

# سنگ‌زایی سنگ‌های قلیایی جنوب املش در جنوب دریای خزر، شمال ایران

فاطمه زعیمنیا<sup>۱\*</sup>، علی کنعانیان<sup>۱\*</sup> و مژگان سلواتی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

<sup>۲</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۰۶/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۵/۱۹

## چکیده

سنگ‌های قلیایی جنوب شهرستان املش، استان گیلان، به صورت توده‌های کوچک و پراکنده در داخل مجموعه سنگ‌های منسوب به کرتاسه در جنوب دریای خزر قرار دارند و از لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی ایران در زون گرگان-رشت واقع شده‌اند. این گروه از سنگ‌ها شامل حجم بزرگی از بازالت‌هایی با ریخت‌شناسی بالشی و گابروهای ریز تا درشت دانه همگن هستند. کانی‌های اصلی سنگ‌های قلیایی شامل کلینوپیروکسن (نوع اوژیت)، پلاژیوکلاز و سوزن‌های کوچک آپاتیت هستند. سنگ‌های قلیایی آشکارا از LREE غنی‌شدگی نشان می‌دهند و بی‌هنجاری مثبت Nb و Ti دارند و از لحاظ ژئوشیمیایی ویژگی‌های سنگ‌های ماگمایی با منشأ درون صفحه‌ای نوع جزایر اقیانوسی (OIB) را عرضه می‌کنند. با توجه به نسبت LREE/HREE و نسبت عناصر ناسازگار به نظر می‌رسد که این سنگ‌های قلیایی از یک گوشته گارنت لرزولیتی منشأ گرفته‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** سنگ‌های قلیایی، جزایر اقیانوسی، گارنت لرزولیت، املش، دریای خزر

\*نویسنده مسئول: علی کنعانیان

E-mail: kanaanian@khayam.ut.ac.ir

## ۱- مقدمه

به عنوان یک مجموعه افیولیتی معرفی شد (علامت ستاره در شکل ۱). در بسیاری از موارد سنگ‌های قلیایی درون صفحه‌ای به همراه توالی‌های افیولیتی فانروزویک، مانند قبرس، عمان و نیوفونلند گزارش شده‌اند (Tampson et al., 1997). سنگ‌های قلیایی همراه با مجموعه‌های افیولیتی گاهی با توالی افیولیتی همسن بوده و از نوع بازالت‌های درون صفحه‌ای به شمار می‌روند (Malpas et al., 1997) اما در برخی از افیولیت‌ها مانند افیولیت عمان، سنگ‌های قلیایی با ماهیتی متفاوت نسبت به سنگ‌های توالی اصلی افیولیتی، پس از تشکیل افیولیت به داخل آن تزریق شده‌اند (Lippard et al., 1986). به عنوان مثال مجموعه افیولیتی فولاد در جنوب نوار چین خورده دهلی در هند، به سن مزوپروتوزویک حاوی دایک‌هایی با ماهیت قلیایی است که بر اساس شواهد صحرایی پس از تشکیل افیولیت فولاد به داخل آن تزریق شده‌اند (Shamim Khan et al., 2005). همچنین به همراه افیولیت بیسپهر در ترکیه نیز سنگ‌های آمفیبولیتی با ویژگی‌های قلیایی تا نیمه قلیایی مربوط به جزایر اقیانوسی به سن کرتاسه بالا دیده شده است که احتمالاً در یک جزیره اقیانوسی یا کوه دریایی در نزدیکی منطقه فروانش ایجاد شده‌اند (Celik and Delaloy, 2006).

در این پژوهش سعی شده است با تلفیق نتایج حاصل از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی سنگ‌های قلیایی موجود در جنوب املش از توابع شهرستان رشت در استان گیلان، منشأ و موقعیت زمین‌ساختی این سنگ‌ها مورد بررسی قرار گیرد. به این منظور پس از بررسی‌های دقیق سنگ‌نگاری، ۱۰ نمونه از سالم‌ترین سنگ‌های گابرویی و بازالتی منطقه برای تعیین فراوانی عناصر اصلی و کمیاب به روش‌های ICP-AES و ICP-MS به آزمایشگاه ژئوشیمی مؤسسه ALS Chemex Ltd ونکوور کانادا، ارسال و مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

## ۲- موقعیت زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۶۷۰ کیلومتر مربع با مختصات طول ۵۰° ۰۳' و ۵۰° ۳۰' و عرض ۳۷° ۰۷' و ۳۶° ۵۱' شمالی، در جنوب و جنوب باختر شهرستان املش از توابع استان گیلان واقع شده است. از شمال به شهرستان لنگرود و از جنوب به بخش شمالی ارتفاعات رشته کوه البرز محدود است. گستره مورد نظر در بخش شمالی

سنگ‌هایی با ماهیت قلیایی هم داخل صفحات قاره‌ای و اقیانوسی و هم در حواشی فعال و غیر فعال قاره‌ها گزارش شده‌اند و در واقع در تمامی محیط‌های زمین‌ساختی بجز پشته‌های میان اقیانوسی وجود دارند (Zhao et al., 1995). ژئوشیمی خاص این سنگ‌ها که وابسته به محیط زمین‌ساختی تشکیل دهنده آنها است، ابزاری ارزشمند در شناسایی فرایندهای پوسته‌ای و گوشته‌ای مؤثر در تشکیل آنهاست (Upadhyay et al., 2006). وجود این سنگ‌ها در جزایر اقیانوسی حاکی از منشأگیری سنگ‌های قلیایی از گوشته است، هرچند، این دسته از سنگ‌ها همچنین می‌توانند تحت تأثیر مواد فرار و ناسازگار حاصل از فروانش و یا در اثر تغییر فشار ناشی از گنبدی شدن پوسته نیز، ایجاد شوند (Juteau and Maury, 2003).

سنگ‌های قلیایی مورد مطالعه در این تحقیق، با ترکیب گابرویی و بازالتی، در خاور استان گیلان و جنوب دریای خزر واقع شده‌اند و به دلیل مشکلات مطالعاتی مانند پوشش گیاهی فراوان و رخنمون سنگی اندک تاکنون مورد مطالعه دقیق قرار نگرفته‌اند. این منطقه در شمال گسل البرز و به عنوان بخشی از زون ساختاری گرگان-رشت در بخش شمالی البرز مرکزی واقع است. در نقشه‌های زمین‌ساختی اولیه اروپا، البرز به عنوان زون ژئوسکلینال نوار چین خورده آلیپی و در امتداد زون چین خورده قفقاز کوچک و شمال خاور ترکیه معرفی شده است (Stocklin, 1968). مر و مدبری (۱۳۸۰)، فرونشست خزر جنوبی را به عنوان یک سیستم کافت وامانده (Failed Rift) تعریف کرده‌اند که در امتداد زمین‌درز برخوردی تریاس قرار گرفته و تکامل آن احتمالاً به دلیل حرکات برخوردی کرتاسه پنین (بسته شدن اقیانوس سوان - آکرا - قره‌داغ) پایان یافته است (آقباتی، ۱۳۸۳). به اعتقاد Berberian (1983) اقیانوس سوان-آکرا در طی کافت ژوراسیک بین ورقه ایران مرکزی و ورقه اروپا به وجود آمده است و فروانش این پوسته اقیانوسی به زیر لبه قاره‌ای شمال قفقاز کوچک فعالیت آتشفشانی گسترده مربوط به فروانش با قلیایی‌نگی (آلکالینیتی) مختلف را در زمان‌های ژوراسیک و کرتاسه در قفقاز بزرگ و کوچک، شمال و شمال باختر ایران سبب شده است. بررسی‌های صحرایی حاکی از وجود سنگ‌های اولترامافیک، گابروهای لایه‌ای، گابروهای ایزوتروپ، واحد گابرو-دایک، دایک‌های ورقه‌ای، واحد دایک-گدازه، گدازه‌های بالشی و بالاخره تناوب گدازه بالشی با رسوبات پلاژیوک در این منطقه است. این مجموعه برای نخستین بار توسط سلواتی (۱۳۸۰)

