

منشأ توده‌های نفوذی منطقه راویز - شان آباد در غرب رفسنجان (استان کرمان): شواهدی از ماگماتیسیم پس از ائوسن

حمیده صالحی نژاد رنجبر^۱، حمید احمدی پور^۲، حسام‌الدین معین‌زاده^۲ و عباس مرادیان^۳

^۱دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۲دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۳استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۹

چکیده

توده‌های نفوذی راویز- شان آباد در غرب رفسنجان، بخشی از نوار ولکانو- پلوتونیک دهج-ساردوئیه هستند که به صورت دایک و آپوفیز، به درون توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن تزریق شده‌اند. ضخامت دایک‌ها تا ۴ متر و قطر آپوفیزها تا ۱۰ متر می‌رسد. جنس آن‌ها گابرو و دیوریت بوده و کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن می‌باشند که در یک زمینه دانه‌ریز پراکنده‌اند و بافت‌های اینترگرانولار و پورفیروئیدی نشان می‌دهند. این سنگ‌ها، ماهیت کالک‌آلکانل پتاسیم پایین داشته و ویژگی‌های ژئوشیمیایی محیط‌های فرورانشی را نشان می‌دهند. نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ اولیه 0.70403 تا 0.70409 و نسبت ایزوتوپ‌های $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ آنها از 0.5128 تا 0.5129 در تغییر بوده و مقادیر $\text{Nd}(i)$ بین $3/52$ تا $6/6$ در نوسان است. این شواهد، به همراه وجود بافت‌های خاص، نشان می‌دهد که ماگمای مادر آنها، دستخوش پدیده‌های تبلور بخشی، آلایش پوسته‌ای و آمیختگی ماگمایی شده است. با توجه به این که توده‌های مورد نظر، پس از سنگ‌های آذرین خروجی ائوسن، به درون آن‌ها تزریق شده‌اند، می‌توان آنها را بخشی تأخیری از این ماگماتیسیم در کمربند ماگمایی سنوزوئیک کرمان در نظر گرفت که به دنبال فرورانش نئوتیس به زیر ایران مرکزی و در یک موقعیت تکتونیک حاشیه قاره، به درون پوسته قاره‌ای نفوذ کرده‌اند.

کلیدواژه‌ها: گابرو، راویز- شان آباد، رفسنجان، دهج-ساردوئیه، ماگماتیسیم پس از ائوسن.

*نویسنده مسئول: حمید احمدی پور

Email: hahmadi@uk.ac.ir

۱- مقدمه

کمان ماگمایی ارومیه- دختر با طول ۱۷۰۰ کیلومتر و پهنای تقریبی ۱۵۰ کیلومتر از تریاس بالا تا کواترنری تکاپوهای ماگمایی گسترده‌ای را تجربه کرده است (Berberian and King, 1981; Berberian et al., 1982). نوار ماگمایی کرمان یا نوار دهج- ساردوئیه با درازای تقریبی ۵۰۰ کیلومتر و پهنای تقریبی ۸۰ کیلومتر در قسمت جنوبی نوار ارومیه- دختر واقع شده و پایانه جنوبی آن را تشکیل می‌دهد (شفیعی، ۱۳۸۷). این بخش از نوار ارومیه- دختر، دارای ویژگی‌های خاص و منحصر به فردی مانند تکاپوی گسترده ائوسن تا پلیوسن بوده و کانی‌زایی مس-پورفیری، کانی‌زایی مس-مولبدین پورفیری و رگه‌ای چندفلزی در آن گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند. شدیدترین تکاپوهای ماگمایی منطقه، در این زمان روی داده و امروزه آثار آن به صورت ردیف‌های ضخیم سنگ‌های آتشفشانی ائوسن زیرین- میانی (مجموعه بحر آسمان)، ائوسن میانی- فوقانی (مجموعه رازک) همراه با لایه‌های رسوبی و سنگ‌های آتشفشانی اواخر ائوسن (مجموعه هزار) باقی مانده است (Dimitrijevic, 1973; عطاپور و آفتابی، ۱۳۸۸). توده‌های نفوذی منطقه راویز- شان آباد، بخشی از ماگماتیسیم گسترده پس از ائوسن هستند که به صورت دایک و توده‌های بی‌قاعده گابرو و دیوریت به درون توالی رسوبی فلیش ائوسن و توالی آتشفشانی-رسوبی مجموعه بحر آسمان تزریق شده‌اند. تا کنون، مطالعات زیادی بر روی سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی اسیدی در این نوار، انجام شده، اما ماهیت ماگماتیسیم بازیک پس از ائوسن، در آن هنوز به طور کامل شناخته شده نیست. توده‌های مورد مطالعه، که جزئی از همین فعالیت ماگمایی می‌باشند، نیز تاکنون مورد مطالعه جامع قرار نگرفته و ماهیت ژئوشیمیایی و خاستگاه زمین‌ساختی آنها روشن نیست. از این رو، هدف این نوشتار، بهره‌گیری از داده‌های صحرایی، سنگ نگاری، ترکیب شیمی سنگ کل و ایزوتوپی، برای درک منشأ این توده‌ها و تحولات پترولوژیکی آنها، در منطقه راویز- شان آباد، در غرب رفسنجان است. با توجه به گستردگی این واحدهای آذرین در منطقه، شناخت و ویژگی‌های سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی آنها می‌تواند منجر به فهم بهتر فرایندهای ماگمایی در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان شده که

به نوبه خود می‌تواند سیمای روشنتری از تحولات ماگمایی قسمت‌های جنوبی تر نوار ارومیه- دختر را ارائه دهد.

۲- جایگاه زمین‌شناسی و ویژگی‌های صحرایی واحدهای سنگی منطقه

توده‌های نفوذی مورد مطالعه، در غرب رفسنجان و در محدوده عرض‌های $30^{\circ}00'$ تا $30^{\circ}15'$ شمالی و طول‌های $55^{\circ}30'$ تا $56^{\circ}00'$ شرقی، در محدوده شمال باختری روستای شان آباد واقع شده و درون بخشی از نوار یا کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان نفوذ کرده‌اند (شکل ۱- الف). این کمان، بخش جنوب شرقی نوار ارومیه دختر را در استان کرمان تشکیل می‌دهد و با طول ۵۰۰ کیلومتر و عرض ۸۰ کیلومتر، از شمال باختر و باختر استان کرمان در مناطق انار و دهج تا گوشه جنوب شرق استان، یعنی جبال بارز جیرفت گسترش داشته و روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق دارد. این نوار ولکانو- پلوتونیک، براساس روابط چینه‌ای به مجموعه‌های مختلف تقسیم شده (Dimitrijevic, 1973; شفیعی، ۱۳۸۷) و واحدهای سنگی منطقه راویز- شان آباد، که در این مقاله، توده‌های نفوذی بازیک آن‌ها مطالعه شده، بخشی از مجموعه بحر آسمان می‌باشند. مجموعه آتشفشانی بحر آسمان نشانگر آغاز تکاپوی آتشفشانی اصلی ائوسن در منطقه کرمان می‌باشد، ضخامت کلی آن تا ۷ کیلومتر رسیده و به طور بارزی در کوه بحر آسمان رخنمون دارد (Nedimovic, 1973). این مجموعه در خلال ائوسن میانی چین‌خورده و تاقدیس شان آباد و دیگر ساختارهای تکتونیک در نوار دهج- ساردوئیه ایجاد شده‌اند. مهمترین عارضه ساختاری منطقه، تاقدیس شان آباد می‌باشد (شکل ۱) که تقریباً ۱۰ کیلومتر طول داشته و از چین خوردگی سنگ‌های مجموعه آتشفشانی- رسوبی بحر آسمان ایجاد گردیده است (صدیقیان، ۱۳۸۷). براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رفسنجان (Dimitrijevic et al., 1971)، قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در منطقه راویز- شان آباد در هسته تاقدیس شان آباد رخنمون یافته (شکل ۱- ب) و به ترتیب از قدیم به جدید شامل یک واحد کنگلومرای (Ec) و لایه‌های کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرمز (Ec) از مجموعه فلیش ائوسن پایینی می‌باشند.

شده‌اند. رنگ تازه این گابروها سیاه است و حاوی بلورهای براق و درخشان پیروکسن تا اندازه ۵ میلیمتر، به همراه بلورهای قرمز رنگ و دگرسان الیون (با اندازه حداکثر ۴ میلیمتر) در یک زمینه ریزدانه می‌باشند. امتداد دایک‌های مورد نظر را می‌توان تا ۱۰۰ متر تعقیب کرد. شکستگی‌های بسیار زیاد و دگرسانی، از ویژگی‌های این گابروهاست، به طوری که رنگ سطح هوازده آنها سبز می‌باشد. حاشیه این توده‌ها با سنگ‌های مجاور دانه ریز بوده و شرایط انجماد سریع را در مرز تماس آنها نشان می‌دهد، اما کانی جدیدی ایجاد نشده و فقط رنگ سنگ میزبان، کمی تغییر کرده است. تبعت کردن این توده‌ها از شکستگی‌ها و وضعیت حاشیه انجماد سریع آن‌ها نشان می‌دهد که ماگماهای سازنده این توده‌ها، پس از تشکیل سنگ‌های میزبان و با یک فاصله زمانی، به درون آنها هجوم برده‌اند. آپوفیزها نیز ویژگی‌های صحرایی مشابهی داشته و قطرشان به ۱۰ متر می‌رسد.



