و U بی‌هنجاری مثبت نشان می‌دهند که نشان‌دهنده منشأ گرفتن ماگمای مادر سنگ‌های مورد مطالعه از یک زون مرتبط با فرورانش هستند (Pearce et al., 1984; Gill, 2010; Wilson, 1989). با توجه به موازی بودن الگوی فراوانی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای عنکبوتی، احتمالاً بیانگر ارتباط ژنتیکی و منشأ مشابه آنها است (Wilson, 1989).

با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی از جمله بالابودن نسبت‌های Sr/Y، La/Yb، پایین بودن مقادیر Ta، Nb، Y، Yb و نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$، نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو ماگماهای آداکیتی قرار می‌گیرند (جدول ۳).

۴–۳. تعیین موقعیت زمین‌ساختی و پتروژنز نمونه‌های مورد مطالعه

همان‌طور که پیش‌تر یاد شد سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی در نمودارهای بهنجارشده نسبت به کندریت و گوشته اولیه، غنی‌شدگی قابل توجهی در عناصر LILE و LREE نسبت به HFSE و HREE نشان می‌دهند و افزون بر آن، دارای بی‌هنجاری منفی ازعناصر Ta، Nb و Ti بوده که این ویژگی‌ها خاص محیط‌های مرتبط با فرورانش هستند. بدین منظور، برای تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های مورد مطالعه، از نمودارهای دو متغیره Rb در برابر Y+Nb و Ta+Yb استفاده شده است (Pearce et al., 1984). همان‌طور که در این نمودارها مشخص است نمونه‌های

مورد مطالعه در قلمرو کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰). در نمودار La/Yb در برابر Th/Yb (Wood, 1980) نیز نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو کمان حاشیه قاره‌ای فعال واقع می‌شوند (شکل ۱۱).

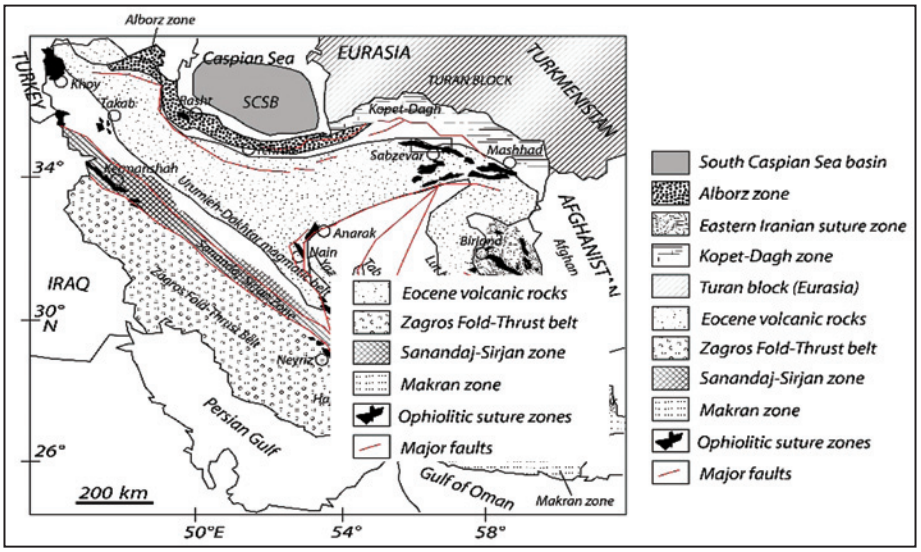
همچنین از نمودارهایی مانند Sr/Y در برابر Y و La/Yb در برابر Yb (Defant & Drummond, 1990) برای تشخیص آداکیتی بودن سنگ‌های منطقه مورد مطالعه استفاده شده است (شکل ۱۲). با توجه به اینکه ضریب تفکیک‌پذیری یا K_D عناصر کمیاب خاکی سنگین (مانند Yb) در فازهایی مانند گارنت بالا بوده و میل به تجمع در این فاز دارند (بر خلاف عناصر کمیاب خاکی سبک مانند La)، نمودار La/Yb در برابر Yb برای تفکیک آداکیت‌ها از دیگر سنگ‌های مرتبط با زون فرورانش پیشنهاد شده است. بر اساس این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه بر روی روند گارنت آمفیبولیت و بیانگر آن است که از ذوب بخشی حدود ۲۵ درصدی از یک منشأ آمفیبولیت حاوی ۱۰ تا ۲۵ درصد گارنت نشأت گرفته‌اند. در نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb (Haschke & Ben-Avraham, 2005) نیز نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو آمفیبولیت واقع می‌شوند (شکل ۱۳). با توجه به میزان سیلیس، آداکیت‌های منطقه متعلق به آداکیت‌های غنی از سیلیس بوده و در نتیجه ذوب ورقه اقیانوسی فرورانده شده که با گوه گوشته‌ای نیز واکنش داده به‌وجود آمده‌اند (Castillo, 2012; Martin et al., 2005) (شکل۱۴). در نمودار شکل ۱۵ همان‌طور که دیده می‌شود بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های مشتق شده از پوسته اقیانوسی قرار گرفته‌اند.

سرب رادیوژن سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه اندازه‌گیری شده و مقادیر $^{206}Pb/^{204}Pb$، $^{207}Pb/^{204}Pb$ و $^{208}Pb/^{204}Pb$ در آنها به ترتیب برابر ۱۸/۳۷-۱۸/۳۹، ۱۵/۵۳۸-۱۵/۵۳۶ و ۳۸/۳۲۷-۳۸/۳۲۵ هستند. در نمودار $^{206}Pb/^{204}Pb$ در برابر $^{207}Pb/^{204}Pb$ (شکل ۱۶) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده مرز MORB و ترکیب PREMA و DM قرار می‌گیرند و احتمالاً نشان‌دهنده آن است که سنگ‌های مورد مطالعه از یک منشأ تیپ مورب و یا از یک گوشته نسبتاً تهی شده نشأت گرفته‌اند. برای بررسی دقیق‌تر و تحول ماگمای آداکیتی منطقه، از نمودار ε_{Nd} در برابر $(^{87}sr/^{86}sr)_i$ (Guan et al., 2012) استفاده شد. همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود نسبت $^{87}Sr/^{86}Sr$ نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بین ۰/۷۰۴۱ تا ۰/۷۰۴۲ (مقدار متوسط ۰/۷۰۴۱۵) و ε_{Nd} = ۵/۶-۶/۱ است که در ناحیه آداکیت‌های مرتبط با فرورانش قرار گرفته است (شکل ۱۷) و نشان‌دهنده آن است که احتمالاً از پوسته اقیانوسی صفحه فرورانش شده سبزوار به زیر حاشیه قاره‌ای ایران مرکزی نشأت گرفته است. اولین مطالعات ایزوتوپی استرانسیم انجام گرفته توسط Baumann et al. (1983) نشان‌دهنده آن است که تغییرات ترکیب نسبت ایزوتوپ $^{87}Sr/^{86}Sr$ سنگ‌های آتشفشانی ترشیری بین کاشمر - سبزوار - قوچان، که منطقه مورد مطالعه را نیز در برمی‌گیرد، بین ۰/۷۰۳۵ تا ۰/۷۰۶۰ (میانگین ۰/۷۰۴۶) بوده و احتمالاً به سبب ناهمگنی گوشته و درجات مختلف تبلور بخشی است که نقش عمده‌ای در تشکیل ماگماهای کالک‌آلکالن دارد. ماگماهای مادر آنها در نتیجه بی‌آب شدن پوسته اقیانوسی در فشار بخار آب بالا و فشار اکسیژن بالا (Spies et al., 1983) و توسط ذوب‌بخشی گوه گوشته بالای زون فرورانش و بدون مشارکت پوسته قاره‌ای سیالیک به‌وجود آمده است (Baumann et al., 1983). بر اساس مطالعات قاسمی و همکاران (۱۳۸۹) نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ گنبدهای آداکیتی جنوب قوچان که در نوار ماگمایی شمال منطقه مورد مطالعه قرار دارند،