### ۲-۳. سنگ‌های خروجی

این دسته از نوع گدازه‌های بالشی هستند. بازالتهای، بافت اینترگرانولار و پورفیری داشته و بلورهای درشت پلاژیوکلاز، پیروکسن و گاهی آپاتیت در زمینه‌ای از همین کانی‌ها قرار دارند. پیروکسن موجود در بازالتهای نیز همانند گابروها از نوع کلینوپیکروکسن اوژیت با ترکیب  $Wo_{93}En_{7}Fs_{14}$  (کنعانیان و همکاران، ۱۳۸۳)، با  $TiO_2$  بالا (۱/۳۶) و رنگ قهوه‌ای مایل به بنفش است. کلینوپیکروکسن‌ها با این ویژگی‌ها هم در زمینه و هم به صورت درشت‌بلور در بازالتهای دیده می‌شوند. پلاژیوکلازهای خودشکل و نیمه خودشکل (%An۷۱) به کلریت و اپیدوت دگرسان شده و گاه ساختمان منطقه‌ای نشان می‌دهند. کانی‌های کدر (پیریت، تیتانومگنتیت) و به مقدار کم آپاتیت نیز هم در زمینه و هم به صورت درشت بلور در این سنگ‌ها حضور دارند.

### ۴- شیمی سنگ کل

نتایج تجزیه ICP-MS نمونه‌های قلیایی جنوب املش در جدول ۱ آمده است. میزان  $SiO_2$  این سنگ‌های بین ۴۲ تا ۴۸ درصد،  $TiO_2$  بین ۲/۷ تا ۳/۸ درصد و نسبت  $Ti/V$  بیش از ۵۰ است. این سنگ‌ها غنی از  $P_2O_5$  (۰/۵-۰/۶) و فقیر از  $CaO$  (۰/۳۳-۰/۲۳) و  $MgO$  (۳/۲-۴/۷) هستند. مقدار  $Mg$  #مقدار نمونه‌های گابرویی حدود ۰/۳۳ و در بازالتهای منطقه در دو محدوده ۰/۵۵ و ۰/۳۳ متغیر است. این سنگ‌ها اعم از گابرو و بازالتهای عناصر از  $Ba$  (۳۵۰-۵۷۰)،  $Rb$  (۱۶-۳۸)،  $Zr$  (۱۳۸-۲۰۱)،  $Y$  (۱۶/۸-۳۰) و  $Nb$  (۳۲/۶-۴۸/۹) غنی‌شدگی و از  $Cr$  (۲۰-۶۰) و  $Ni$  (۵-۴۸) تهی‌شدگی نشان می‌دهند.

متعارف‌ترین نمودارهای شناسایی انواع مختلف سنگی، نمودارهایی است که تغییرات  $SiO_2$  را در برابر مجموع قلیایی‌ها ( $Na_2O+K_2O$ ) رسم می‌کنند. شکل ۳-الف نمودار TAS مربوط به سنگ‌های آتشفشانی (Le Bas et al., 1986) را نشان می‌دهد. شکل ۳-ب که توسط Wilson (1989) برای رده‌بندی سنگ‌های نفوذی استفاده شده، بر اساس نموداری مشابه که توسط Cox et al. (1979) برای سنگ‌های آتشفشانی تهیه شده، رسم شده است. در هر دو نمودار خط جداکننده سری قلیایی از نیمه‌قلیایی به نقل از Irvin and Baragar (1971) است. نمونه‌های بالای این خط که دارای  $(Na_2O+K_2O)$  بیشتر هستند به نام "قلیایی" و نمونه‌های زیر این خط مربوط به سنگ‌های "نیمه‌قلیایی" می‌شود. چنانچه بیان شد بازالتهای و گابروهای قلیایی مورد بررسی متحمل دگرسانی یا دگرگونی گرمایی درجه ضعیف در حد رخساره شست‌سبز شده‌اند. از آن جا که دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی اثر می‌گذارد، به منظور تعیین منشأ و محیط زمین‌ساختی احتمالی سنگ‌های قلیایی منطقه املش از نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب و عناصر اصلی که در طی درجات کم دگرسانی غیر متحرک باقی می‌مانند (مانند  $Ti, Zr, Y, Nb$ ) استفاده شده است. بنابراین برای شناسایی دقیق‌تر ماهیت سنگ‌های مورد بررسی از نمودار  $Zr/Ti$  در برابر  $Nb/Y$  (Winchester and Floyd, 1977) تصحیح شده توسط Pearce (1996) که سنگ‌ها را بر اساس آلکالینیتی و مراحل مختلف تحولشان رده‌بندی می‌کند (Dupuis et al., 2005)، استفاده کردیم (شکل ۴). به دلیل آن که نمونه‌های گابرویی مورد مطالعه با توجه به بافت، از مناطقی کم‌ژرفا منشأ گرفته‌اند، می‌توان در رده‌بندی آنها از نمودارهای بازالتهای نیز استفاده کرد. همه نمونه‌های مورد بررسی شامل گابرو و بازالتهای، تحول یافتگی کم با ماهیت قلیایی را نشان می‌دهند و چنانچه انتظار می‌رفت در بخش "بازالت قلیایی" قرار می‌گیرند.

نمونه‌های مورد بررسی در طرح بهنجار شده عناصر ناسازگار با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) همگی بی‌هنجاری مثبت  $Pb \cdot Nb \cdot Ba$  و  $Ti$  نشان

نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی چهار گوش قزوین- رشت (Anells et al., 1975) قرار گرفته و بخشی از فرونشست دریای مازندران (افتخارنژاد، ۱۳۵۹) را تشکیل می‌دهد (به نقل از درویش‌زاده، ۱۳۷۰).

در مقاله حاضر برای تکمیل اطلاعات زمین‌شناسی، مجموعه سنگی مورد نظر در سه منطقه، مورد مطالعه تفصیلی قرار گرفته است. این سه محل عبارتند از جنوب املش (در شمال محدوده مطالعاتی)، مناطق جواهرده و جواهرده (در خاور) و مناطق امام، سام و ملکوت (در باختر) که در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۱) دیده می‌شود. این نقشه با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰،۰۰۰ قزوین- رشت (Anells et al., 1975)، نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ لنگرود (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۳۸۲) و نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ جواهرده (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۳۸۳) تهیه شده است.

در منطقه مورد بحث سنگ‌هایی با ویژگی‌های قلیایی شامل گابروهای ایزوتروپ و گدازه‌های بالشی از مجموعه سنگ‌های منسوب به کرتاسه (Anells et al., 1975) در بین واحدهای بالایی مجموعه افیولیتی رخنمون دارند و در بخش‌های زیرین یعنی گابروهای لایه‌ای و اولترامافیک‌ها دیده نمی‌شوند. قابل توجه است که تشابه ظاهری سنگ‌های قلیایی با واحدهای اصلی مجموعه افیولیتی که ماهیت تولییتی دارند، شناسایی آنها را در صحرا کمی مشکل نموده است ولی به کمک بررسی‌های دقیق میکروسکوپی و تجزیه‌های شیمیایی تشخیص این گروه از سنگ‌ها امکان‌پذیر است.

### ۳- سنگ‌نگاری

چنانچه در بخش پیش بیان شد سنگ‌های قلیایی موجود در منطقه به صورت گابرو ایزوتروپ و گدازه بالشی دیده می‌شوند. بر این اساس می‌توان این سنگ‌ها را از نظر سنگ‌نگاری در دو گروه کلی سنگ‌های نفوذی و خروجی مورد بررسی قرار داد.