شکل ۲- الف) دایک گابرویی رخنمون‌یافته داخل توالی گدازه‌ها و آهک‌های منطقه شان‌آباد، ب) دایک‌های گابرو-دیوریتی که داخل گدازه‌های منطقه راویز نفوذ کرده‌اند، ج) رخنمون دایک گابرو-دیوریتی در داخل سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌های منطقه شان‌آباد، د) سیل گابرویی رخنمون‌یافته داخل آهک‌های منطقه مورد مطالعه.

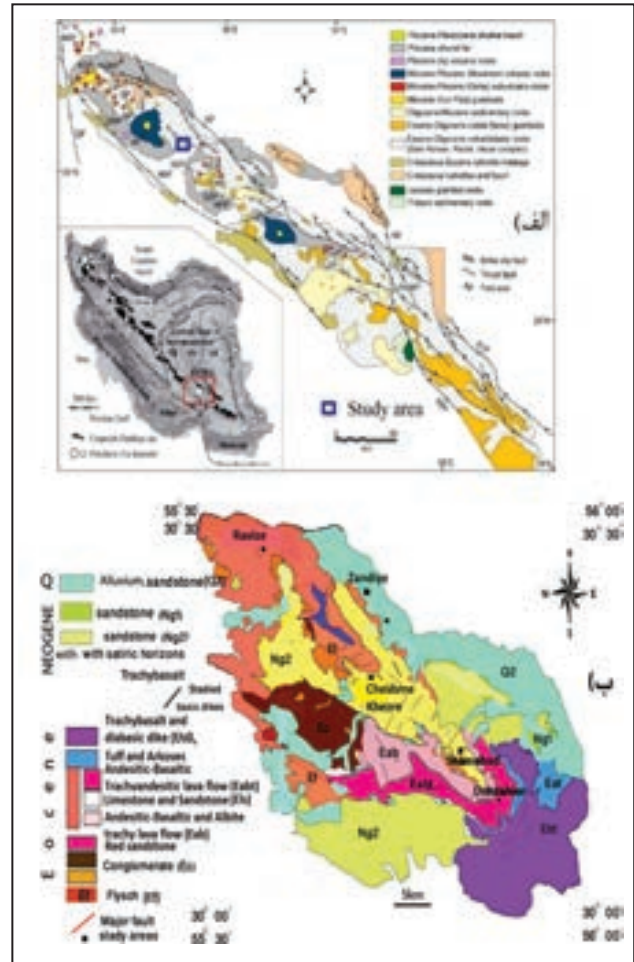
۳- روش بررسی

به منظور مطالعه سنگ‌های نفوذی منطقه راویز- شان‌آباد، پس از مطالعات صحرایی دقیق، تعداد ۵۰ نمونه از این توده‌ها برداشته شد و ۳۰ مقطع نازک از آنها تهیه گردید. پس از مطالعات سنگ‌نگاری، تعداد ۱۰ نمونه از سنگ‌های مورد نظر که دارای کمترین دگرسانی بودند انتخاب و جهت تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی به آزمایشگاه ژئوشیمی ACME کانادا ارسال گردیدند. تجزیه شیمیایی سنگ کل، به روش ICP-OES و ICP-MS به روش ذوب لیتیم برات انجام شد. علاوه بر این، تعداد ۴ نمونه جهت آنالیز ایزوتوپی به آزمایشگاه ژئوشیمی ایزوتوپی دانشگاه Aveiro در پرتقال برای تعیین نسبت‌های ایزوتوپی SM-Nd و Rb-Sr ارسال شد. در نهایت داده‌های ژئوشیمیایی و ایزوتوپی به‌دست آمده توسط نرم‌افزارهای مختلف پترولوژیکی مورد پردازش و تحلیل قرار گرفتند.

۴- سنگ‌نگاری

پلاژیوکلاز، از کانی‌های اصلی سنگ‌ساز در این سنگ‌ها بوده و بین ۴۰ تا ۴۵ درصد حجمی سنگ را به خود اختصاص داده‌است. این کانی، به صورت درشت‌بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با طول ۲ تا ۸ میلی‌متر مشاهده می‌شود. میانبراهای آپاتیت، آمفیبول و بیوتیت در داخل برخی از بلورهای پلاژیوکلاز وجود دارد. همچنین بافت‌های غربالی و غباری در گابروها و دیوریت‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳- الف). کلینوپیروکسن حدود ۲۰ درصد از حجم این گابروها را به خود اختصاص داده است و به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار با اندازه ۱ تا ۳

سپس مجموعه آتشفشانی بحرآسمان قرار گرفته که شامل واحدهای آندزیت-بازالت و تراکیت (Eab)، آندزیت، آندزیت-بازالت و تراکیت (Eabt) به همراه لایه‌های آهک و ماسه‌سنگ و گدازه‌های تراکی بازالت (Etd) می‌باشد (شکل ۱- ب).



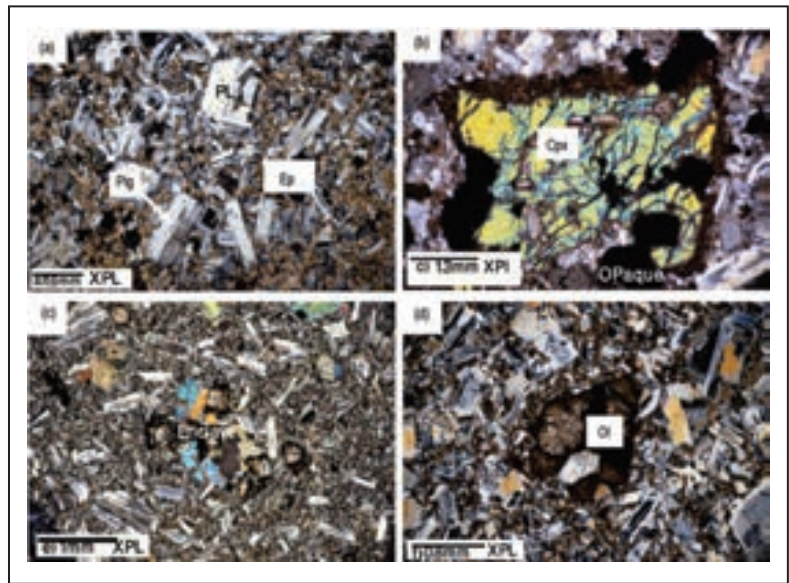
شکل ۱- الف) نقشه مجموعه ماگمایی سنوزوئیک کرمان و موقعیت منطقه مورد مطالعه در آن (اقتباس از شفیعی، ۱۳۸۷)، ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه راویز- شان‌آباد (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رفسنجان. (Shahraki Ghadimi, 2004)

توده‌های نفوذی بازیک مورد مطالعه، به صورت دایک (شکل ۲- الف) و آپوفیز به درون واحدهای رسوبی و آتشفشانی منطقه تزیق شده و در روستای راویز، جنوب شرق روستای چشمه خضر و شمال خاور روستای شان‌آباد، رخنمون‌های زیبایی دارند. در منطقه راویز، دایک‌ها دارای روندهای شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی می‌باشند (شکل ۲- ب). سنگ‌های میزبان توده‌های نفوذی مورد مطالعه را به طور عمده، گدازه‌ها و مواد آذرآواری چین‌خورده‌ای تشکیل داده‌اند که لایه‌بندی واضحی دارند و هوازدگی و شکستگی‌ها، به شدت بر روی آنها تأثیر گذاشته‌اند. گدازه‌ها، شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های حدواسط تا بازیک (آندزیت و بازالتیک آندزیت) می‌باشند که حاوی بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن با اندازه حداکثر ۵ میلیمتر بوده و ساخت‌های حفره‌ای و پورفیری در آنها شاخص است. مواد آذرآواری منطقه، شامل انواع برش‌های آتشفشانی و آگلومراهای سخت شده‌ای هستند که با ضخامت حداکثر ۱۵ متر، در بین لایه‌های گدازه قرار گرفته و در آنها، قطعاتی از سنگ‌های آذرین (گدازه‌های آندزیتی) و رسوبی (آهک و ماسه‌سنگ) در زمینه‌ای ریزدانه قرار گرفته‌اند. توده‌های نفوذی مورد مطالعه، در اکثر رخنمون‌ها شکل دایک مانند دارند. در این حالت، ضخامت آن‌ها به ۴ متر می‌رسد. این دایک‌ها، با روندهای شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی، در راستای ساختارهای تکتونیکی منطقه تزیق

می‌کند. کانی‌های کدر و آپاتیت‌های سوزنی و شکل‌دار، از جمله کانی‌های فرعی سنگ‌های مورد نظر هستند. همچنین آنکلاوهای گابرویی شامل بلورهای الیون، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز با قطر حداکثر ۳ سانتی‌متر در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل‌های ۳-ج و د). بافت سنگ‌های مورد مطالعه اینترگرانولار و پورفیریوی می‌باشد که از تجمع بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیون، در یک زمینه دانه‌ریز متشکل از کانی‌های مافیک دگرسان شده، تشکیل شده است (شکل ۳-الف).