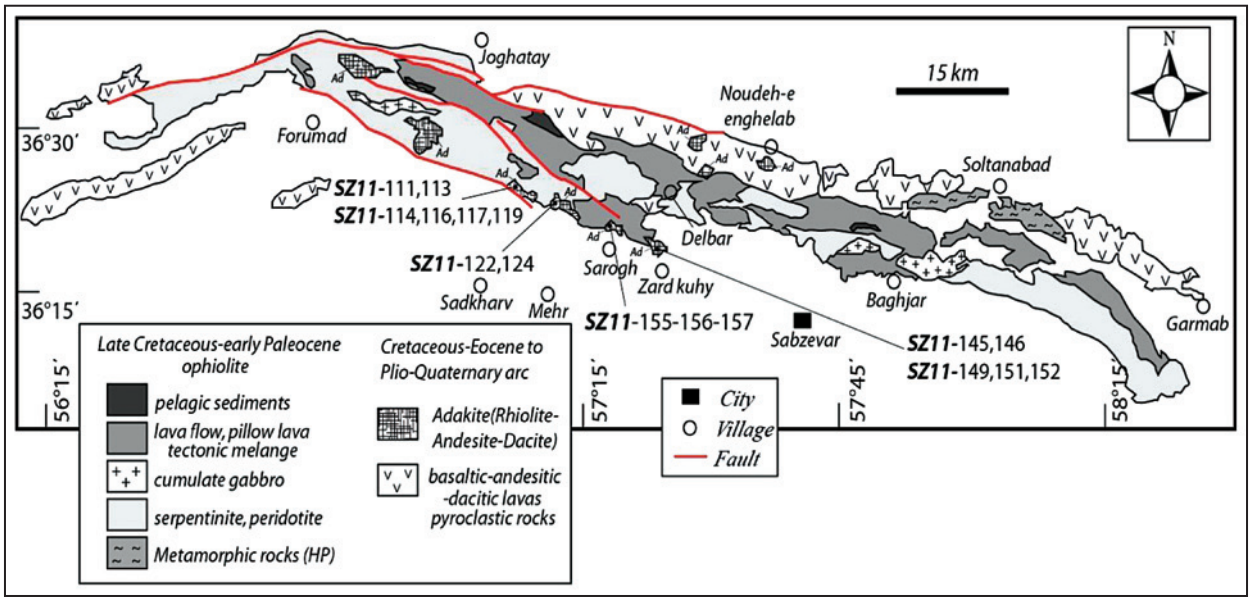
بین ۰/۷۰۴۱ تا ۰/۷۰۵۷ بوده و بیانگر آن است که ماگماتیسم آداکیتی پرسیلیس منطقه ناشی از ذوب پوسته اقیانوسی دگرگون شده نئوژن سبزوار در گستره پایداری گارنت در یک منطقه فرورانش حاشیه قاره در پلیو- پلئیستوسن و مقادیر ایزوتوپی حاکی از آلایش ماگمای سازنده این سنگ‌ها با مواد پوسته‌ای است.

۵- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و داده‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌های مورد مطالعه در قلمرو ریولیت واقع می‌شوند. طبق نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه، نمونه‌های مورد بررسی، در عناصر کمیاب خاکی سبک و لیتوفیل بزرگ یون غنی‌شدگی و در عناصر کمیاب خاکی سنگین و عناصر با شدت میدان بالا به‌ویژه Ta، Nb و Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند که بر این اساس نمونه‌های مورد مطالعه متعلق به زون‌های فرورانش هستند. با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی مانند نمودار Sr/Y در برابر Y و نمودارهای عنکبوتی، سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه متعلق به آداکیت‌های پرسیلیس و حاصل ذوب بخشی یک منشأ گارنت آمفیبولیتی هستند. بر طبق نمودارهای تعیین جایگاه تکتونوماگمایی نیز، تمامی نمونه‌ها گرایش به کمان‌های آتشفشانی دارند. بر اساس داده‌های ایزوتوپی واحدهای آتشفشانی مورد مطالعه در ناحیه آداکیت‌های مرتبط با فرورانش قرار گرفته و در محدوده مرز MORB با PREMA (ترکیب گوشته رایج) و DMM واقع شده و نشان‌دهنده آن است که از یک منشأ مورب و گوه گوشته نسبتاً تهی‌شده بالای آن نشأت گرفته‌اند.



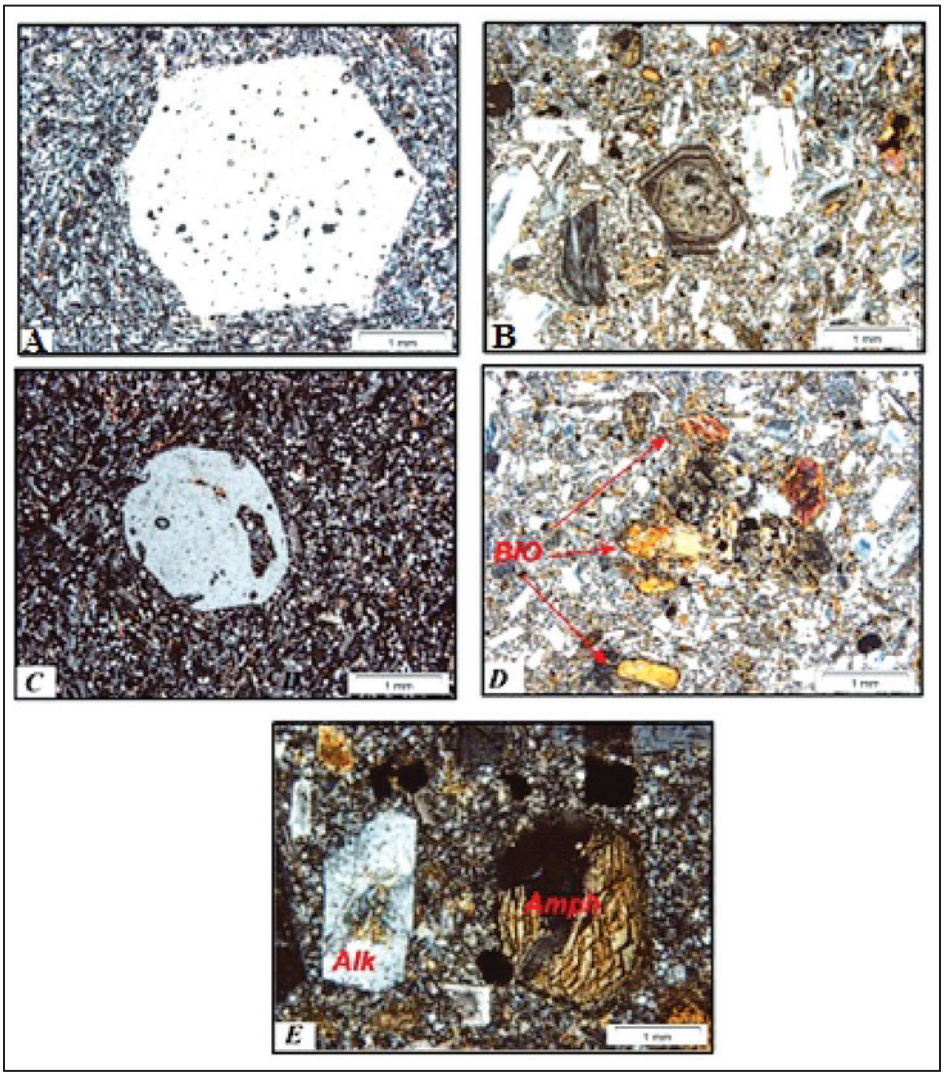
شکل ۱- نقشه پهنه‌های رسوبی - ساختاری عمده ایران (Stocklin, 1968). محدوده منطقه مورد مطالعه با کادر نشان داده شده است.