#### ۳-۱. سنگ‌های نفوذی

سنگ‌های نفوذی شامل گابروهای ایزوتروپ با بافت گرانولار، اینترگرانولار، افیتیک و نیمه افیتیک همراه با درشت بلورهای پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند. پیروکسن‌ها از نوع کلینوپیکروکسن با ترکیب  $Wo_{93}En_{7}Fs_{14}$  (بر اساس داده‌های ماکروپروپ) بوده و از لحاظ کانی‌شناسی از نوع اوژیت هستند (کنعانیان و همکاران، ۱۳۸۳). کلینوپیکروکسن‌ها دارای  $TiO_2$  بالا (با میانگین ۲/۰۵ ppm) هستند که با توجه به شواهد سنگ‌نگاری مانند رنگ قهوه‌ای مایل به بنفش و ماکل ساعت شنی از نوع تیتان اوژیت هستند. بیشتر این بلورها دارای زون‌بندی مشخص با حاشیه صورتی پررنگ و مرکز کم رنگ هستند (شکل ۲-الف) که این اختلاف رنگ ناشی از بالاتر بودن میزان  $Ti$  در حاشیه آنها است. این ویژگی در تمامی کلینوپیکروکسن‌های سنگ‌های قلیایی منطقه دیده می‌شود. این بلورها حدود ۲۴ درصد حجم سنگ را شامل می‌شوند.

بلورهای پلاژیوکلاز (An۶۴%) که اصلی‌ترین کانی سنگ به شمار می‌آیند (حدود ۶۶ درصد)، به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با منطقه‌بندی عادی دیده می‌شوند. اندازه متوسط بلورهای یادشده حدود ۴ میلی‌متر است. پلاژیوکلازها به اپیدوت، کلریت و کلسیت، دگرسان شده‌اند. پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها در برخی از نمونه‌ها ساختار منطقه‌بندی (زون‌بندی) نشان می‌دهند (شکل ۲-الف). از کانی‌های مهم دیگر در گابروها آپاتیت است (شکل ۲-ب) که با مقدار تقریبی ۵ تا ۱۰ درصد مقطع، به صورت سوزن‌هایی در کنار پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها قرار گرفته است. کانی‌های کدر شامل پیریت و تیتانومگنتیت نیز به مقدار ۳ تا ۴ درصد به صورت بی‌شکل و گاه میله‌ای شکل در همه مقاطع دیده می‌شوند.

مربوط به درجات کم ذوب‌شدگی در جزایر تشکیل شده در بالای سنگ‌کره سبتر است (Elliot, 2007). سنگ‌های قلیایی جنوب املش دارای تمرکز بالای Ti و بیشتر از OIB هستند که نشانگر ایجاد ماگمای والد سنگ‌ها در ژرفاهای بیشتر است (Yan and Zhao, 2008). در نمودار Ti در برابر V (Shervais, 1982)، کلیه نمونه‌ها در منطقه Ti/V بین ۵۰ تا ۱۰۰ قرار می‌گیرند (شکل ۹- الف). منطقه بین ۱۰-۲۰ مربوط به کمان، ۲۰-۵۰ مربوط به MORB و ۵۰-۱۰۰ مربوط به OIB است.

بر اساس شکل ۹- ب سنگ‌های قلیایی مورد مطالعه در نمودار La-Y/15-Nb/8 (Cabanis and Lecolle, 1989) در قلمرو بازالت‌های قلیایی کافت قرار می‌گیرند که این امر به دلیل میزان بالای Nb در این سنگ‌ها است. Nb و U دارای ضریب پراکندگی مشابهی در طی ذوب‌شدگی گوشته اقیانوسی هستند، پس می‌توان از نسبت Nb/U نیز برای تعیین منشأ سنگ‌ها استفاده کرد. میانگین نسبت Nb/U در سنگ‌های قلیایی مورد بررسی ۵۶ است که با نسبت میانگین آن در بازالت‌های مربوط به MORB و OIB که  $47 \pm 7$  است (Hoffman, 1988) مشابه است.

دگرسانی و آلودگی پوسته‌ای فرایندهای ثانویه‌ای هستند که می‌توانند بر ترکیب شیمیایی سنگ‌ها تأثیرگذار باشند. متغیرهای شیمیایی مختلفی برای دستیابی به درجات مختلف آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای مثال، سنگ‌های بازالتی که تحت تأثیر آلودگی پوسته‌ای قرار گرفته باشند دارای نسبت‌های  $K/P > 22$  و  $La/Ta > 1/5$  هستند (Hart et al., 1989; Abdel-Fattah, 2004). مقدار این نسبت‌ها در سنگ‌های قلیایی مطالعه شده  $La/Nb > 0.63 - 0.77$  و  $La/Ta > 1.07 - 1.2/3$  (K/P=۳/۵ - ۵/۸) نشان می‌دهد که تأثیر آلودگی پوسته‌ای در سنگ‌های مورد مطالعه بسیار ناچیز بوده است. افزون‌بر آن عناصر ناسازگاری مانند Ta و Th و Yb هم به عنوان معیاری برای تشخیص آلودگی پوسته‌ای در نظر گرفته می‌شوند. آلودگی پوسته‌ای بر Th بیشتر از Yb و Ta تأثیرگذار است، بنابراین نمونه‌هایی که آلودگی پوسته‌ای دارند مقدار Th/Yb بیشتری نشان می‌دهند (Moghazi, 2003). در نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce, 1983) (شکل ۸- ب) سنگ‌های مورد مطالعه در ناحیه مربوط به OIB قرار می‌گیرند. این نسبت‌ها تقریباً مستقل از تبلور و ذوب بخشی بوده و بنابراین برای شناسایی منشأهای گوناگون و همچنین آلودگی پوسته‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. ماگمای حاصل از گوشته تهی شده، MORB و سست‌کره غنی شده تولید کننده پلوم، همگی در قطر این نمودار قرار می‌گیرند. سنگ‌های آلوده شده با مواد حاصل از فرورانش با غنی‌شدگی از Th در برابر Ta و در نتیجه نسبت بالای Th/Yb در برابر Ta/Yb مشخص می‌شوند (Aldanmaz, 2000). با توجه به این نمودار و همچنین وجود بی‌هنجاری مثبت Nb و عدم تشابه نسبت‌های Ta/U (با میانگین ۳/۵) و La/Nb (با میانگین ۰/۷۰) در این سنگ‌ها در مقایسه با پوسته قاره‌ای به ترتیب با نسبت‌های ۱/۱ و ۱۲/۱ (Taylor and McLennan, 1995)، می‌توان اظهار نمود که این سنگ‌ها تحت تأثیر آلودگی پوسته‌ای قرار نداشته‌اند. به این دلیل، شواهد ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های قلیایی جنوب املش فاقد آلودگی پوسته‌ای بوده و می‌توانند برای شناسایی ویژگی‌های منشأ گوشته‌ای مورد استفاده قرار گیرند. با توجه به جدول ۲ (Xia et al., 2008) داده‌های مربوط به سنگ‌های قلیایی املش شباهت زیادی به میانگین OIB دارد. در این جدول OIT معرف تولیت‌های جزایر اقیانوسی و OIAB معرف بازالت‌های قلیایی جزایر اقیانوسی است. همان‌طور که در این جدول دیده می‌شود نسبت‌های عناصر کمیاب مانند Nb/Zr، Nb/Hf، Nb/Th، Nb/U، Sr/Rb در سنگ‌های قلیایی جنوب املش مشابهت زیادی با بازالت‌های قلیایی جزایر اقیانوسی (OIAB) دارند. سنگ‌های قلیایی شناخته شده دنیا ویژگی‌های ژئوشیمیایی متنوع دارند و از منابع ماگمایی متفاوتی سرچشمه می‌گیرند (Weaver, 1991; Gibson et al., 1997; Frey et al., 2000; Abdel-Fattah et al., 2004). نشان دادند

می‌دهند (شکل ۵). همچنین کلیه گابروها بی‌هنجاری مثبت Sr دارند. در طرح بهنجار شده با MORB (شکل آورده نشده) این سنگ‌ها هم نسبت به N-MORB و هم نسبت به E-MORB از عناصر Sr، Ba، Nb و Ti غنی‌شدگی نشان می‌دهند. طرح بهنجار شده با کندریت‌ها (Sun and McDonough, 1989 - شکل ۶) برای سنگ‌های قلیایی شیب منفی داشته یعنی غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE نشان می‌دهند. بی‌هنجاری مثبت Eu در این نمونه‌ها دیده می‌شود.