میلیمتر دیده می‌شود. این کانی، هم به صورت درشت بلور و هم بدون شکل، در فضای بین پلاژیوکلازهای تیغه ای بافت اینترگرانولار را ایجاد کرده و گاهی به اپیدوت کلریت و کلسیت دگرسان شده است (شکل ۳-الف). برخی از بلورهای پیروکسن، از اطراف، اورالیتی شده و تنها هسته آنها سالم باقی مانده است (شکل ۳-ب)، به طوری که از حاشیه‌ها، به اکتینولیت تبدیل شده‌اند. الیون در این گابروها، به شکل بلورهای شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار دگرسان شده‌ای دیده می‌شود که مقدارش حداکثر به ۵ درصد حجمی رسیده و قطر بلورهای آن از ۲ تا ۳ میلیمتر تغییر

شکل ۳- ویژگی‌های بافتی سنگ‌های نفوذی منطقه را (نور XPL) نشان می‌دهد. الف) پلاژیوکلازهای شفاف غیردگرسان شکل‌دار و بافت اینترگرانولار در دیوریت‌ها. ب) بلورکلینوپیروکسن در گابروهای منطقه که از حاشیه دگرسان شده و فقط هسته آن بر جای مانده است. ج) درشت بلور الیون ایدینگریتی شده در گابروها. د) آنکلاو حاوی بلورهای الیون و کلینوپیروکسن در سنگ‌های منطقه.

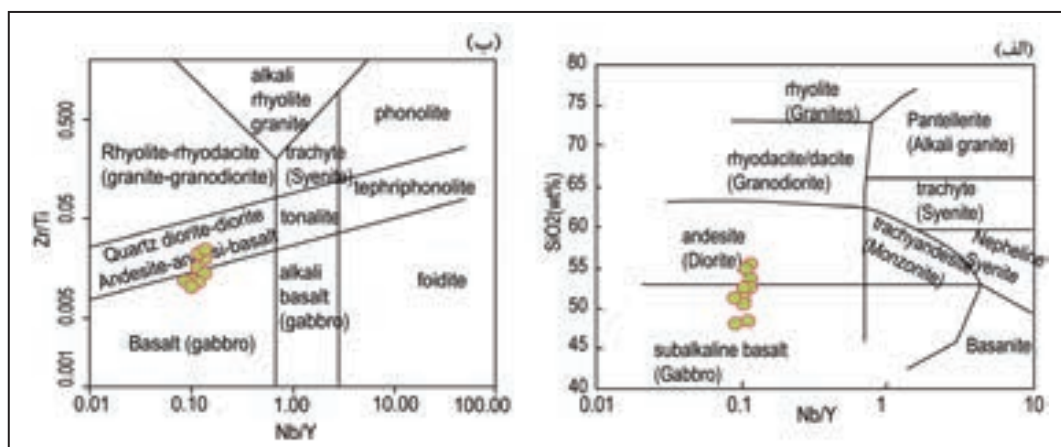


۵- ژئوشیمی

۵-۱. ژئوشیمی سنگ کل

داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ کل توده‌های نفوذی منطقه راویز-شان‌آباد در جدول ۱ آمده است. برخی از سنگ‌های مورد مطالعه تحت تأثیر فرایندهای ثانویه مانند دگرسانی و هوازدگی قرار گرفته و کانی‌های ثانویه آب‌دار مثل کلریت و اپیدوت در آنها تشکیل شده است. بنابراین به منظور استفاده درست از نتایج ژئوشیمیایی، سعی گردید تا از عناصر نامتحرک، در ترسیم نمودارهای مختلف استفاده شود. از نمودار Nb/Y در برابر SiO₂

داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی سنگ کل توده‌های نفوذی منطقه راویز-شان‌آباد در جدول ۱ آمده است. برخی از سنگ‌های مورد مطالعه تحت تأثیر فرایندهای ثانویه مانند دگرسانی و هوازدگی قرار گرفته و کانی‌های ثانویه آب‌دار مثل کلریت و اپیدوت در آنها تشکیل شده است. بنابراین به منظور استفاده درست از نتایج ژئوشیمیایی، سعی گردید تا از عناصر نامتحرک، در ترسیم نمودارهای مختلف استفاده شود. از نمودار Nb/Y در برابر SiO₂



شکل ۴- الف) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های مافیک راویز-شان‌آباد SiO₂ در برابر Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977)؛ ب) نمودار طبقه‌بندی سنگ‌های مافیک راویز-شان‌آباد SiO₂ در برابر Nb/Y (Pearce, 1996) توسط Zr/Ti پیشنهادی توسط (Pearce, 1996).

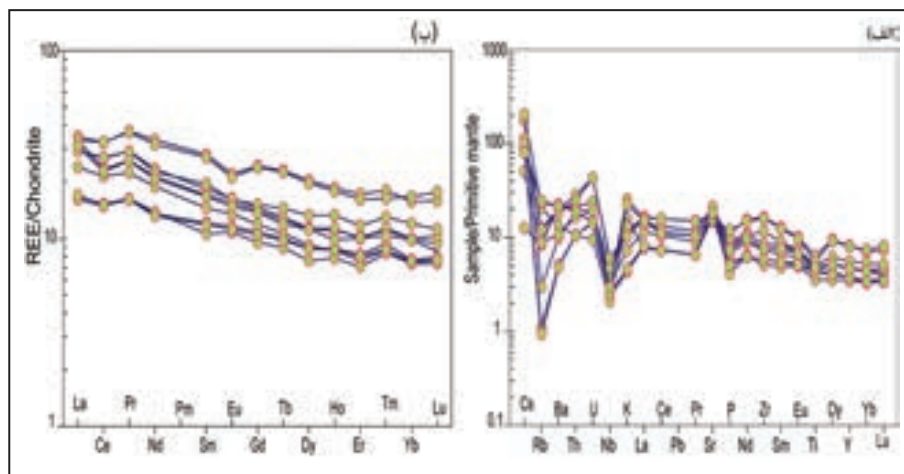
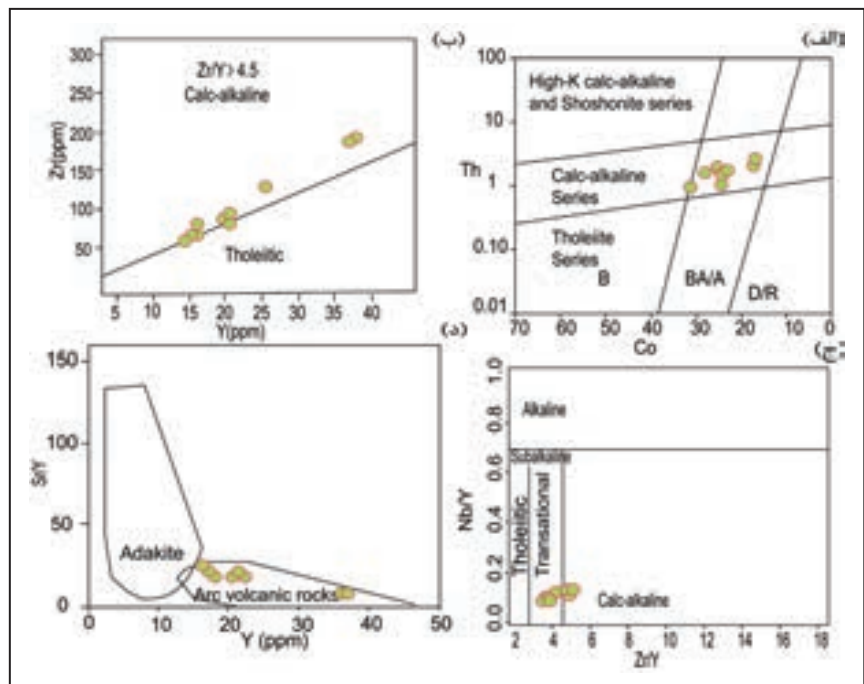
جدول ۱- غلظت عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) و عناصر کمیاب (بر حسب قسمت در میلیون) برای سنگ‌های راویز- شان‌آباد.