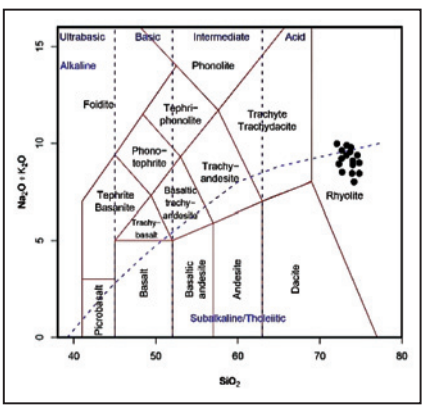
شکل۲- نقشه زمین‌شناسی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه (ساده شده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ سبزوار و باشتین). موقعیت نمونه‌های آنالیز شده نیز در نقشه مشخص شده‌اند.

شکل ۳- دورنمایی از گنبدهای ریولیتی مورد مطالعه در دامنه جنوبی نوار افیولیتی شمال سبزوار، دید به سمت شمال.

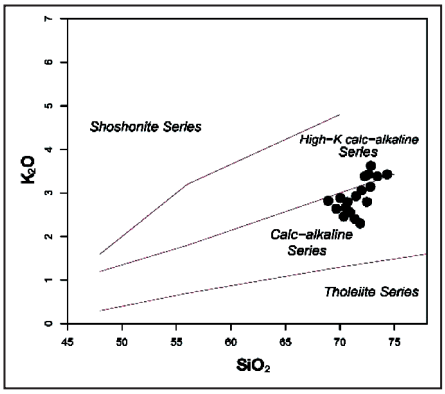
شکل ۴- نمایی نزدیک از گنبد ریولیتی ساروق، دید به سمت شمال.



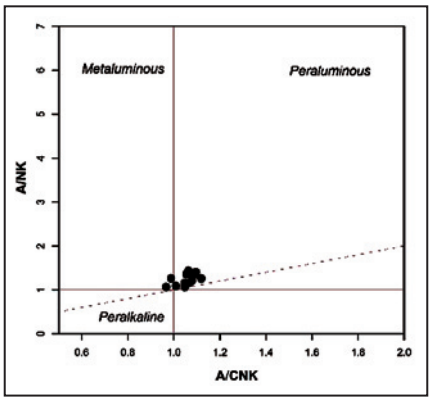
شکل۵– A) درشت‌بلورهای شکل‌دار سانیدین، ریولیت گنبد کوه سفید؛ B) ساختمان منطقه‌ای در درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، ریولیت گنبد ساروق؛ C) درشت‌بلورهای کوارتز خلیجی در ریولیت گنبد کوه سفید؛ D) حضور ریزدرشت‌بلورهای بیوتیت در ریولیت ساروق؛ E) درشت‌بلورهای آمفیبول و آلکالی فلدسپار همراه با بافت پورفیریتیک در سنگ‌های ریولیتی ساروق. نور XPL. بیوتیت: Bio، آلکالی فلدسپار: Alk، آمفیبول: Amph.



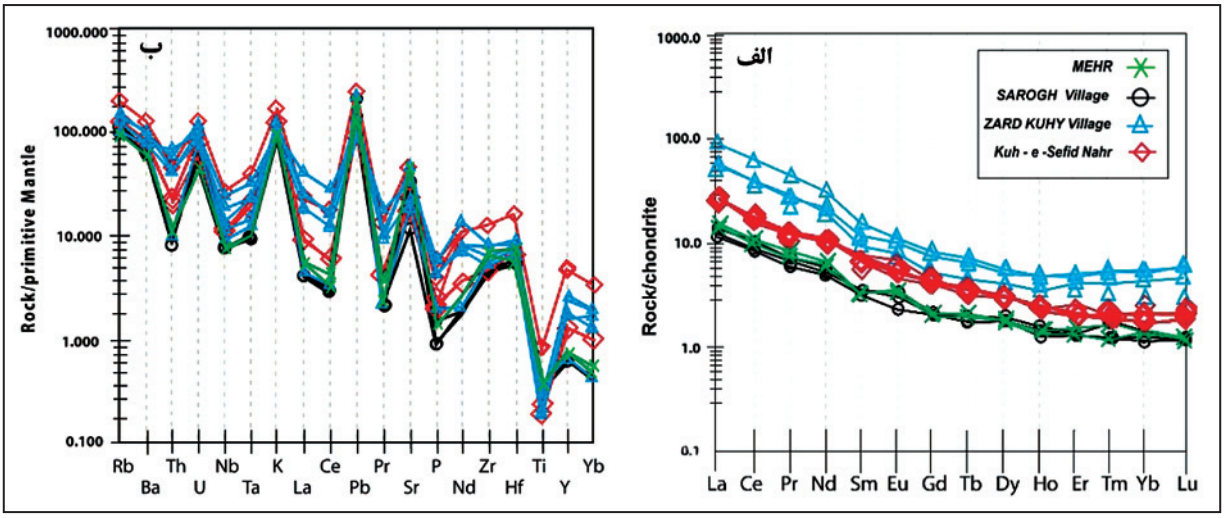
شکل۶– نامگذاری سنگ‌های آذرین مورد بررسی در نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Le Bas et al., 1986). نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو ریولیت قرار می‌گیرند.



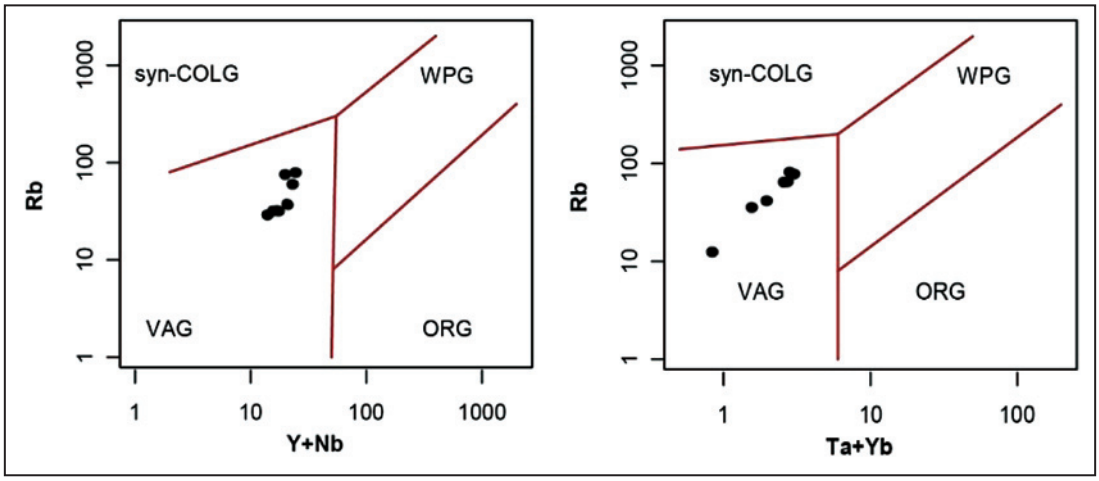
شکل۷–نمودار K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976). نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا واقع می‌شوند.