نمودار  $P_2O_5 - TiO_2 - MnO$  (Mullen, 1983) که برای رده‌بندی بازالت‌ها با دامنه سیلیس ۴۵-۵۴% به کار می‌رود، به دلیل غیر حساس بودن عناصر P و Ti، Mn در برابر فرایندهای گرمایی و تقریباً غیر متحرک بودن این عناصر در دامنه حرارتی رخساره شیب‌سبز (Rollinson, 1993) نمودار مفیدی برای رده‌بندی سنگ‌های منطقه به شمار می‌رود. در این نمودار (شکل ۷- الف) سنگ‌های قلیایی مورد نظر در قلمرو OIA یعنی آلکالی بازالت‌های جزایر اقیانوسی، قرار می‌گیرند. همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد این سنگ‌ها دارای کانی آپاتیت هستند و وجود آپاتیت می‌تواند دلیل فراوانی  $P_2O_5$  نمونه‌ها در این نمودار باشد.

برای تعیین محیط مختلف زمین‌ساختی بازالت‌های سالم درون صفحه‌ای (جزایر اقیانوسی و بازالت‌های طغیانی)، از نمودار مثلثی  $Ti/100 - Zr - Y^*3$  می‌توان استفاده کرد (Pearce and Cann, 1973). عناصر Y - Ti - Zr در حین فرایندهای ثانویه مانند هوازدگی و متاسوماتیسم که سنگ‌های افیولیتی را تحت تأثیر قرار می‌دهند، کم و بیش بدون تغییر باقی می‌مانند به همین علت برای شناسایی خاستگاه سنگ‌های دگرسان شده نیز مفیدند (Pearce and Cann, 1973). سنگ‌های قلیایی جنوب املش با این که تا حدی دگرسانی شده‌اند در نمودار  $Y/Ti/Zr$  همگی در قلمرو سنگ‌های درون صفحه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۷- ب). افزون‌بر این، همه نمونه‌ها به دلیل داشتن Nb بیش از ۳۰ ppm و داشتن Th به نسبت کم (حدود ۳ ppm) در نمودار لگاریتمی تغییرات Nb در برابر Nb/Th (Boztug et al., 2007) در قلمرو MORB+OIB قرار گرفته‌اند (شکل ۸- الف). در نمودار لگاریتمی تغییرات Ta/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 1983) نیز در محدوده سنگ‌های مشتق از گوشته غنی شده قرار می‌گیرند و شباهت‌هایی را با بازالت‌های قلیایی OIB نشان می‌دهند (شکل ۸- ب).

## ۵- بحث

سنگ‌های گابرویی و بازالتی با ماهیت قلیایی در جنوب املش با سنگ‌نگاری و ژئوشیمی خاص، در طرح بهنجار شده با کندریت (شکل ۶) روند مشابهی را نشان می‌دهند. با توجه به این نمودار و عدد منیزیم بازالت‌ها نسبت به گابروها می‌توان بیان نمود که بازالت‌ها تفریق بیشتری را نسبت به گابروها متحمل شده‌اند. این سنگ‌ها دارای  $P_2O_5$  بالا و  $TiO_2$  و  $MgO$  پایین هستند و همچنین از LREE ها غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل ۶). افزون‌بر این، بازالت‌ها و گابروها از LILE چون Sr، Ba، K، HFSE مانند Nb و Ti (شکل ۵) غنی شده‌اند. همگی این شواهد گویای ایجاد این سنگ‌ها در محیط مشابه با جزایر اقیانوسی (OIB) است.

عناصر اصلی مانند Ti در طی ذوب‌شدگی کم و بیش نامتغیر باقی می‌ماند. فرایند ذوب‌شدگی در زیر جزایر اقیانوسی گوناگون بوده و به سبتر برای سنگ‌کره روی آن بستگی دارد. سنگ‌کره اقیانوسی در محل تشکیل جزایر اقیانوسی در اصل به عنوان یک سد در برابر صعود مواد و عناصر از گوشته به سطح عمل می‌کند. بنابراین هرچه سنگ‌کره نازک‌تر باشد، میزان ذوب‌شدگی بیشتر و برعکس هرچه سنگ‌کره سبتر تر باشد میزان ذوب‌شدگی کمتر است (Prytulak & Elliot, 2007). با توجه به تحقیقات انجام شده توسط Elliott et al. (2007) بر روی جزایر اقیانوسی Azeros واقع در نزدیکی پشته میان اقیانوسی اطلس، میزان بالای  $TiO_2$  در جزایر اقیانوسی

باقی مانده در منبع گوشته‌ای باشد که خود نتیجه‌ای از درجات مختلف ذوب بخشی است (Moghazi, 2003). بر اساس داده‌های موجود از سنگ‌های قلیبایی مورد مطالعه، این سنگ‌ها از ذوب بخشی یک منبع گوشته‌ای سست کره‌ای دارای گارنت ایجاد شده‌اند. سنگ‌های سازنده‌ی افیولیت‌ها از نظر زمین‌ساختی می‌توانند در پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) یا در مجموعه‌های فرافروانشی (Supra-subduction) تشکیل شوند (Mehrab Khan et al., 2007). نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی در افیولیت‌های ایران نشان‌دهنده تشکیل آنها در پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) و یا جزایر کمانی (IAT- محیط سوپراسابداکشن) است (Rahgoshay et al., 2007; Moazzen et al., 2006; Shahabpour, 2005; Ghazi et al., 2004; Shojaat et al., 2003; Ghazi et al., 2003; Babaei et al., 2001; Banaei et al., 2001; Hassanipak and Ghazi, 2000). در محیط‌های سوپراسابداکشن افزون‌بر سنگ‌های تولییتی امکان تشکیل سنگ‌های قلیبایی نیز وجود دارد (Beccaluva et al., 2004). همراهی توده‌های تولییتی و قلیبایی در تعداد زیادی از مجموعه‌های افیولیتی محیط‌های سوپراسابداکشن گزارش شده است (Bağcı and Parlak, 2007; Beccaluva et al., 2000; Nicholson et al., 2004; al., 2004). و در این مجموعه‌ها سنگ‌های تولییتی با سنگ‌های قلیبایی همراه شده‌اند که ویژگی‌های درون صفحه‌ای نشان می‌دهند (Bağcı and Parlak, 2007; Beccaluva et al., 2004; Nicholson et al., 2000; Malpas et al., 1997; Lippard et al., 1986). بر اساس بررسی‌های انجام شده در منطقه، مجموعه افیولیتی جنوب دریای خزر نیز ماهیت سوپراسابداکشن دارد (صلواتی، ۱۳۸۷). با توجه به این که برخی از گدازه‌های بالشی موجود در منطقه نیز ماهیت قلیبایی دارند و همچنین اثری از تزریق سنگ‌های قلیبایی در درون سنگ‌های آهکی واقع بر روی گدازه‌های بالشی و یا حتی واحدهای جوان‌تر دیده نمی‌شود، به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها همزمان با واحدهای اصلی توالی افیولیتی تشکیل شده باشند. سنگ‌های قلیبایی درون صفحه‌ای در دیگر مجموعه‌های افیولیتی ایران همچون بافت (Arvin and Robinson, 1994) و کرمانشاه (Ghazi & Hassanipak, 1999) نیز گزارش شده‌اند که در هر دوی این مناطق ایجاد این سنگ‌ها به جزایر اقیانوسی نسبت داده شده است. مشابه این سنگ‌ها در ارمنستان نیز دیده شده است (Galoyan et al., 2007). مدل‌های زمین‌ساختی گوناگونی برای همراهی سنگ‌های قلیبایی با مجموعه‌های افیولیتی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به حضور یک پلوم در محل تشکیل افیولیت (Tankut et al., 1998)، بالاآمدگی باقیمانده یک فلات قاره‌ای در میان سیستم افیولیتی (Galoyan et al., 2008)، فرورانش یک پشته اقیانوسی (Bağcı and parlak, 2007)، ماگماتیسیم تأخیری حاصل از پنجره سست کره که از خلال شکستگی تخته فرورنده (Slab breakoff) خارج شده است (Bağcı and parlak, 2007; Shervias, 2000; Keskin et al., 2008) اشاره نمود.