Sample	SH-17	SH-21	GHM-1	CHK-3	D8	LAP-6	SA-2	Sa-5	Sa8	Sa9
SiO ₂	48.11	53.07	51.61	55.27	51.82	52.68	54.39	48.48	55.57	50.85
Al ₂ O ₃	20.72	18.41	18.77	17.78	19.18	18.90	18.19	20.44	18.11	18.89
Fe ₂ O ₃	9.76	9.38	9.38	9.16	8.61	8.78	8.96	9.82	9.27	8.49
MgO	2.64	2.75	4.34	2.12	1.80	3.40	3.49	2.76	2.09	1.82
CaO	12.47	9.94	9.10	8.04	11.43	8.44	8.27	12.30	8.00	12.30
Na ₂ O	2.75	3.05	3.09	3.90	3.31	3.61	3.55	2.81	3.76	3.32
K ₂ O	0.13	0.22	0.51	0.35	0.79	0.41	0.41	0.15	0.32	0.68
TiO ₂	0.98	0.96	0.81	1.44	1.07	0.95	1.12	0.96	1.26	1.04
P ₂ O ₅	0.12	0.15	0.09	0.25	0.19	0.20	0.17	0.11	0.27	0.16
MnO	0.16	0.12	0.15	0.17	0.14	0.18	0.14	0.14	0.11	0.11
LOI	2.00	1.90	2.00	1.50	1.60	2.20	1.30	1.90	1.20	2.10
SUM	99.86	99.96	99.85	99.97	99.95	99.80	99.99	99.87	99.96	99.80
Ba	35	69	93	139	148	156	76	34	129	151
Sc	30	19	24	23	25	20	22	29	20	23
Co	31.3	26.4	24.6	17.1	24.9	23	24.3	31.3	16.9	24.6
Cs	0.7	1.4	1.6	0.9	0.7	0.1	0.4	0.7	0.8	0.6
Ga	15.2	14.2	14.8	17.8	18.2	18.9	16.6	15.1	17.3	18
Hf	1.8	2.2	1.5	5	2.3	2.9	3.4	1.6	5.1	2.1
Nb	1.7	2.3	1.5	4.1	2.2	2.6	3.4	1.8	4.3	2.1
Rb	0.7	1.9	13.1	8	15.1	5.3	5.6	0.6	7.6	15.5
Sn	1>	1>	1>	2	1>	1>	1	1>	1.6	1>
Sr	355.3	351.7	397	347.7	387.7	449.5	312.9	349.2	329.7	392.1
Ta	0.2	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2
Th	0.9	1.6	0.9	2.4	1.8	1.7	1.4	0.9	2.1	1.6
U	0.3	0.3	0.2	0.9	0.5	0.4	0.4	0.3	0.9	0.3
V	234	152	197	200	288	206	213	232	196	265
W	0.7	0.9	0.8	1.4	1.3	0.7	0.6	0.7	1.1	1.1
Zr	65.1	81.6	57.1	183.9	83.6	94.7	130.5	66.2	179.3	84.2
Y	17.4	17	15.8	37.2	21.5	21.5	25.4	16.9	36.4	21
La	5.5	7.9	5.3	11.5	11	9.6	9.6	5.6	11	10.3
Ce	13.2	18.5	12.9	28	20.2	23.1	23.4	13	28.2	19.7
Pr	1.82	2.5	1.82	4.16	2.91	3.26	3.25	1.8	4.11	2.89
Nd	8.5	11.9	8.7	21.1	13.5	14.8	14.2	8.3	20	13.1
Sm	2.46	2.95	2.15	5.68	3.45	3.7	3.96	2.4	5.49	3.39
Eu	0.89	1.04	0.83	1.7	1.2	1.26	1.24	0.86	1.63	1.14
Gd	2.99	3.28	2.63	6.69	3.86	4.03	4.17	2.89	6.59	3.79
Tb	0.47	0.5	0.42	1.08	0.59	0.61	0.68	0.46	1.06	0.56
Dy	3.03	3.15	2.61	6.98	3.85	3.89	4.55	3.01	6.74	3.83
Ho	0.62	0.6	0.55	1.3	0.77	0.79	0.93	0.61	1.25	0.69
Er	1.84	1.72	1.59	3.87	2.3	2.24	2.63	1.81	3.63	2.26
Tm	0.28	0.26	0.25	0.54	0.33	0.34	0.39	0.26	0.49	0.31
Yb	1.69	1.64	1.62	3.46	2.19	2.2	2.64	1.67	3.67	2.16
Lu	0.27	0.25	0.25	0.54	0.32	0.35	0.38	0.26	0.6	0.29
#Mg	32.51	34.3	45.19	29.16	27.11	40.82	40.95	42.46	28.22	34.7

اما اکسیدهای TiO_2 ، P_2O_5 و Na_2O روند افزایشی را به نمایش می‌گذارند. همچنین عناصر ناسازگاری مانند Nb، Ta، La، Rb، Zr و Ba روند افزایشی را با افزایش مقدار SiO_2 نشان می‌دهند که با فرایند تفریق ماگمایی سازگار می‌باشد. در شکل ۶- الف، فراوانی عناصر کمیاب موجود در سنگ‌های منطقه راویز- شان‌آباد، که با گوشته اولیه هنجار شده‌اند، آمده است. اکثر نمونه‌ها در این نمودار دارای الگوی مشابه و موازی می‌باشند که می‌تواند بیانگر ارتباط ژنتیکی بین آنها باشد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد، تمامی نمونه‌ها دارای الگوی نزولی یکسان همراه با غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE و با آنومالی منفی در عناصری مانند Nb، Rb و Ti و همچنین آنومالی مثبت در عناصری مانند Cs و Sr مشخص می‌گردند. الگوهای عناصر خاکی نادر در نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت هنجار شده‌اند (شکل ۶- ب)، نیز روند نزولی همراه با غنی‌شدگی نسبی LREE نسبت به HREE و موازی بودن الگوها را نشان می‌دهند.

نمونه‌های مذکور در نمودار Th در مقابل Co (Hastie et al., 2007) در محدوده سری کالک‌آلکان (شکل ۵- الف) و در نمودار Y در برابر Zr (Ross and Bedard, 2009) در مرز خط متمایزکننده بین سری‌های ماگمایی تولیتی و کالک‌آلکان واقع می‌شوند (شکل ۵- ب). علاوه بر این، در نمودار Zr/Y در برابر Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977) نمونه‌های مافیک راویز- شان‌آباد در محدوده بین انتقالی و کالک‌آلکان واقع می‌شوند (شکل ۵- ج). همانگونه که در این نمودارها دیده می‌شود، نمونه‌های مورد مطالعه دارای ماهیت شبه‌تولیتی (انتقالی) تا کالک‌آلکان می‌باشند. سنگ‌های مورد مطالعه، فاقد ماهیت آداکیتی بوده و در نمودار Y در برابر Sr/Y (Defant and Drummond, 1990) در محدوده سنگ‌های عادی کمانی قرار می‌گیرند (شکل ۵- د). بررسی رفتار ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب نمونه‌های راویز- شان‌آباد نشان می‌دهد که در این سنگ‌ها، اکسیدهایی مانند K_2O ، CaO، MgO، Al_2O_3 و Fe_2O_3 با افزایش مقدار SiO_2 ، روند کاهشی دارند،

شکل ۵- الف) نمودار Th در مقابل Co پیشنهادی توسط Hastie et al. (2007)؛ ب) نمودار Zr در برابر Y (Ross and Bedard, 2009) برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه، ج) نمودار Zr/Y در برابر Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977) نمونه‌های مافیک راویز- شان‌آباد، د) جایگاه نمونه‌های راویز- شان‌آباد در نمودار Y در برابر Sr/Y پیشنهادی توسط Defant and Drummond (1990).



شکل ۶- الف) الگوی چند عنصری به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه Sun and Mc Donough (1989) برای نمونه‌های نفوذی راویز- شان‌آباد، ب) الگوی چند عنصری عناصر خاکی نادر به‌هنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های نفوذی راویز- شان‌آباد (Nakamura, 1974).

۲-۵. ژئوشیمی ایزوتوپی Sr و Nd

مقادیر نسبت ایزوتوپی $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ از ۰/۵۱۲۸ تا ۰/۵۱۲۹ در تغییر است. مقادیر $\epsilon\text{Nd}(i)$ مثبت بوده و بین ۳/۵۲ تا ۶/۶ در نوسان می‌باشد. مقدار $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۷۰۳۹ تا ۰/۷۰۳۹۹۸ و مقادیر $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(i)$ بین ۰/۵۱۲۷۵ تا ۰/۵۱۲۸۶ تغییر می‌کند.