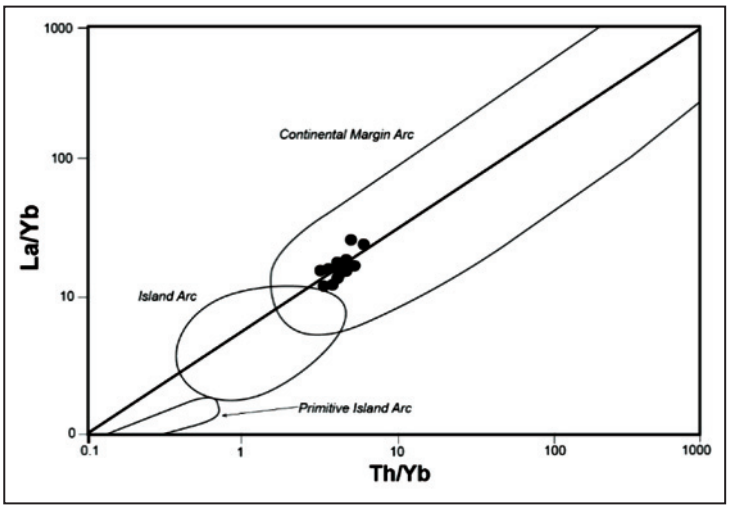
شکل۸- نمودار Maniar & Piccoli (1989) برای تعیین درجه اشباعیت از آلومین. نمونه‌های مورد مطالعه در مرز قلمرو پرآلومین تا متاآلومین قرار می‌گیرند.



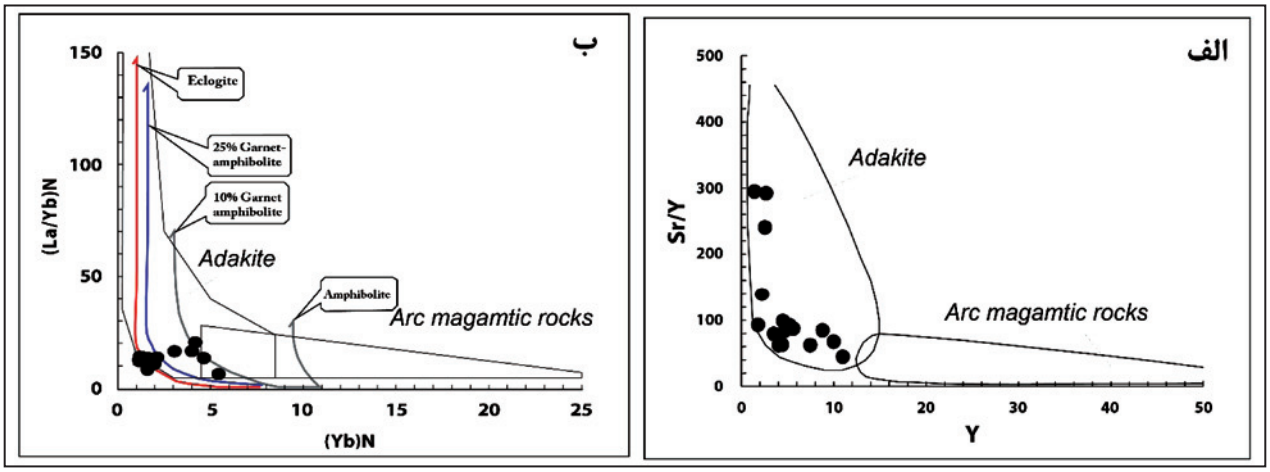
شکل۹- الف) نمودار عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت (Sun & McDonough, 1989)؛ ب) نمودار عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)، برای نمونه‌های مورد مطالعه.



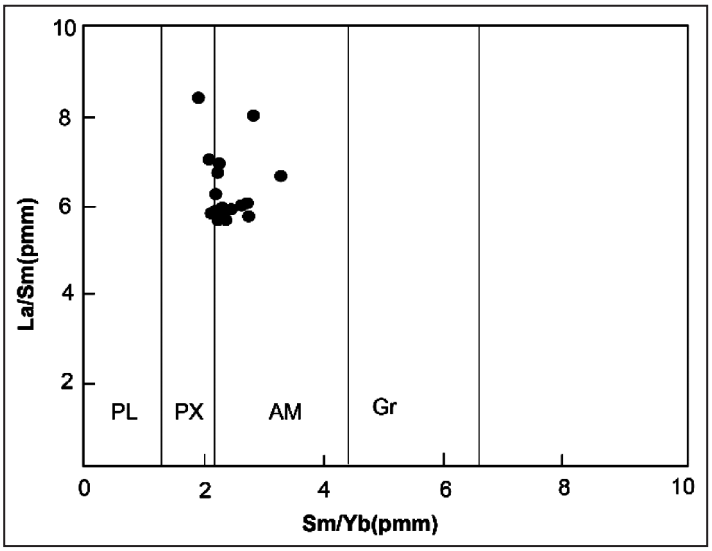
شکل۱۰- نمودارهای تکتونوماگمایی برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های مورد مطالعه (Pearce et al., 1984). همان‌طور که دیده می‌شود نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو گرانیت‌های کمان ماگمایی واقع می‌شوند.



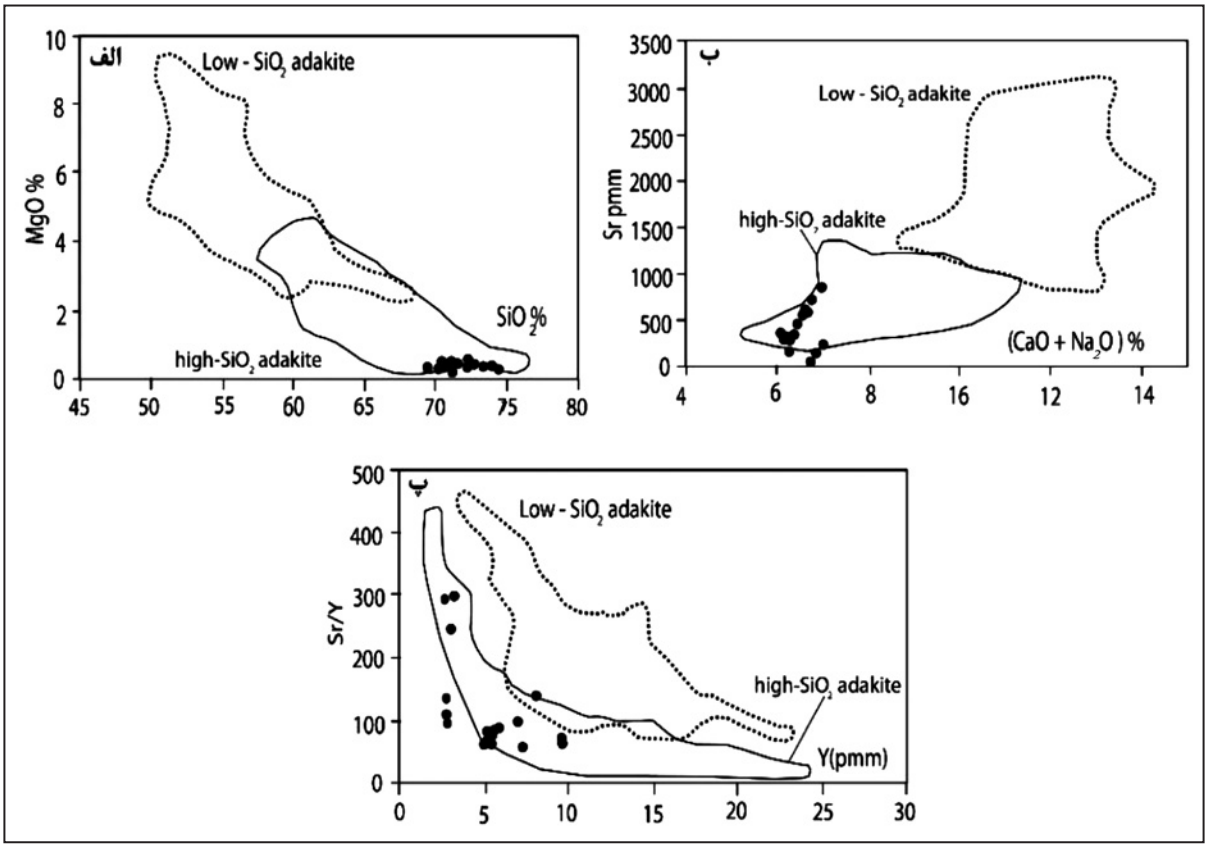
شکل ۱۱- نمودار La/Yb در برابر Th/Yb (Wood, 1980). نمونه‌های مورد مطالعه در موقعیت کمان حاشیه قاره‌ای قرار می گیرند.