Berberian (1983); Stampfli & Borel (2001) منطقه جنوب دریای خزر را یک حوضه پشت کمان معرفی می‌نمایند. بربریان حوضه یادشده را با فرورانش اقیانوس سوان-آکرا-قره‌داغ مرتبط می‌داند در حالی که به نظر اشتامپلی منطقه مورد نظر بخشی از زمین درز از میر-آنکارا است که به سمت خاور در شمال ایران ادامه یافته است. از نظر وی زمین درز از میر-آنکارا مربوط به بسته شدن اقیانوسی به همین نام است که همراه با اقیانوس واردار به صورت یک حوضه پشت کمان در ادامه روند فرورانش نتوتیس در شمال ترکیه و ایران تشکیل شده است. در شمال باختر منطقه مورد مطالعه و در خارج از مرزهای ایران زمین درز مربوط به بسته شدن اقیانوس قدیمی سوان-اکرا-قره داغ گزارش شده (Galoyan et al., 2007) که ادامه آن در ایران توسط Berberian (1983) گزارش شده است. به نظر وی جنوب دریای خزر حوضه پشت کمان این زمین درز است. در امتداد این زمین درز سنگ‌های قلیبایی در بخش‌های

که برخی از متغیرهای ژئوشیمیایی به منظور تشخیص نقش فرایندهای سنگ‌زایی مانند تبلور تفریقی و ذوب بخشی در روند تکاملی گدازه‌های مافیک مورد استفاده قرار می‌گیرند. در طی فرایند ذوب بخشی، نسبت‌های عنصری عناصر به شدت تا کمی ناسازگار (مانند Ba/Zr، Ba/Y) با افزایش درجات ذوب بخشی، کاهش می‌یابند (Pankhurst, 1977). شکل ۱۰- الف روندی خطی را برای نسبت‌های عنصری Ba/Zr و Ba/Y در برابر Ba نشان می‌دهند. تفریق نسبی این نسبت‌ها تابع درجات مختلف ذوب بخشی هستند. (Hoernle and Schmincke, 1993) نشان دادند که نسبت یک عنصر ناسازگار در برابر  $Al_2O_3$  به طور مشخص با افزایش درجات ذوب بخشی، کاهش می‌یابد. روندهای خطی مثبت بین  $Zr/Al_2O_3$  و  $Nb/Al_2O_3$  در برابر  $P_2O_5/Al_2O_3$  (شکل ۱۰- ب) گویای نقش اساسی ذوب بخشی در تولید شیمی ماگماهای قلیبایی منطقه مورد مطالعه است.

در شکل ۱۱ برای تعیین مشخصات منبع ماگمایی سنگ‌های قلیبایی مطالعه شده، به استفاده از نسبت‌های عناصر به بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی منشأ و درجه ذوب بخشی سنگ‌های قلیبایی منطقه پرداخته‌ایم. از آن جا که سنگ‌های مورد بحث از یک گوشته به نسبت غنی شده مشتق شده‌اند (شکل ۸- الف)، برای ارزیابی درجه ذوب بخشی گوشته منشأ آنها، با ترکیب متوسط گوشته را لرزولیتی در نظر گرفته و روندهای مختلف ذوب بخشی را بر روی نمودار تغییرات La/Sm در برابر Sm/Yb مورد بررسی قرار داده‌ایم (شکل ۱۱). نسبت La/Sm تحت تأثیر کانی‌شناسی منشأ تغییر نمی‌کند و بنابراین اطلاعات جامعی را از ترکیب ژئوشیمیایی منشأ در اختیار ما قرار می‌دهد. نسبت Sm/Yb، به عنوان نسبت یک عنصر ناسازگار به یک عنصر سازگار برای گارنت، برای شناسایی کانی‌شناسی منشأ و درجه ذوب بخشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ۱۱ روند تغییر این نسبت‌ها را در درجات مختلف ذوب بخشی گارنت-لرزولیت و اسپینل-لرزولیت نشان می‌دهد. وقتی یک اسپینل-لرزولیت تحت تأثیر ذوب بخشی قرار می‌گیرد، گوشته و مذاب تولیدی دارای نسبت Sm/Yb مشابه هستند، در حالی که نسبت La/Sm با افزایش درجه ذوب بخشی کاهش می‌یابد (Aldanmas et al., 2000). با توجه به شکل ۱۱ سنگ‌های قلیبایی جنوب املش در زیر منحنی گارنت-لرزولیت و بالای منحنی گارنت-اسپینل-لرزولیت قرار می‌گیرند. در این ناحیه چنانچه در شکل مشخص شده است میزان گارنت بیشتر از اسپینل است. طبق این مدل سنگ‌های قلیبایی مورد مطالعه می‌توانند در نتیجه ذوب بخشی بین ۱ تا ۴ درصدی گارنت-اسپینل-لرزولیت دارای گارنت بیشتر از اسپینل حاصل شده باشند. داده‌های REE سنگ‌های قلیبایی بررسی شده نیز منشأ این سنگ‌ها را زون گارنت-لرزولیت پیشنهاد می‌کند. از آن‌جا که ضریب پراکندگی عناصر HREE در گارنت بالاست، در نتیجه جدایش گارنت از ماگما سبب کاهش شدید میزان HREE می‌شود، بنابراین نسبت LREE/HREE افزایش می‌یابد (McKenzie & O'Nions, 1991; Abdel-Fattah, 2004). حضور گارنت به صورت فاز باقیمانده در ماگمای منشأ به کمک نسبت  $(Tb/Yb)_N$  قابل تشخیص است (Abdel-Fattah, 2004; Moghazi, 2003). در سنگ‌های قلیبایی بررسی شده نسبت  $(Tb/Yb)_N$  بین ۱/۶۴ تا ۲/۰۳ تغییر است که با مقادیر این نسبت در سنگ‌های قلیبایی هاوایی (Frey et al., 2000)  $(Tb/Yb) = ۲/۴۵ - ۱/۸۵$  که به نظر می‌رسد از یک منبع گارنت لرزولیتی منشأ گرفته‌اند (Frey et al., 2000; McKenzie and O'Nions, 1991) قابل مقایسه است. این مطلب نشان می‌دهد که ژرفای تشکیل ماگمای مولد این سنگ‌ها دست کم ۸۰ Km بوده است.

تفریق نسبی HFSE ویژگی عمومی در بازالت‌های قلیبایی اقیانوسی و قاره‌ای است (اسکاتلند 1988، Smedley؛ OIB آتلانتیک؛ Weaver et al., 1987؛ درای شمال؛ Latin et al., 1990). تصور می‌شود که این امر تابعی از مقدار گارنت و کلینوپیروکسن