به منظور تفسیر بهتر نتایج ژئوشیمیایی و فهم بهتر محیط تشکیل نفوذی‌های منطقه، تعداد چهار نمونه از این سنگ‌ها، مورد تجزیه ایزوتوپی قرار گرفت و نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده است. در نمونه‌های مورد نظر، نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بین ۰/۷۰۴۰۳ تا ۰/۷۰۴۰۹ تغییر کرده (جدول ۲) و

جدول ۲- نتایج آنالیز ایزوتوپ‌های استرانسیم و نئودیمیم واحدهای نفوذی شان‌آباد-راویز.

Ref sample	Analysis Conc	ppm Sr	ppm Rb	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Erro (2s)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Erro (2s)	Sr/Sr(t)	SrUR(t)	eSr(t)		
D8	ICPMS	387.7	15.1	0.113	0.007	0.704068	0.000020	0.704004	0.704453	-6.37		
SH17	ICPMS	355.3	0.7	0.006	0.007	0.704059	0.000023	0.704055	0.704453	-5.64		
CHK3	ICPMS	347.7	8.0	0.067	0.003	0.704092	0.000018	0.704054	0.704453	-5.67		
SA2	ICPMS	312.9	5.6	0.052	0.004	0.704031	0.000024	0.704002	0.704453	-6.41		
Ref sample	Analysis Conc	ppm Nd	ppm Sm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	Erro (2s)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	Erro (2s)	Nd/Nd(t)	NdChur(t)	eNd(t)	tDM (Ma)	tCHUR (Ma)
D8	ICPMS	13.5	3.45	0.154	0.006	0.512853	0.000016	0.512813	0.512587	4.418919	583	-770.43
SH17	ICPMS	8.5	2.46	0.174	0.007	0.512813	0.000025	0.512767	0.512587	3.522814	961	-1194.31
CHK3	ICPMS	21.1	5.68	0.162	0.007	0.512943	0.000013	0.5129	0.512587	6.125003	435	-1352.36
SA2	ICPMS	14.2	3.96	0.168	0.007	0.512972	0.000019	0.512928	0.512587	6.66687	400	-1784.78

۶-۱. خاستگاه زمین‌ساختی

گابرو و دیوریت می‌باشند. این سنگ‌ها اغلب ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم پایین دارند. روند نزولی در نمودارهای چند عنصری به هنجار شده نسبت به گوشته اولیه همراه با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE و همچنین ناهنجاری منفی عناصری مانند Rb، Nb و Ti و ناهنجاری مثبت عناصری مانند Sr و Cs در این سنگ‌ها، نشانگر شباهت آنها با الگوهای مشاهده شده برای سنگ‌های نفوذی مناطق فرورانشی می‌باشد. عقیده بر این است که ناهنجاری منفی Nb، Ti و Ta نشانگر وابستگی ماگمای سازنده سنگ‌ها به پهنه فرورانش است (Gill, 1981). آنومالی منفی Ti عمدتاً به وسیله کانی‌های تیتان‌دار نظیر اسفن، ایلمنیت، روتیل و آمفیبول کنترل می‌شود، چرا که حلالیت فازهای Ti در با افزایش فشار در سیالات آبدار کاهش می‌یابد، در نتیجه کانی‌های مذکور که غنی از Ti هستند، ممکن است طی فرآیند ذوب بخشی به صورت برج در مخازن ماگمایی باقی بمانند و در نتیجه باعث آنومالی منفی Ti گردند. یکی از دلایل اصلی برای آنومالی Nb نقش زیاد پوسته در فرآیندهای ماگمایی مرتبط با زون فرورانش است. آنومالی منفی Nb و Ta از ویژگی‌های بارز سنگ‌های قاره‌ای و شاخص محیط‌های فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای است (Nagudi et al., 2003). این دو عنصر به دلیل پتانسیل یونی بالایی که دارند در سیالات آبدار حاصل از آب زدایی لیتوسفر اقیانوسی فرورانش شده شرکت نمی‌کنند، پس تمرکز آنها در مذاب‌های حاصله، پایین می‌باشد (Pearce and Gale, 1977) و این نشانه ماگماتیسم مربوط به قوس است. علاوه بر این، عناصر فوق ممکن است در فازهای دیر گداز ورقه فرورونده باقی مانده و وارد مذاب نشوند. فرایند‌های ذکر شده به همراه آرایش ماگمای اولیه با پوسته قاره ای می‌تواند منجر به بروز ناهنجاری منفی این عناصر در سنگ‌ها شود (Pearce and Gale, 1977). علاوه بر این، در نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت، سنگ‌های راویز- شان‌آباد دارای غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE می‌باشند که با طبیعت تشکیل آنها در محیط‌های فرورانشی سازگار است. همچنین نبود بی‌هنجاری مشخص Eu مبین شرایط اکسیدان ماگمای تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها می‌باشد. در نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb (Pearce et al., 1999)، (شکل ۸) نیز، نمونه‌های مورد مطالعه در بیرون از محدوده آرایه گوشته‌ای و در محدوده ماگماهای تولیتی و کالک‌آلکالن جزایر کمائی قرار

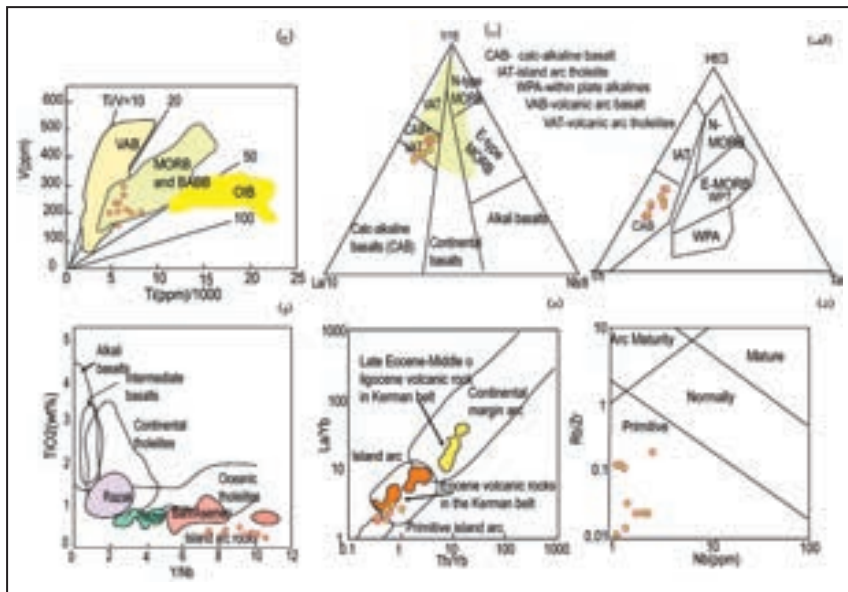
به منظور تعیین خاستگاه زمین‌ساختی واحدهای نفوذی بازیک راویز- شان‌آباد، از نمودارهای مختلف تشخیص محیط تکتونیکی، استفاده گردید. در همین راستا، این سنگ‌ها در نمودار Th- Hf/3 - Ta (Wood, 1980) در محدوده بازالت‌های کالک-آلکالن قرار می‌گیرند (شکل ۷- الف). علاوه بر این، در نمودار مثلثی Y/15-La/10-Nb/8 (Cabanis and Lecolle, 1989) برای سنگ‌های راویز- شان‌آباد، اکثر نمونه‌ها در محدوده همپوشانی بین تولیتی‌های کمان آتشفشانی و بازالت‌های کالک‌آلکالن واقع می‌شوند (شکل ۷- ب). در نمودار Ti برابر V پیشنهادی توسط Shervise (1982)، (شکل ۷- ج)، سنگ‌های مورد مطالعه، در بین محدوده بازالت‌های کمان آتشفشانی و بازالت‌های پشت‌کمانی قرار می‌گیرند. همچنین نمونه‌های مورد نظر در نمودار Nb در مقابل Rb/Zr (Wang and Li, 2003) (شکل ۷- د)، در موقعیت جزایر کمائی اولیه قرار می‌گیرند. همچنین نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb (Condie, 1989)، (شکل ۷- ه) نشان می‌دهد که سنگ‌های نفوذی راویز- شان‌آباد مشابه سنگ‌های آتشفشانی شبه تولیتی- کالک‌آلکالن ائوسن در نوار کرمان بوده و عمدتاً در میدان جزایر کمائی واقع می‌شوند. این سنگ‌ها در نمودار Y/Nb در برابر TiO_2 (De Albuquerque, 1979) در محدوده سنگ‌های جزایر کمائی قرار می‌گیرند (شکل ۷- و). در همین نمودار، جایگاه مجموعه‌های رازک، هزار و بحر آسمان براساس داده‌های Hosseini et al. (2017) به منظور مقایسه آورده شده است. همانطور که در شکل ۷- و مشاهده می‌گردد، سنگ‌های نفوذی راویز- شان‌آباد در محدوده سنگ‌های آتشفشانی مجموعه بحر آسمان قرار گرفته و می‌توانند از حیث خاستگاه تکتونیکی با آنها قرابت داشته باشند. شباهت ژئوشیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه با سنگ‌های مربوط به جزایر کمائی، به همراه شواهد سنی و موقعیت ژئودینامیکی امروزی آنها، نظرات قبلی را در مورد تغییر موقعیت زمین‌ساختی کمان مورد نظر، از موقعیت جزیره قوسی- حاشیه قاره‌ای نابالغ در ائوسن به کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای معمولی در الیگوسن (شیعی، ۱۳۸۷) را تأیید می‌نماید.