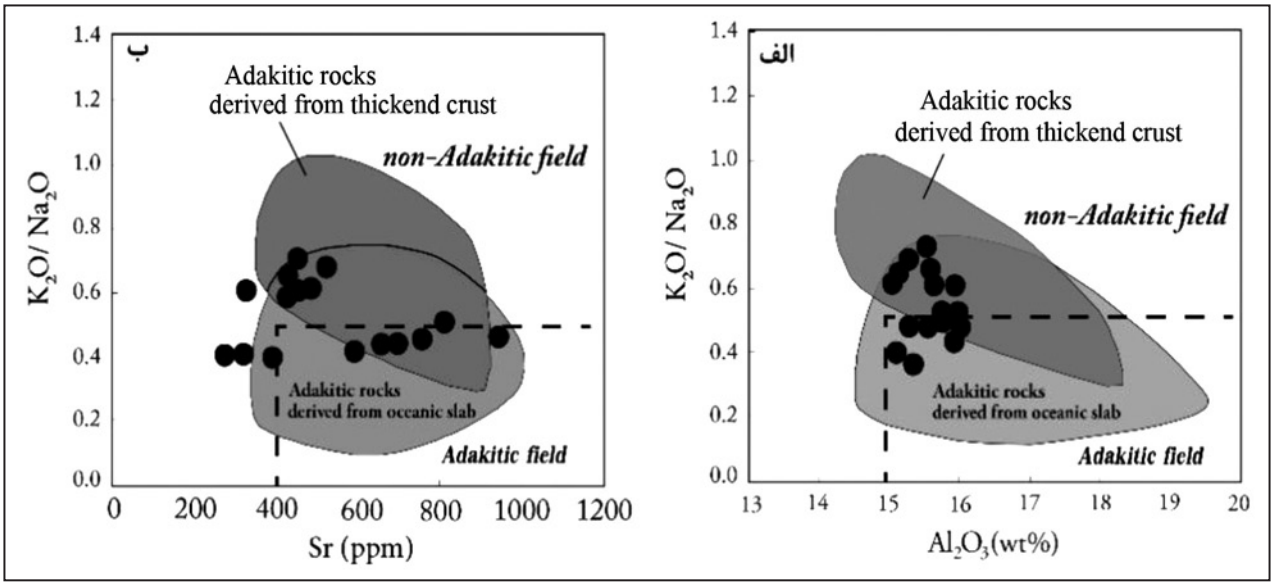
شکل۱۲- الف) نمودار Sr/Y در برابر Y؛ ب) نمودار La/Yb در برابر Y (Defant & Drummond, 1990) و قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو آداکیتی و با منشأ گارنت آمفیبولیت.



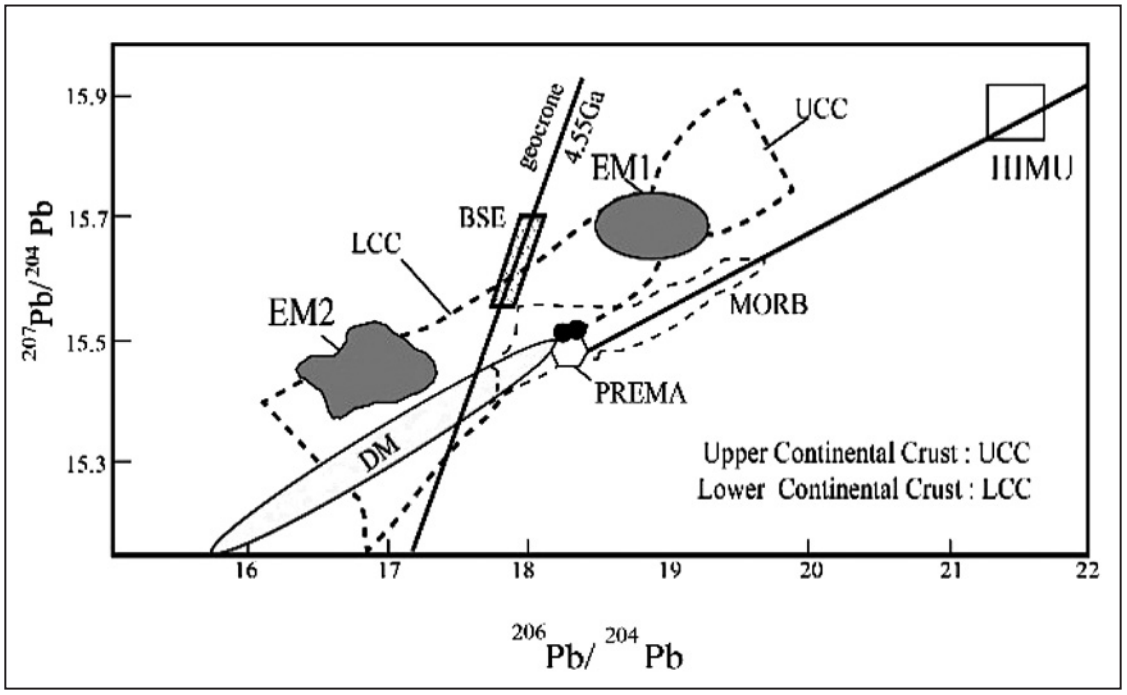
شکل ۱۳ - نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb برای تعیین منشأ سنگ‌های مورد مطالعه (Haschke & Ben-Avraham, 2005).



شکل۱۴– الف) نمودار درصد وزنی MgO در برابر SiO_2؛ ب) نمودار Sr در برابر درصد وزنی $CaO+Na_2O$؛ پ) نمودار Sr/Y در برابر Y (Martin et al., 2005؛ Castillo, 2012) و قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده آداکیت‌های غنی از سیلیس.

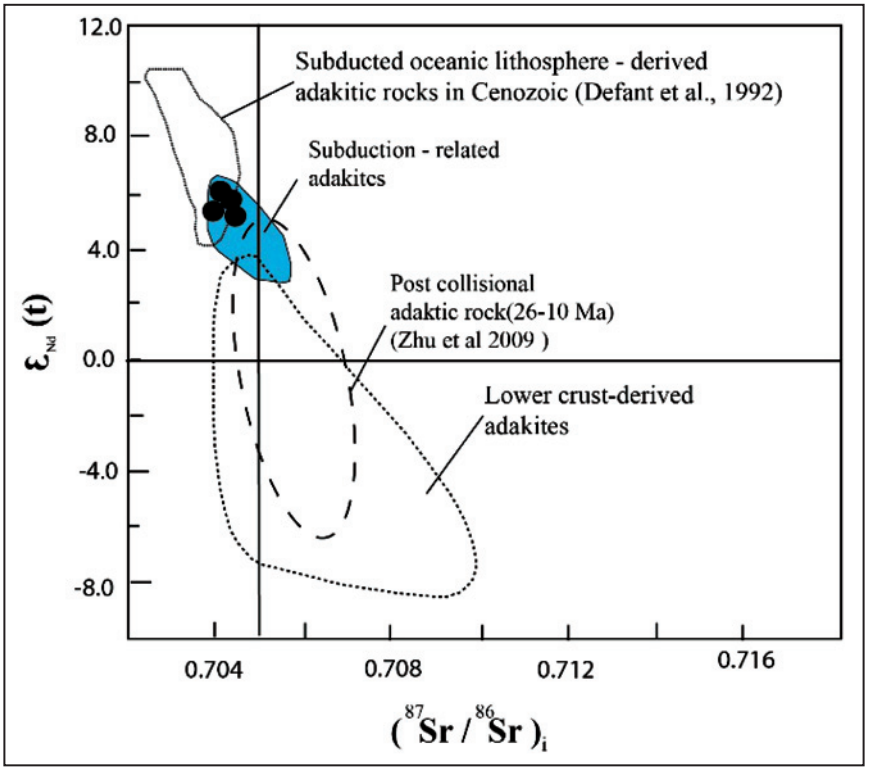


شکل ۱۵– الف) نمودار K_2O/Na_2O در برابر درصد وزنی AL_2O_3؛ ب) نمودار K_2O/Na_2O در برابر Sr (Kamei et al., 2009) برای نمونه‌های مورد مطالعه. همان‌طور که دیده می‌شود نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو آداکیت‌های مشتق شده از ورقه اقیانوسی در مرز مشترک با آداکیت‌های مشتق شده از پوسته ستبر واقع می‌شوند.