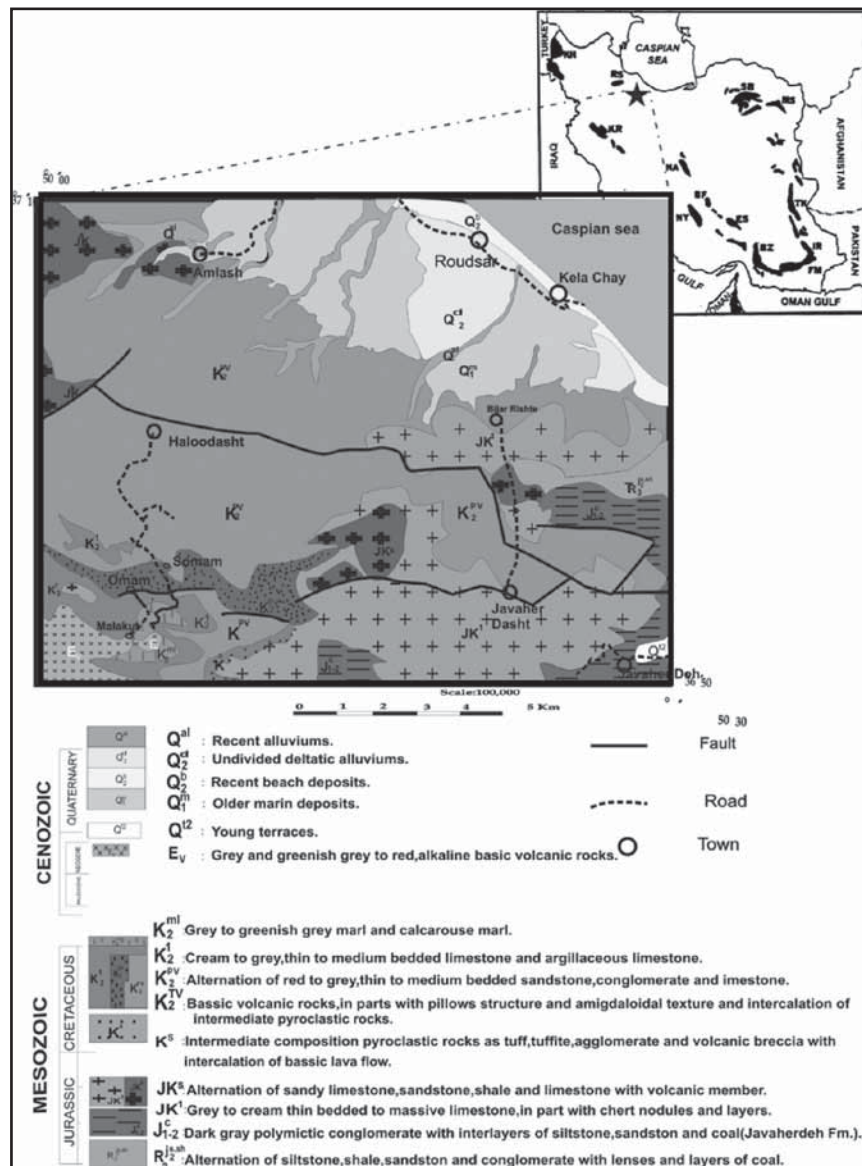
و بازالت‌هایی با ریخت‌شناسی بالشی بوده و دارای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن نوع تیتان اوژیت و آپاتیت هستند. بر اساس نتایج ژئوشیمیایی، سنگ‌های قلیایی جنوب املش از  $P_2O_5$  و  $TiO_2$  غنی شدگی نشان می‌دهند که به ترتیب به دلیل وجود آپاتیت و تیتان اوژیت در این سنگ‌ها است.

با توجه به نمودارهای عنکبوتی، این سنگ‌ها از LILE مانند Sr، Eu و Ba غنی شده‌اند که این امر به تمرکز پلاژیوکلاز مربوط است. شیب منفی در نمودار بهنجار شده با کندریت تهی شدگی از HREE نسبت به LREE را نشان می‌دهد که حضور گارنت در منشأ این سنگ‌ها را پیشنهاد می‌کند. نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb نیز نشان دهنده یک گوشته گارنت-لرزیولیتی به عنوان منشأ این سنگ‌ها است. نسبت‌های عناصر کمیاب مانند Ta/Yb، Th/Yb و U/Ta نشانگر این مطلب است که این سنگ‌ها فاقد آلودگی پوسته‌ای هستند. کلیه ویژگی‌های عناصر اصلی و کمیاب مطالعه شده در سنگ‌های قلیایی جنوب املش، نشاگر ماگمایی با ویژگی‌های جزایر اقیانوسی (OIB) به عنوان والد سنگ‌های قلیایی موجود در جنوب املش هستند.

مختلف گزارش شده است (Berberian, 1983; Dehghani and Makris, 1983) برقی، ۱۳۸۴). پژوهش‌های انجام شده توسط این پژوهشگران نشان می‌دهد که پس از بسته شدن اقیانوس سوان-اکرا-قره‌داغ شکستگی‌های ژرف ناشی از کشش محلی پس از برخورد، سبب ایجاد ماگماتیسیم قلیایی در مناطق برخوردی شده است. در مورد فعالیت ماگماتیسیم قلیایی در جنوب املش به نظر می‌رسد که ایجاد شکستگی‌های ژرف همزمان و پیش از جایگیری مجموعه افیولیتی مورد بحث، توانسته ماگمای قلیایی گاه با ریخت‌شناسی بالشی را تولید کند. به هر حال یادآوری می‌نماید که انتخاب هر یک از مدل‌های یاد شده افزون بر این که نیازمند جمع‌آوری اطلاعات ایزوتوپی جامع از سنگ‌های مورد مطالعه است، مستلزم تکمیل اطلاعات زمین‌ساختی و زمین‌شناسی ناحیه‌ای از مناطق اطراف نیز است.

### ۶- نتیجه‌گیری

سنگ‌های قلیایی جنوب املش واقع در جنوب دریای خزر، شامل گابروهای همگن



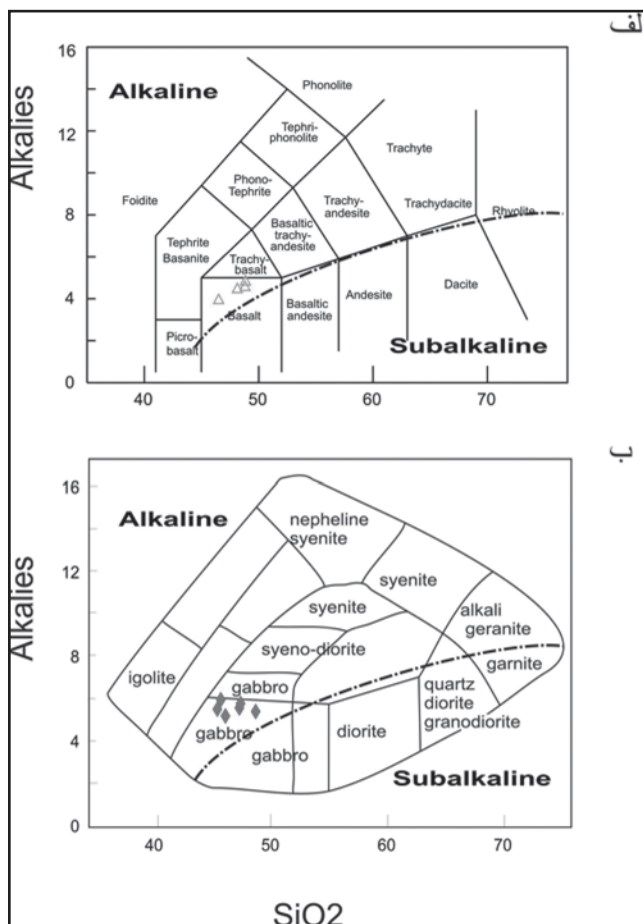
شکل ۱- پراکنده‌گی افیولیت‌های مربوط به نئوتیس در ایران زمین (به نقل از Dilek & Delaloy, 1992). RS = افیولیت رشت، \* = افیولیت املش. به همراه نقشه زمین‌شناسی مجموعه افیولیتی املش.

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های قلیایی منطقه املش به روش ICP