۶-۲. منشأ ماگمای مادر سنگ‌های مورد مطالعه

براساس نتایج مطالعات ژئوشیمیایی، توده‌های نفوذی مورد مطالعه، دارای ترکیب

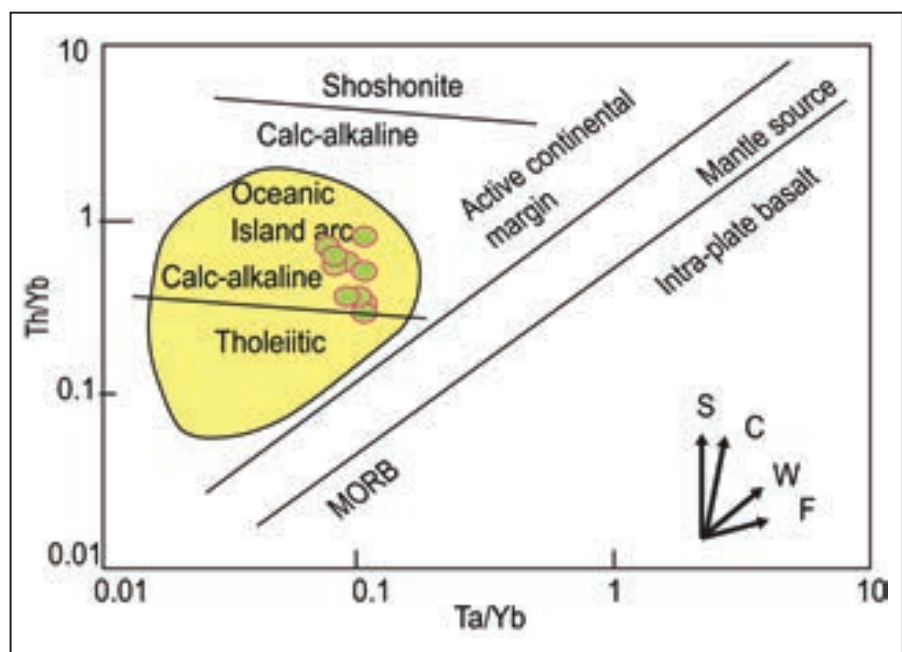
تحمل کرده ایجاد و در حین صعود، دچار فرایندهای تغییر و تحول شده و واحدهای نفوذی راویز- شان‌آباد را به وجود آورده است.

گرفته‌اند. به این ترتیب به نظر می‌رسد که ماگمای اولیه سازنده این سنگ‌ها ابتدا در یک محیط بالای فرورانش از یک گوشته استنوسفری، که غنی‌شدگی کمی را



شکل ۷- نمودارهای متمایزکننده محیط تکنونیک سنگ‌های نفوذی منطقه راویز- شان‌آباد. (الف) نمودار متمایزکننده محیط تکنونیک $Th-Hf/3-Ta$ پیشنهادی توسط (Wood, 1980) برای سنگ‌های راویز- شان‌آباد، (ب) نمودار مثلثی $Y/15-La/10-Nb/8$ پیشنهادی توسط (Cabanis and Lecolle, 1989) برای تفکیک محیط زمین‌ساختی واحدهای مافیک و جایگاه نمونه‌های راویز- شان‌آباد در آن. (ج) نمودار متمایزکننده محیط تکنونیک برای سنگ‌های نفوذی منطقه راویز- شان‌آباد بر اساس V در مقابل Ti (Shervais, 1982)، (د) نمودار Nb در مقابل Rb/Zr (Wang and Li, 2003). (ه) نمودار La/Yb در مقابل Th/Yb (Condie, 1989) برای سنگ‌های راویز- شان‌آباد، موقعیت نمونه‌های مربوط به مجموعه‌های رازک، هزار و بحرآسمان از (Hosseini et al., 2017) اکتباس گردیده است. (و) جایگاه واحدهای سنگی راویز- شان‌آباد در نمودار Y/Nb در برابر TiO_2 (De Albuquerque, 1979)، محدوده سنگ‌های آتشفشانی انوسن و انوسن پسین- الیگوسن براساس داده‌های شفیی (۱۳۸۷) می‌باشد.

شکل ۸- (الف) موقعیت نمونه‌های منطقه راویز- شان‌آباد در نمودار Ta/Yb در مقابل Th/Yb پیشنهادی (Pearce et al., 1999)، بردارها و روندهای ایجادشده توسط غنی‌شدگی ناشی از فرورانش (S)، آلودگی پوسته‌ای (c)، غنی‌شدگی درون‌صفحه‌ای (W) و تبلور تفریقی (F) را نشان می‌دهند.



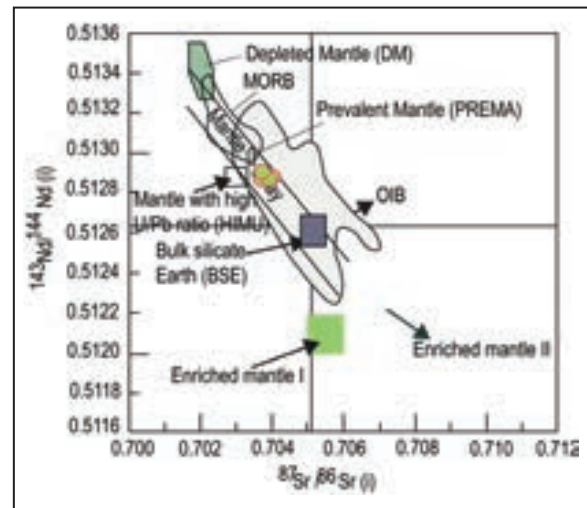
یافته و اولیه با بسته‌های ماگمایی تأخیری است. به منظور تعیین نقش آرایش در تکوین ماگمایی توده‌های راویز- شان‌آباد از نمودار Ti/Zr در برابر Sr/Zr (Karsli et al., 2007) استفاده گردید (شکل ۱۰-ج). نمونه‌های راویز- شان‌آباد در این نمودار دارای روند صعودی و هم‌راستا با فرایند اختلاط ماگمایی می‌باشند. به طور خلاصه شواهد زمین‌شیمیایی، صحرایی و بافتی مانند بافت غربالی و منطقه‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها همراه با وجود آنکلاوهای میکروگرانولار مافیک با ترکیب گابرویی در سنگ‌های منطقه راویز- شان‌آباد و همینطور نسبت‌های عنصری، نشان‌دهنده این است که ماگمای اولیه این سنگ‌ها حین صعود دستخوش تحولات ماگمایی از جمله پدیده‌های جدایش بخشی، آرایش و آمیختگی شده است.

۶-۳. الگوی زمین‌ساختی

توده‌های نفوذی منطقه راویز- شان‌آباد، بخشی از کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان (دهج-ساردوئیه) هستند که دارای ماهیت کالک-آلکالین پتاسیم پایین بوده و در نمودارهای تفکیک خاستگاه زمین‌ساختی، در محدوده همپوشانی بین بازالت‌های کالک-آلکالین و تولیت‌های جزایر کماتی قرار می‌گیرند. نتایج سن سنجی U-Pb بر روی زیرکن‌های این مجموعه، سن ۳۴/۵ میلیون سال پیش را برای این واحدها نشان می‌دهد (داده‌های چاپ نشده) که نشانگر سن ائوسن فوقانی-الیگوسن برای این سنگ‌ها می‌باشد. نتایج یافته‌های شفیعی (۱۳۸۷) نشان داد که دوره ائوسن یکی از مهمترین برهه‌های زمانی در تکوین کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان می‌باشد که با تکاپوهای آتشفشانی گسترده شروع می‌شود و سبزی و واحدهای آذرین و آذرآواری حاصل از آن، در ناحیه کرمان تا ۱۵ کیلومتر نیز می‌رسد و سپس در اواخر ائوسن و اوایل الیگوسن، فعالیت‌های آذرین نفوذی در این منطقه شدت می‌گیرد. به اعتقاد (شفیعی، ۱۳۸۷) ماگماتیسیم ائوسن در کمان ماگمایی سنوزوئیک کرمان، در ارتباط با توسعه حوضه‌های کشتی درون و پشت کماتی همراه با فعالیت‌های آتشفشانی گسترده و بایموال و رسوب‌گذاری به سن ائوسن (Dimitrijevic, 1973) می‌باشد. اخیراً یافته‌های (Hossemi et al., 2017) بر روی سن سنجی بلورهای زیرکن موجود در مجموعه بحر آسمان سن ۵۸ میلیون سال پیش را برای سنگ‌های این مجموعه، نشان می‌دهد.