شکل ۱۶- نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{206}Pb/^{204}Pb$ در برابر $^{207}Pb/^{204}Pb$ برای سنگ‌های موردمطالعه (Zindler & Hart, 1986).

DM: گوشته تهی شده؛ BSE: کل زمین سیلیکاتی؛ EMI: گوشته غنی شده؛ HIMU: گوشته با نسبت بالای U/Pb؛ PREMA: ترکیب رایج و غالباً مشاهده شده گوشته.



شکل ۱۷- نمودار ε_{Nd} در برابر $(^{87}sr/^{86}sr)_i$ (Guan et al., 2012) و قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در قلمروآداکیت‌های مرتبط با فرورانش.

جدول۱- نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی (برحسب درصد وزنی)، عناصر کمیاب و عناصر کمیاب خاکی (ppm) سنگ‌های مورد مطالعه.

	نوع سنگ	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت
	شماره نمونه	SZ11-111	SZ11-113	SZ11-114	SZ11-116	SZ11-117	SZ11-118	SZ11-119	SZ11-122	SZ11-124	SZ11-145	SZ11-146	SZ11-149
	منطقه	کوه سفید	کوه سفید	کوه سفید	کوه سفید	کوه سفید	کوه سفید	کوه سفید	مهر	مهر	زردکوهی	زردکوهی	زردکوهی
SiO_2	%wt	۷۲/۳۳	۷۴	۷۲/۶۲	۷۲/۶	۷۳/۱۱	۷۲/۲	۷۲/۴	۷۰/۶	۷۰/۷	۷۱/۰	۷۱/۵	۷۲/۵۹
TiO_2	"	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۳
Al_2O_3	"	۱۵/۱۲	۱۵/۱۵	۱۵/۲۰	۱۴/۹	۱۵/۲۸	۱۴/۷	۱۴/۹۵	۱۵/۶	۱۵/۵	۱۵/۱	۱۵/۳	۱۵/۵۵
FeO(t)	"	۰/۷۷	۰/۷۲	۰/۸۰	۰/۷۲	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۲	۰/۹۴	۱/۱۱	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۷۸
MnO	"	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۸ ۰	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۱۲	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۲
MgO	"	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۳۱	۰/۲۱
CaO	"	۱/۲۷	۰/۹۳	۰/۴۸	۰/۸۶	۱/۰۳	۱/۱۷	۱/۳۱	۱/۶۵	۱/۴۹	۱/۹۷	۱/۵۶	۱/۴۸
Na_2O	"	۴/۹۱	۵/۶	۵/۹۶	۵/۳۱	۵/۲۷	۴/۹۶	۰/۱۶	۰/۸۹	۰/۵۷	۶/۰۱	۵/۳۷	۵/۰۴
K_2O	"	۳/۴۵	۳/۴۸	۳/۵۳	۳/۵۹	۳/۴۳	۳/۰۲	۳/۲۱	۲/۷۱	۲/۵۵	۲/۶۲	۲/۳۹	۲/۸۸
P_2O_5	"	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰<۰/۰۱	۰/۰۲	۰<۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹
LOI	"	۰/۶۵	۱/۱	۰/۸۷	۰/۴	۰/۵۹	۰/۵۹	۱/۵۹	۲/۸۹	۱/۱۹	۱/۱۹	۲/۲	۱/۳۴
Total	"	۹۸/۸۲	۱۰۱/۵	۹۹/۸۰	۹۸/۸	۹۹/۸۰	۹۷/۷	۹۹/۷	۱۰۱	۹۸/۷	۹۸/۵	۹۹/۹	۱۰۰/۱۰
Rb	ppm	۷۲/۳۴	۸۸	۷۴/۳۶	۹۲/۳	۷۰/۶	۷۸/۴	۷۸/۳	۶۳/۳	۶۶/۳	۶۲	۵۷/۴	۵۸/۵۹
Ba	"	۵۳۹/۱	۵۲۲	۵۰۷/۳	۶۰۸	۴۹۸/۶	۴۹۸	۴۸۰	۴۰۴	۴۰۰	۴۷۱	۵۶۴	۴۶۰/۵
Sr	"	۴۰۵/۲	۴۸۳/۰	۳۳۷/۷	۵۰۳/۰	۴۳۵/۰	۴۴۸/۰	۴۸۸	۹۳۶	۷۴۹	۶۹۲	۶۵۳	۴۰۳/۳
Th	"	۱/۶۸۱	۱/۸۴	۱/۷۴۵	۱/۸	۱/۶۱۹	۱/۷۶	۱/۶۴	۰/۹۵	۰/۸۴	۰/۵۲	۲/۷۷	۳/۱۴
U	"	۱/۲۸۹	۱/۷۷	۱/۳۱۴	۱/۳۳	۱/۶۶۶	۱/۵۷	۱/۳۶	۰/۹۹	۰/۸۹	۱/۶۱	۱/۲۲	۱/۹۲۴
Pb	"	۱۵/۳۸	۱۲/۰	۱۳/۶۰	۱۳/۰	۱۴/۵۷	۱۲/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۱۷/۰	۶/۰	۷/۰	۱۴/۰۹
Nb	"	۶/۹۸۲	۷/۶	۷/۵۳۶	۷/۵	۶/۶۶۹	۷/۵	۷/۴	۵/۴	۴/۹	۶/۸	۱۰/۲	۸/۹۷
Ta	"	۰/۶۹۴	۰/۶	۰/۷۲۹	۰/۶	۰/۶۴۴	۰/۷	۰/۶	0.4	0.4	0.5	0.7	۰/۸۴۲
Zr	"	۴۱/۶۳	۴۴/۰	۴۱/۳	۴۶/۰	۴۳/۱۶	۴۴/۰	۴۶	۷۳	۵۸	۶۶	۶۳	۵۰/۰۸
Y	"	۵/۵۵	۵/۸	۵/۲۶	۵/۸	۱/۲۸	۵/۵	۵,۵	۳/۲	۳/۱	۷/۰	۹/۷	۷/۳۵
Hf	"	۱/۷۵	۱/۸	۱/۷۰	۱/۸	۱/۷۲	۱/۷	۱/۸	۲/۲	۱/۹	۲/۰	۲/۰	۱/۸۳۱
La	"	۵/۱۷۸	۶/۰	۵/۳۵۳	۵/۹	۵/۰۷۶	۵/۸	۵/۳	۳/۷	۳/۴	۱۳/۳	۱۳/۱	۱۱/۹۵
Ce	"	۸/۹۹	۱۰/۸	۹/۲۵	۱۰/۸	۸/۸۳۷	۱۰/۶	۹/۷	۶/۹	۶/۲	۲۳/۴	۲۳/۹	۲۰/۲۶
Pr	"	۱/۰۳	۱/۲۱	۱/۰۳	۱/۲۲	۰/۹۷	۱/۱۹	۱/۰۸	۰/۸	۰/۶۸	۲/۴۳	۲/۵۶	۲/۱۹
Nd	"	۴/۱۵	۴/۸	۴/۲۸	۴/۸	۴/۰۲	۴/۶	۰/۹۱	۳/۲	۲/۹	۸/۹	۹/۷	۸/۵۲
Sm	"	۰/۹۳۷	۰/۹۹	۰/۹۳	۱/۰۵	۰/۸۲۷	۰/۹۶	۰/۹	۰/۵	۰/۴۸	۱/۳۶	۱/۷۳	۱/۷۰
Eu	"	۰/۲۸۴	۰/۳	۰/۲۷۹	۰/۳۵	۰/۰۸۲	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۱۹	۰/۴۴	۱/۵۵	۰/۴۰
Gd	"	۰/۸۹۲	۰/۸۴	۰/۸۵۸	۰/۹	۰/۸۲۷	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۴۳	۰/۴۳	۱/۰۳	۱/۵	۱/۴۱
Tb	"	۰/۱۴۶	۰/۱۴	۰/۱۳۸	۰/۱۴	۰/۱۳۸	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱۶	۰/۲۳	۰/۲۱۵
Dy	"	۰/۸۳۲	۰/۸۵	۰/۸۲۷	۰/۸۳	۰/۸۱۳	۰/۸۴	۰/۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۹۹	۱/۲۷	۱/۱۹۸
Ho	"	۰/۱۵۱	۰/۱۶	۰/۱۴۶	۰/۱۶	۰/۱۴۵	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۲	۰/۲۷	۰/۲۰۲
Er	"	۰/۴۱۴	۰/۴۲	۰/۳۹۹	۰/۴۳	۰/۳۹۵	۰/۴۵	۰/۳۹	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۵۳
Tm	"	۰/۰۶۳	۰/۰۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۱	۰/۱۳	۰/۰۷
Yb	"	۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۹	۰,۴۲	۰/۳۷	۰/۴	۰/۲۳	۰/۲۲	۰/۷۵	۰/۸۶	۰/۵۱
Lu	"	۰/۰۶۵	۰/۰۶	۰/۰۶۲	۰/۰۶	۰/۰۶۴	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۱۲	۰/۵۱	۰/۰۷