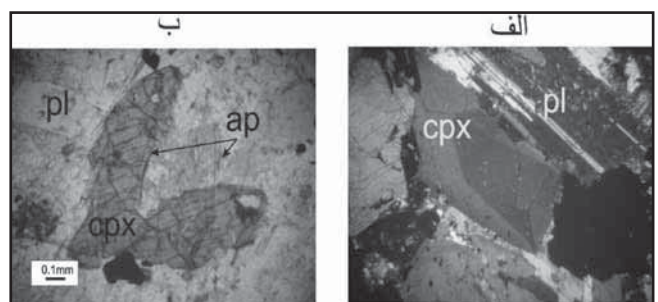
	گابرو						بازالت			
	G13-1	G13-2	G-14	GO-17	GSH-17	149	BT-22	SM20	SM23B	SY80
SiO <sub>2</sub>	47.1	45.5	47.2	48.5	45.2	45.9	48.7	48.1	48.85	46.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.45	18.05	16.4	16.15	14.8	15.5	14.7	15.15	15.1	13.65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.68	10.45	11.8	11.7	12.9	13.3	12.2	12.98	12.36	14.75
CaO	9.41	9.29	8.57	8.71	8.5	8.28	8.64	8.92	8.05	9.7
MgO	3.2	3.29	3.65	3.65	4.21	4.27	3.41	3.84	3.59	4.73
Na <sub>2</sub> O	4.08	4.55	3.99	3.59	4.03	3.88	2.92	2.98	3.04	2.68
K <sub>2</sub> O	1.5	1.42	1.8	1.82	1.49	1.32	1.6	1.48	1.73	1.22
TiO <sub>2</sub>	2.79	3.31	3.29	3.35	3.82	3.75	3.16	3.37	3.37	3.44
MnO	0.14	0.13	0.16	0.16	0.18	0.16	0.13	0.18	0.18	0.25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.58	0.57	0.57	0.62	0.61	0.57	0.56	0.56	0.59	0.59
LOI	3.07	3.55	2.41	2.07	3.98	3.23	2.05	2.06	2.64	2.26
Total	100.0	100.1	99.8	100.3	99.7	100.2	98.1	99.62	99.5	99.8
Ba	430	392	578	540	471	448	456	485	460	348
Ce	48.7	47.8	57.4	69	60.5	58.9	65.9	68	69	64.8
Co	25.3	27.3	32.1	32	36	39.5	35.1	33	37	42
Cr	60	20	60	30	40	30	50	50	27	30
Cs	0.36	0.26	0.28	0.36	0.65	0.48	0.09			0.13
Cu	18	13	78	41	66	71	44			109
Dy	3.99	3.98	4.96	5.26	5.15	5.3	6.3	5.85	6.05	6.29
Eu	2.25	2.27	2.48	2.55	2.48	2.57	2.91	2.75	2.8	2.79
Hf	3.7	3.7	4.7	5.4	4.9	4.5	5.4			5.6
Ho	0.7	0.68	0.91	0.95	0.9	0.86	1.09			1.1
La	25.1	24.3	29	34.2	30.7	27.8	31.6	33.5	36	30.5
Lu	0.17	0.17	0.23	0.24	0.24	0.24	0.31			0.3
Nb	32.6	33.6	41.8	48.9	43.6	43.5	45.3	46	47	42.3
Nd	24.5	24.6	29.1	33.1	31.1	30.9	36.8	38.5	40	34.6
Ni	8	<5	24	18	29	40	22	21	24	48
Rb	34.3	29.8	38.7	34.4	26.7	23.5	26.7	18	32	22.4
Sm	5.34	5.52	6.59	7.23	6.93	6.97	8.21	8.3	8.5	7.82
Sr	1035	983	1295	968	917	882	662	700	690	553
Ta	2.1	2.1	2.4	2.9	2.5	2.6	2.7			2.5
Th	2.9	2.52	2.94	3.85	2.99	2.7	3.76	3.6	3.75	2.84
U	0.61	0.55	0.62	1.36	0.65	0.66	0.92			0.71
V	165	193	203	210	251	270	224	240	250	266
Y	16.8	17.3	22.2	23.9	22.9	23	25.8	28	30	28.2
Yb	1.27	1.3	1.64	1.77	1.7	1.66	2.25	2.21	2.3	2.16
Zn	108	115	128	129	148	131	150			154
Zr	138	138	168	201	180	176	194	200	200	183
#Mg	33.58	32.77	32.31	32.22	33.13	32.52	30.87	55.93	55.21	33.07

جدول ۲- مقایسه سنگ‌های قلیایی موجود در جنوب املش با MORB و OIB. داده‌های Wilson (1989) از OIB و MORB.

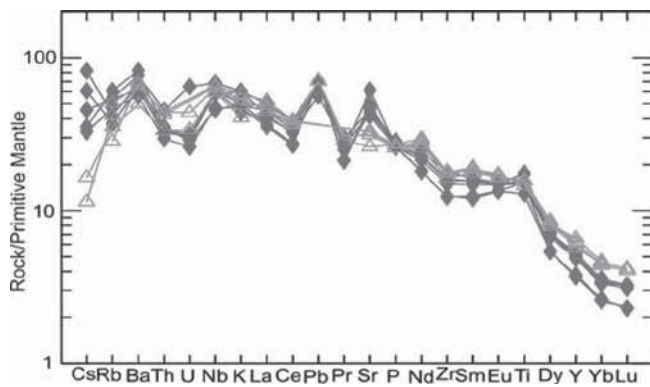
	OIB		Amlash		
	MORB	OIT	OIAB	gabbro	Basalt
Ba(ppm)	5-50	70-200	200-1400	476	437
Sr(ppm)	90-200	150-400	400-4000	1013	651
Rb(ppm)	<5	5-12	15-400	31	24
Zr(ppm)	15-150	5-25	20-60	166	177
Th/U	2	3-5		4.2	4.08
Th/Nb		<0.1		0.07	0.07
Hf/Nb		<8		0.11	0.11
Zr/Nb	12-22	5.8		4.1	4.3
Sr/Rb	127	20-70		32	27



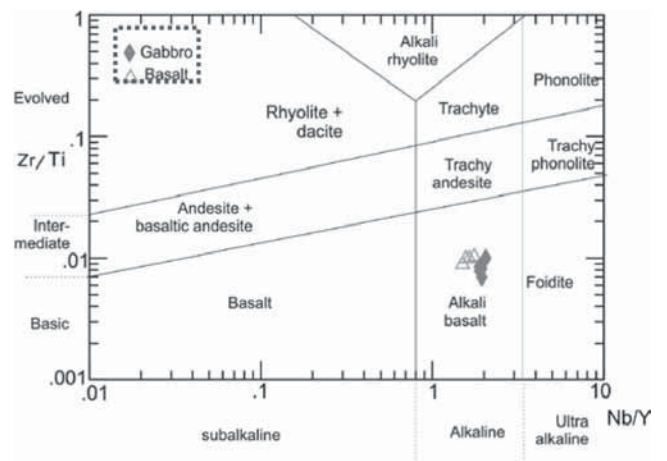
شکل ۳- نمودار تغییرات SiO<sub>2</sub> در برابر مجموع قلیایی‌ها (K<sub>2</sub>O+ Na<sub>2</sub>O) (الف) Le Bas et al. (1986) برای بازالت‌ها (مثلث توخالی) (ب) Wilson (1989) برای گابروها (لوزی توپر)



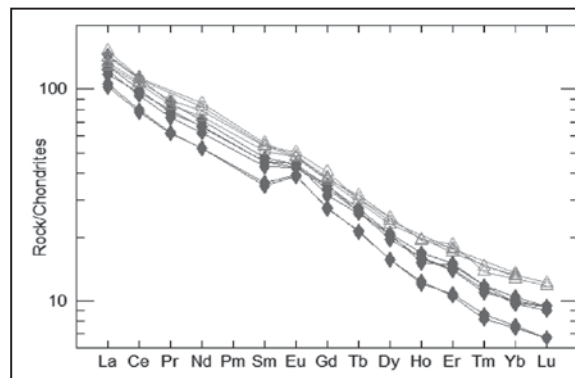
شکل ۲- (الف) منطقه‌بندی در تیتان- اوژیت. (ب) سوزن‌های آپاتیت در کنار پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن. PL=پلاژیوکلاز، CPX=کلینوپیروکسن، AP=آپاتیت (علامت به نقل از Kretz, 1983).



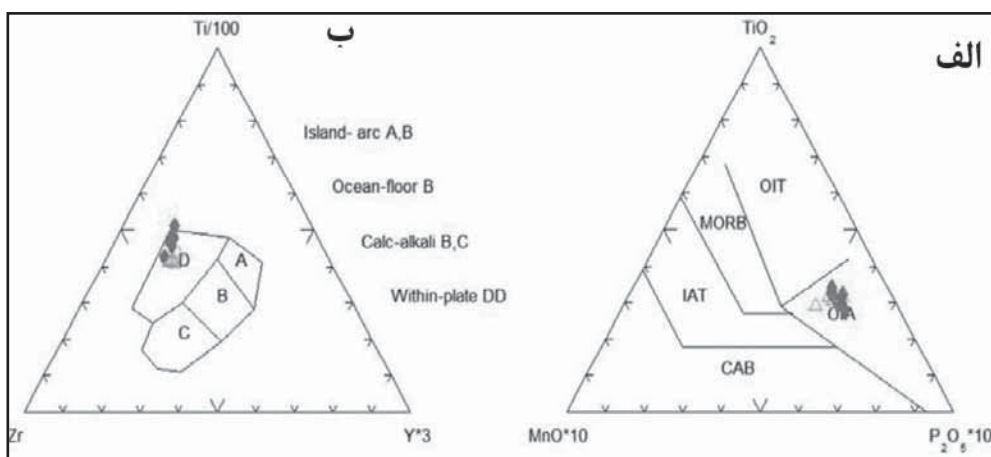
شکل ۵- طرح بهنجار شده با گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) علامت مشابه با شکل ۳.