با توجه به یافته‌های حاضر و مطالعات قبلی، می‌توان گفت که در اواخر ائوسن (پارابونین) و اوایل الیگوسن، حوضه نائین- بافت، با اولین مرحله بازشدگی دریای سرخ، بسته شده و دوره جدیدی از مرحله آتشفشانی و پلوتونیسیم در نوار دهج-ساردوئیه شروع می‌شود. توده‌های نفوذی راویز- شان‌آباد با سن ۳۴ میلیون سال می‌تواند در این زمان جایگزین شده باشند. به نظر (Hossemi et al., 2017)، گذر از ماگماتیسیم تیپ جزایر کماتی بحر آسمان به مجموعه رازک به صورت ناگهانی نبوده است، به طوری که ترکیب سنگی مجموعه رازک نشانگر دخالت پوسته انتقالی در مراحل اولیه ماگماتیسیم ائوسن است. با این وجود، توده‌های نفوذی راویز- شان‌آباد نیز دارای ترکیب سنگی مشابه با جزایر کماتی هستند که حکایت از دخالت پوسته انتقالی در ماگماتیسیم اواخر ائوسن- اوایل الیگوسن دارد. مطالعات شفیعی (۱۳۸۷) نشان می‌دهد که گذر از تکاپوی آتشفشانی شبه تولیتی- کالک‌آلکالین در ائوسن، به شوشونیتی در ائوسن پایانی- الیگوسن میانی، می‌توانسته حاصل تغییر موقعیت زمین‌ساختی کمان، از موقعیت جزیره قوسی- حاشیه قاره‌ای نابالغ در ائوسن به کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای معمولی در الیگوسن باشد. بنابراین احتمالاً واحدهای نفوذی راویز- شان‌آباد در خلال ائوسن فوقانی- الیگوسن به دنبال فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر بلوک ایران مرکزی تشکیل شده‌اند. ماهیت شبه تولیتی- کالک‌آلکالین این سنگ‌ها، همراه با ویژگی‌های ژئوشیمیایی مشابه با ماگماهای جزایر کماتی نشان می‌دهد که زون ماگمایی سنوزوئیک کرمان در ابتدا به صورت جزیره قوسی- حاشیه قاره ای نابالغ بوده که به تدریج با افزایش سبزی پسته، ماهیت کمان واقعی را پیدا کرده است.

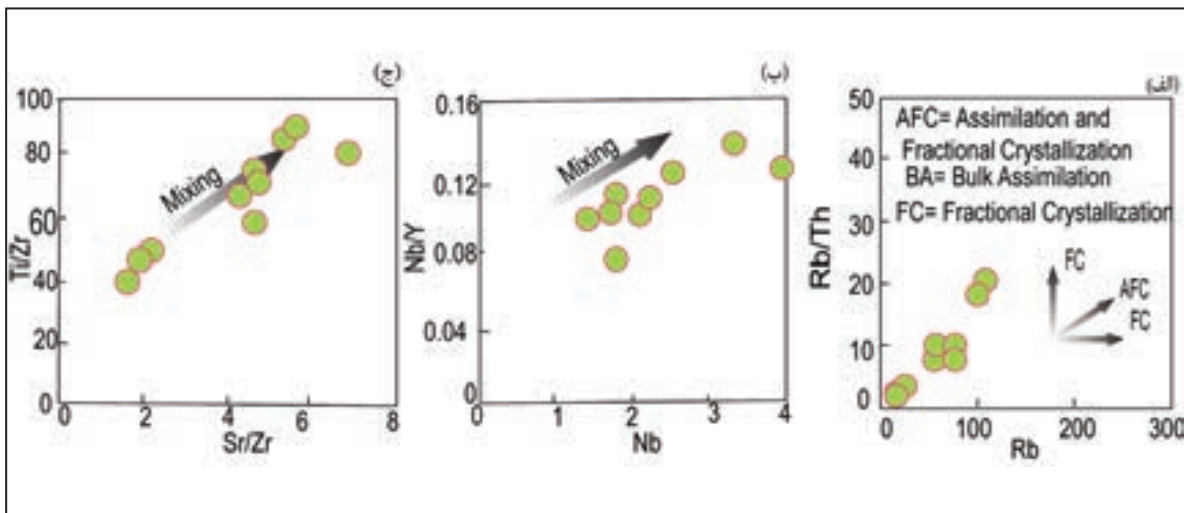
مقادیر مثبت $\epsilon Nd_{(t)}$ در سنگ‌های آذرین، با منشأ گوشته‌ای سازگار بوده و نشانگر ماگمایی است که از یک منشأ گوشته تهی شده، با نسبت Sm/Nd بیشتر از CHUR سرچشمه گرفته است، در حالی که مقادیر اسپیلون منفی، یک منشأ با مقدار Sm/Nd کمتر از CHUR را نشان می‌دهد (یعنی ناحیه گوشته غنی شده یا یک منشأ پوسته‌ای) (Karsli et al., 2007). مقادیر مثبت $\epsilon Nd_{(t)}$ برای نمونه‌های مورد مطالعه، بیشتر با یک منشأ گوشته‌ای تهی شده از عناصر لیتوفیل، سازگار است. در نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ (i) در برابر $^{143}Nd/^{144}Nd$ (i) (شکل ۹)، نمونه‌های گابرویی راویز- شان‌آباد در محدوده ربع اول و درون آرایه گوشته‌ای قرار می‌گیرند. هر چند نمونه‌های مورد نظر در محدوده گوشته غنی شده قرار ندارند، اما نسبت به گوشته تهی شده، MORB و گوشته معمولی، یک تمایل نسبی به سمت گوشته غنی شده نشان می‌دهند. گوشته‌ای که هر چند از عناصر سازگار تهی شده است اما میزان تهی شدگی آن به اندازه MORB و گوشته تهی شده نیست. ویژگی‌های ژئوشیمیایی ذکر شده، همانند گوشته آستوسفری می‌باشد که ابتدا در یک محل پشته وسط اقیانوس، تحت تأثیر فرایند های ذوب بخشی، از عناصر ناسازگار تهی شده و سپس تحت تأثیر سیالات آزاد شده از ورقه فرورو، فرایندهای غنی شدگی را تحمل کرده است.



شکل ۹- نمودار همبستگی ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ (i) در برابر $^{143}Nd/^{144}Nd$ (i) برای نمونه‌های گابرویی راویز- شان‌آباد.

۶-۲. تکامل و تحول ماگمای مادر سنگ‌های نفوذی منطقه

ویژگی‌های پتروگرافی و ژئوشیمیایی همچون مقادیر پایین MgO (کمتر از ۴ درصد وزنی) و عدد متزیوم (۲۷-۴۵) نشان می‌دهند ماگماهای سازنده سنگ‌های مورد مطالعه، اولیه نبوده و تحولات بعدی مختلفی پشت سر گذاشته‌اند. برای تمایز نقش فرایند همضم و تبلور بخشی (AFC) از فرایند تبلور بخشی (FC) در تکوین سنگ‌های راویز- شان‌آباد، از نمودار Rb در مقابل Rb/Th (شکل ۱۰- الف) استفاده گردید. همانطور که مشاهده می‌گردد، نمونه‌ها در امتداد فرایند AFC قرار می‌گیرند که نشانگر نقش آرایش پوسته‌ای در تکوین سنگ‌های مورد مطالعه همراه با فرایند تبلور بخشی می‌باشد. بررسی نسبت‌های Nb/Y در برابر Nb (شکل ۱۰- ب)، نشان می‌دهد که نسبت این عناصر در طی فرایندهایی چون تفریق و دگرسانی ثابت باقی می‌ماند، اما وجود فرایندهایی مانند اختلاط ماگمایی سبب آرایش روند صعودی در نمودارهای سنگ زادی می‌شود (Soesoo, 2000). آرایش نمونه‌های راویز- شان‌آباد به صورت صعودی و در راستای موازی با روند اختلاط ماگمایی در این شکل، بیانگر اختلاط ماگمایی حاصل از ترکیب مذاب‌های کمتر تفریق



شکل ۱۰- (الف) نمودار Rb در مقابل Rb/Th برای توده‌های گابرویی راویز-شان‌آباد. (ب) نمودار تغییرات Nb در برابر Nb/Y پیشنهادی توسط Soesoo (2000) برای بررسی فرایند اختلاط ماگمایی و جایگاه نمونه‌های راویز-شان‌آباد در آن. (ج) نمودار Sr/Zr در برابر Ti/Zr پیشنهادی توسط Karsli et al. (2007) برای نشان دادن اثرات اختلاط ماگمایی در تکوین سنگ‌های گابرویی و جایگاه نمونه‌های راویز-شان‌آباد در آن.