ادامه جدول۱- نتایج آنالیز شیمیایی عناصر اصلی (برحسب درصد وزنی)، عناصر کمیاب و عناصر کمیاب خاکی (ppm) سنگ‌های مورد مطالعه.

	نوع سنگ	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت
	شماره نمونه	SZ11-151	SZ11-152	SZ11-155	SZ11-156	SZ11-157
	منطقه	زردکوهی	زردکوهی	ساروق	ساروق	ساروق
Nb	"	۵/۳	۱۲/۷	۵/۴	۵/۳	۵/۲
Ta	"	۰/۴	۱/۰	۰/۴	۰/۴	۰/۴
Zr	"	۵۹	۷۲	۵۵	۵۲	۵۳
Y	"	۲/۹	۹/۸	۲/۹	۲/۹	۲/۸
Hf	"	۲/۰	۲/۰	۱/۹	۱/۸	۱/۹
La	"	۲/۶	۲۰/۵	۳	۲/۸	۲/۸
Ce	"	۵/۲	۳۷/۷	۵/۹	۵/۳	۵،۵
Pr	"	۰/۶	۳/۹۴	۰/۶۴	۰/۶	۰/۶۲
Nd	"	۲/۵	۱۴/۲	۲/۶	۲/۴	۲/۶
Sm	"	۰/۴۵	۲/۲۶	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۵۱
Eu	"	۰/۱۴	۰/۶۲	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۷
Gd	"	۰/۴۶	۱/۵۸	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۴۱
Tb	"	۰/۰۸	۰/۲۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
Dy	"	۰/۴۴	۱/۴۳	۱/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۴
Ho	"	۰/۰۷	۰/۲۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷
Er	"	۰/۲۳	۰/۷۷	۰/۲۱	۰/۲۲	۰/۲۲
Tm	"	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳
Yb	"	۰/۲۲	۰/۸۲	۰/۲۲	۰/۲	۰/۲۲
Lu	"	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳

	نوع سنگ	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت
	شماره نمونه	SZ11-151	SZ11-152	SZ11-155	SZ11-156	SZ11-157
	منطقه	زردکوهی	زردکوهی	ساروق	ساروق	ساروق
SiO_2	%wt	۷۰/۲	۷۱/۹	۷۰/۳	۷۰/۳	۶۹/۲
TiO_2	"	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷
Al_2O_3	"	۱۵/۳۵	۱۵/۴۵	۱۵/۲۵	۱۵/۴	۱۵/۳
FeO(t)	"	۰/۹	۱/۱۲	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۷
MnO	"	۰/۰۴	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۳
MgO	"	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۲۴	۰/۲۴	۰/۲۶
CaO	"	۰/۲۶	۱/۰۷	۰/۹	۰/۵۸	۱/۶
Na_2O	"	۷/۱۱	۵/۶۸	۶/۷۲	۶/۶۸	۵/۶۳
K_2O	"	۲/۸۸	۲/۳۳	۲/۶۹	۲/۶۳	۲/۸۵
P_2O_5	"	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲
LOI	"	۰/۹	۲/۵۹	۱/۰	۰/۸	۰/۷۹
Total	"	۹۸/۱	۱۰۱	۹۸/۲	۹۷/۸	۹۸/۶
Rb	ppm	۶۳/۶	۵۲/۵	۶۴/۷	۶۲/۲	۶۶/۴
Ba	"	۴۳۵	۴۰۱	۴۱۱	۳۹۷	۴۹۲
Sr	"	۳۱۴	۵۹۲	۳۹۱	۲۷۳	۸۰۴
Th	"	۰/۷۴	۴/۲۲	۰/۷۴	۰/۷۶	۰/۷۷
U	"	۱/۲۲	۱/۳۷	۱/۲۳	۱/۱۹	۱/۱
Pb	"	۱۲/۰	۶/۰	۱۱/۰	۱۶/۰	۹/۰

جدول ۲- داده‌های ایزوتوپی Sr، Nd و Pb برای نمونه‌های مورد مطالعه.

Rock type	ریولیت	ریولیت	ریولیت	ریولیت
Samples	SZ11-155	SZ11 - 111	SZ11 - 149	SZ11-124
Location	ساروق	کوه سفید	زرد کوهی	مهر
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_s$	۰/۷۰۴۱	۰/۷۰۴۱	۰/۷۰۴۲	۰/۷۰۴۱
$(^{87}Rb/^{86}Sr)_i$	۰/۴۷۸۵	۰/۴۶۴۷	۰/۳۹۳۸	۰/۲۵۶۰
$(^{87}Sr/^{86}Sr)_i$	۰/۷۰۴۰	۰/۷۰۴۱	۰/۷۰۴۲	۰/۷۰۴۱
$(^{143}Nd/^{144}Nd)_s$	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹
$(^{147}Sm/^{144}Nd)_i$	۰/۰۵۲۶	۰/۱۳۳۶	۰/۱۲۰۸	۰/۱۰۰۰
$(^{143}Nd/^{144}Nd)_i$	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹	۰/۵۱۲۹
εNd_i	۵/۸۰	۵/۹۶	۶/۱۰	۵/۶۰
t_{DM} (Ma)	۱۶۱	۳۰۰	۲۴۵	۲۳۵
$^{206}Pb/^{204}Pb$	-	۱۸/۳۹۶	۱۸/۳۷۴	-
$^{207}Pb/^{204}Pb$	-	۱۵/۵۳۸	۱۵/۵۳۶	-
$^{208}Pb/^{204}Pb$	-	۳۸/۳۲۵	۳۸/۳۲۷	-

جدول ۳- مقایسه ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه با ویژگی‌های ژئوشیمیایی آداکیت‌ها (Castillo, 2012).