۷- نتیجه‌گیری

تحولات ماگمایی از جمله پدیده‌های تبلور بخشی، آلايش و آمیختگی شده است. بررسی خاستگاه زمین‌ساختی این توده با استفاده از نمودارهای مختلف نشانگر شباهت آنها به سنگ‌های موجود در جزایر کماتی می‌باشد. به نظر می‌رسد که سنگ‌های ماگمایی راویز-شان‌آباد بخشی از ماگماتیسم پس از ائوسن فوقانی در نوار ماگمایی سنوزوئیک کرمان هستند که به دنبال فرورانش اقیانوس نئوتیس به زیر بلوک ایران مرکزی و در یک محیط حاشیه قاره، تشکیل شده و سنگ منشأ ماگمای مادر آنها نیز به احتمال زیاد، یک گوشته استوسفری متاسوماتیزه بوده است.

توده‌های نفوذی گابرویی-دیوریتی منطقه راویز-شان‌آباد رفسنجان، ماهیت تولیتی-کالک‌آلکان پتاسیم پایین داشته و روند نزولی در نمودارهای چند عنصری، همراه با غنی‌شدگی در LREE نسبت به HREE و همچنین ناهنجاری منفی عناصری مانند Rb، Nb و Ti و ناهنجاری مثبت عناصری مانند Cs و Sr، همگی با طبیعت تشکیل آنها در محیط‌های فرورانشی سازگار است. در این سنگ‌ها، نسبت $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بین ۰/۷۰۴۰۳ تا ۰/۷۰۴۰۹ و نسبت $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ از ۰/۵۱۲۸ تا ۰/۵۱۲۹ در تغییر است. مقادیر ϵNd مثبت بوده و بین ۳/۵۲ تا ۶/۶ در نوسان است. شواهد صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که ماگمای اولیه این سنگ‌ها حین صعود دستخوش

کتابنگاری

- شفیعی، ب.، ۱۳۸۷ - الگوی فلزایی کمر بند مس پورفیری کرمان و رهیافت اکتشافی آن. رساله دکتری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۲۵۷ ص.
- صدیقیان، س.، ۱۳۸۷ - پترولوژی، ژئوشیمی، ساخت و منشأ جریان‌های گدازه‌ای طاق‌دیس شان‌آباد، جنوب غرب رفسنجان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- عطاپور، ح. و آفتابی، ع.، ۱۳۸۸ - ژئوشیمی و متالوژی سنگ‌های کلسیمی-قلیایی، شوشونیتی و آداکیتی در ارتباط با کانسار سازی مس-مولیبدن پورفیری و رگه‌ای در کمر بند آتشفشانی نفوذی دهج-ساردوئیه کرمان، فصلنامه علمی-پژوهشی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، جلد ۱۸، شماره ۷۲، ص ۱۷۲-۱۶۱.

References

- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Toward a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. Canadian journal of Earth Science 5:101-117.
- 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 Geological Society of London, 130:605-614.
- Cabanis, B. and Lecolle, M., 1989- Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et damise en evidence des processus demelange et/ou de contamination crustale. Compte Rendus de l'Academie des Sciences, Seris II 309: 2023-2029.

- Condie, K.C., 1989- Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-Proterozoic boundary: identification and significances, *Lithos* 23: 1-18.
- De Albuquerque, C. A. R., 1979- Origin of plutonic rocks of southern Nova Scotia. *Geological Society of America Bulletin Part I* 90, 719-731.
- Defant, M. J. and Drummond, M. S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347: 662-665.
- Dimitrijevic, M. D., 1973- Geology of Kerman region, *Geological survey of Iran*, 52: 334.
- Dimitrijevic, M. D., Dimitrijevic, N. M. and Djordjevic, M., 1971- Geological map of Iran, 1:100000 series, sheet 7150-Rafsanjan I. geological society of Iran.
- Gill, J. B., 1981- *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*: New York, Springer-Verlag.
- Hastie, A. R., Keer, A. C., Pearce, J. A. and Mitchell, S.F., 2007- Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination. *Journal of Petrology* 48:2341-2357.
- Hosseini, M. R., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Sun, W. and Li, C., 2017- Age revision of the Neotethyan arc migration into the southeast Urumieh-Dokhtar belt of Iran: Geochemistry and U Pb zircon geochronology, *Lithos* 284-285: 296-309.
- Karsli, O., Chen, B., Aydin, F. and Sen, C., 2007- Geochemical and Sr-Nd-Pb isotopic compositions of the Eocene Dölek and Sariçiçek Plutons, Eastern Turkey: Implications for magma interaction in the genesis of High-K calc-alkaline granitoids in a post-collision extensional setting, *Lithos*, 98: 67-96.
- Nakamura, N., 1974- Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38: 757-775.
- Nedimovic, R., 1973- Exploration for Ore Deposits in Kerman Region, Beograd-Yugoslavia, Report No. Yu/53 (220 pp).
- Nagudi, B., Koeberl, C. and Kurat, G., 2003- Petrography and geochemistry of the Singo granite, Uganda, and implications for its origin, *Journal of African Earth Sciences*. 36, 73-87.
- Pearce, J. A., Gale, G. H., 1977- Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of associated igneous host rocks, *Geol. Soc. Spec. Publ.* 7, 14-24.
- Pearce, J. A., 1996- A user's guide to basalt discrimination diagrams. in Wyman, D.A., ed. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulfide exploration: Geological Association of Canada. Short Course Notes. v. 12. p. 79- 113.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., De Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, P. J., Guner, Y., Üarolu, F., Yılmaz, Y., Moorbath, S. and Mitchell, J. G., 1999- Genesis of collision volcanism in eastern Anatolia, Turkey: *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44: 189-229.
- Ross, P. S. S. and Bedard, J. H. B. H., 2009- Magmatic affinity of modern and ancient subalkaline volcanic rocks determined from trace element discriminant diagrams. *Can. J. Earth Sci.* 46, 823-839.
- Shahraki Ghadimi, A., 2004 - Geological map of Esfandaqeh, 1:100000, No 7447, Geological Society of Iran.
- Shervais, J. W., 1982- Ti-V plots and the petrogenesis of modern ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59: 101-118.
- Soesoo, A., 2000- Fractional crystallization of mantle-derived melts as a mechanism for some I-type granite petrogenesis: an example from Lachlan Fold Belt, Australia. *Journal of Geology Society of London* 157: 135-149.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalt: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in ocean basins* (Eds. A. D. Saunders, A.D. and Norry, M. J, Special publication 42: 313-345.). Geological Society, London
- Wang, J., and Li, Z.X., 2003, History of Neoproterozoic rift basins in South China: Implications for Rodinia break-up: *Precambrian Research*, v. 122, p. 141-158.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation product using immobile elements. *Chemical Geology* 20: 325-343.
- 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 and Planetary Science Letters* 50: 11-30.

Petrogenesis of Raviz -Shan Abad intrusions from west of Rafsanjan (Kerman province): Evidences for post Eocene magmatism

H. Salehinejad Ranjbar¹, H. Ahmadipour^{2*}, H. Moeinzadeh², A. Moradian³

¹Ph.D. student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

² Associate professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

Received: 2018 March 27

Accepted: 2019 January 9

Abstract

Raviz –Shan Abad intrusions from the West of Rafsanjan (Kerman province), represent a part of Dehaj-Sarduyieh belt and intruded into the Eocene volcano-sedimentary rocks as dykes and apophyses. Thicknesses of the dikes and the diameters of the patches reach up to 4 and 10 meters respectively. In the field, they appear as dark intrusions contain sporadic euhedral pyroxene crystals with up to 5 mm in size. They are gabbro and diorite and their main minerals are plagioclase and pyroxenes set in a fine-grained matrix and show intergranular and porphyroid textures. These rocks have low-K calc-alkaline affinities and their geochemical characteristics tend to the subduction zone settings. In these rocks, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ratios vary between 0.70403 to 0.70409 and 0.5128 to 0.5129 respectively and $\epsilon\text{Nd}(i)$ values change between 3.52 to 6.6. These evidences along with the special textures show that their parent magmas affected by fractionation, assimilation and magma mixing processes. Considering that these rocks have intruded into the Eocene volcanics, we suggest that they represent the last stages of Eocene magmatism in the Cenozoic Kerman magmatic belt and intruded into the crust after the initiation of Neo-Tethys subduction beneath to Central Iranian block, probably in a continental margin tectonic setting.

Keywords: gabbro, Raviz - Shan abad, Rafsanjan; Dehaj-Sarduyieh belt, Post Eocene magmatism.

For Persian Version see pages 219 to 228

*Corresponding Author: H. Ahmadipour; Email: hahmadi@uk.ac.ir