معیارهای شناخت آداکیت‌ها	مقادیر محاسبه شده برای آداکیت‌های منطقه مورد مطالعه (شمال باختر سبزوار)
$SiO_2 \geq 56$ wt%	SiO_2=69.2-74
$Al_2O_3 \geq 15$	Al_2O_3=14.7-15.6
MgO < 3	MgO =0.13- 0.35
Sr>300 ppm	Sr=273-936
فقدان آنومالی منفی Eu	فقدان آنومالی منفی Eu
Y<10	Y=2.9-9.7
Sr/Y>20	Sr/Y= 58.2-241
Yb<1	Yb=0.2-0.86
La/Yb >20	La/Yb = 12.1-23.2
مقدار کم HFSE (Nb, Ta)	(مقدار کم HFSE (Ta:0.58, Nb:7.1
$(^{87}sr/^{86}sr)<0.704$	$(^{87}sr/^{86}sr)$=0.7040 – 0.7042

کتابنگاری

بهرودی، ا. و عمرانی، ج.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ باشتین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

تنها، ع.، ۱۳۸۸- پتروژنز سنگ‌های آذرین نئوژن شمال عنبرآباد (مشکان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صالحی‌نژاد، ح.، ۱۳۸۷- بررسی پترولوژی و ژئوشیمی گنبدهای ساب ولکانیک منطقه باشتین (جنوب غربی سبزوار)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

صالحی نژاد، ح.، صادقیان، م. و قاسمی، ح.، ۱۳۸۶- ماگماتیسم آداکیتی در منطقه باشتین، غرب سبزوار، یازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

قاسمی، ح.، صادقیان، م.، خانعلی‌زاده، ع. و تنها، ع.، ۱۳۸۹ - سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و سن تابش‌سنجی گنبدهای آداکیتی پرسیلیس کمان قاره‌ای نئوژن جنوب قوچان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳، ۳۴۷ تا ۳۷۰.

مجیدی، ج.، ۱۳۷۸- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزوار، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

Alavi, M., 1991- Tectonic map of the Middle East, Scale 1:5,000000 , Geological Survey of Iran, Tehran.

Baumann, A., Spies, O. & Lensch, G., 1983- Strontium isotopic composition of post ophiolitic Tertiary volcanics between kashmar, Sabzevar and Quchan/ NE Iran. Geodynamic project (Geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran. Report N 51.

Castillo, P. R., 2006- An overview of adakite petrogenesis. Chinese science bulletin 51. 257-268. Doi:10.1007/s11434-006-0257-7.

Castillo, P. R., 2012- adakite petrogenesis. Lithos,134(5): 304-316.

Defant, M. J. & Drummond, M. S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. Nature 347: 662-665.

Gill, R., 2010- Igneous rocks and processes:A practical guide. Wiley-Blackwell.

Guan, Q., Zho, D. C., Zhao, Z. D., Dong, G. C., Zhang, L. L., Li, X. W., Liu, M., Mo, X. X., Liu, Y. S. & Yuan, H. L., 2012- Crustal thickening prior to 38 Ma in southern Tibet: Evidence from lower crust-derived adakitic magmatism in the Gangdese Batholith››, Gondwana Research 21: 88–99.

Haschke, M. R. & Ben-Avraham, Z., 2005- Adakites from Collision-Modified lithosphere. Geophysical Research letters 32: 14-32.

Kamei, A., Miyake, Y., Owada, M. & Kimura, J., 2009- A pseudo adakite derived from partial melting of tonalitic to granodioritic crust, Kyushu, southwest japan arc. Lithos 112: 615-625.

Kay, R. W., 1978- Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific ocean crust. Journal of Volcanology and Geothermal Reasearch 4: 117-132.

Le Bas, M. J., Le maitre, R. W., Streckeisen, A. & Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. J. Petrol., 27: Part 3, 745-750.

Maniar, P. D. & Piccoli, P. M., 1989- Tectonic discrimination of granitoids. Geological Society of America Bulletin 101: 635-643.

Martin, H., Smithies, R. H., Rapp, R., Moyen, J. F. & Champion, D., 2005- An overview of adakite, tonalite–trondhjemite - granodiorite (TTG), and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. Lithos 79: 1-24.

Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25: 956-983.

Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calk-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. Contribution to mineralogy and petrology 58: 63-81.

Shabanian, E., Acocella, V., Gioncada, A., Ghasemi, H. & Bellier, O., 2012- Structural control on volcanism in intraplate post collisional settings: Late Cenozoic to Quaternary examples of Iran and Eastern Turkey. Tectonics, 31, TC3013, doi:1029/2011TC003042.

Spies, O., Lensch, G. & Mihm, A., 1983- Geochemistry of the post-ophiolitic Tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan/NE-Iran. Geodynamic project (Geotraverse) in Iran. Geo. Sur. of Iran. Report N 51.

Stocklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran; a review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin 52: 1229□1285.

Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A. D., Norry M. J., (Eds.) Magmatism in the Oceanic Basins. Geological Society Special Publication 42, Blackwell Scientific, Cambridge, 313-345.

Wilson, M., 1989- Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic. Oxford University Press, Oxford. 466 pp.

Wood, D. A., 1980- The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British tertiary volcanic province. Earth. Planet. Sci. let 50: 11-30.

Zindler, A. & Hart, S. R., 1986- Chemical geodynamics. Annual Review of Earth and Planetary Sciences 14: 493-571.

Geochemistry and Petrogenesis of the Adakites in the Southern Domains of the Northern Sabzevar Ophiolites; With Emphasis on Sr-Nd-Pb Isotopes Results

E. Mohammadi [1], Gh. Ghorbani [2*] & H. Shafaii Moghadam [3]

[1] M. Sc. Student, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran
[2] Associate Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran
[3] Assistant Professor, School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

Received: 2013 March 27 Accepted: 2013 December 17

Abstract

The studied volcanic rocks are situated in NW of the Sabzevar, mainly at southern domains of the Northern Sabzevar ophiolitic belt. Abundant rhyolitic domes (e.g., Sarough, Zard-Kuhi, Kuh-e-Sefid Mehr and Nahr domes) in the southern margin of the Davarzan-Sabzevar ophiolitic belt crosscut the above-mentioned ophiolitic rocks. The Geochemical signatures of these volcanic rocks including enrichment in LREEs and LILEs relative to HREEs and HFSEs, depletion in TNT (Ta-Nb-Ti) elements, metaluminous to peraluminous and medium to high K-calc-alkaline characteristics, and their positions in discrimination tectonomagmatic diagrams, displayed that these rocks derived from a subduction-related environment. These adakitic domes are characterized by adakitic signatures (e.g., 69.2 wt.% < SiO_2، 14.7 wt.% < Al_2O_3، MgO < 0.35 wt.% ،Sr > 273 ppm, enrichment in LREEs and LILEs, depletion in Y and HREE (Y < 9.7 and Yb < 0.86) and high ratio of Sr/Y > 58 and La/Yb > 12.1 and belong to high silica adakites (SiO_2 ≥ 69.2 wt.%, MgO = 0.19-0.31 wt.% ، CaO+Na_2O < 7.62 wt.% and Sr = 273-936). Nd-Sr-Pb isotopes characteristics of the adakitic rocks show similarities to a MORB-type and/or PREMA mantle source, highlighting that their magma (s) is originated from a depleted MORB-type mantle source associated with minor contamination with crustal materials. The geochemical and isotopes characteristics of the Sabzevar adakitic rocks display derivation from partial melting of subducted oceanic crust (garnet amphibolite) associated with subsequent fractional crystallization.

Keywords: Petrology, High-Silica Adakites, Sr-Nd-Pb Isotopes, Sabzevar.

For Persian Version see pages 51 to 62

*Corresponding author: Gh. Ghorbani; E-mail: ghorbani@du.ac.ir

Created with nitroPDF professional
download the free trial online at nitropdf.com/professional