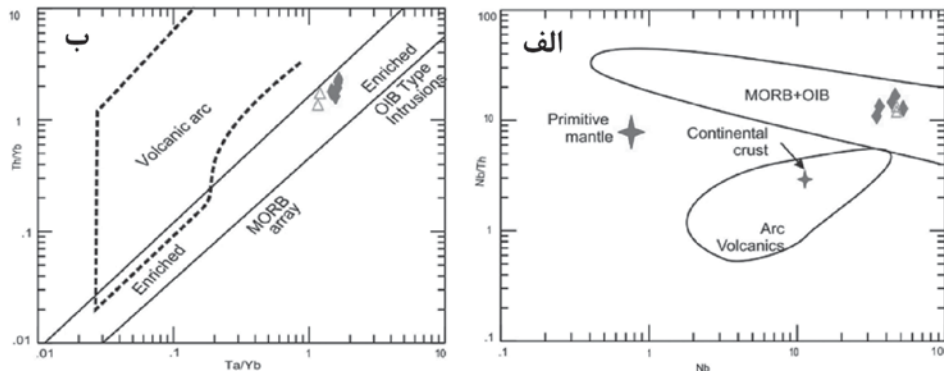
شکل ۴- نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977)؛ تصحیح شده توسط Pearce (1996).



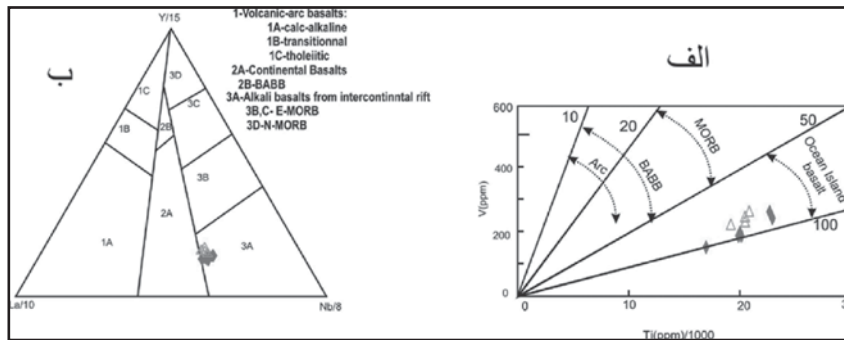
شکل ۶- طرح بهنجار شده با کندریت (Sun and McDonough, 1989)، علامت مشابه شکل ۳.



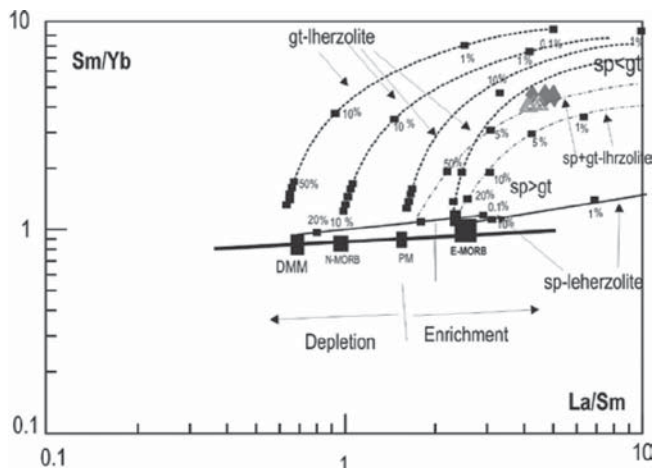
شکل ۷- الف) نمودار  $MnO - TiO_2 - P_2O_5$  (Mullen, 1983) ب) Y-Ti-Zr (Pearce and Cann, 1973). علامت مشابه شکل ۳.



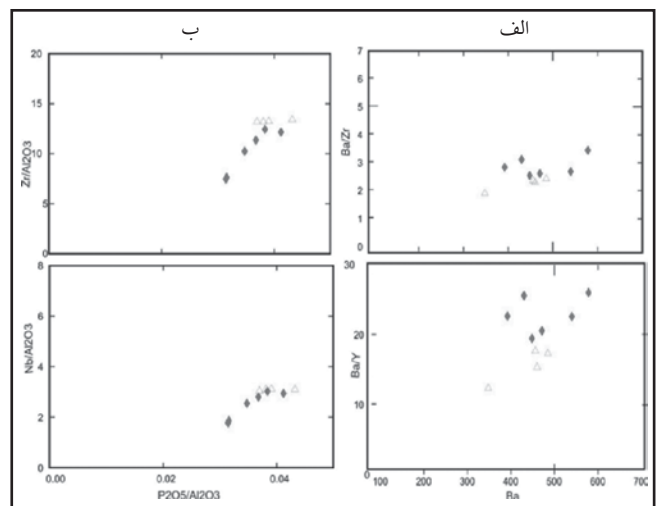
شکل ۸- الف) نمودار Nb در برابر Nb/Th (Boztug et al., 2006). ب) نمودار Nb/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 1983). علائم مشابه شکل ۳.



شکل ۹- الف) نمودار Ti در برابر V (Shervais, 1982). ب) نمودار La - Yb - Nb/8 (Cabanis and Lecolle, 1989). علائم مشابه شکل ۳.



شکل ۱۱- نمودار Sm/Yb در برابر La/Sm: منحنی‌های ذوب شامل معادله ذوب بخشی پیمان‌های به نقل از Show (1970) و روش پیشنهادی (Albarede (1995) است. منحنی‌های ذوب برای اسپینل- لوزولیت و گارنت- لوزولیت با ترکیب مدال  $0.10\text{Gt} + 0.20\text{Opx} + 0.60\text{Ol} + 0.17\text{Cpx} + 0.27\text{Opx} + 0.53\text{Ol}$  و  $0.03\text{Sp} + 0.17\text{Cpx} + 0.27\text{Opx} + 0.53\text{Ol}$  رسم شده است. ضریب پراکندگی کانی- ماتریس از (McKenzie and O'Nions, 1991). اطلاعات مربوط به (PM (primitive Mantle), N-MORB, E-MORB از (Sun and McDonough (1989) است (Aldanmas et al., 2000).



شکل ۱۰- الف) روندی خطی نسبت‌های عنصری Ba/Zr و Ba/Y در برابر Ba. ب) روندهای خطی مثبت بین  $\text{Zr}/\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Nb}/\text{Al}_2\text{O}_3$  در برابر  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{Al}_2\text{O}_3$  نشانه فرایند ذوب بخشی در ایجاد تنوع شیمیایی (Hoernle and Schmincke, 1993) در ترکیب سنگ‌های قلیایی منطقه. علائم مشابه شکل ۳.



**کتابخانه**

- آقباتی، ع.، ۱۳۸۳- زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲ برقی، ق.، ۱۳۸۴- بررسی پتروگرافی و ژئوشیمی ولکانیک های شمال اردبیل، رساله دکتری، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۷۳ صفحه.
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۲- نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ جواهرده، بهار فیروزی، شفیع، اژدری، کریمی و پیروز. شماره نقشه: ۶۰۶۳. کارتوگرافی: حدادان سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی، وزارت صنایع و معادن، ۱۳۸۳- نقشه ۱:۱۰۰،۰۰۰ لنگرود، رحمتی و موسوی. شماره نقشه: ۶۰۶۴. کارتوگرافی: حدادان. صلواتی، م.، ۱۳۸۰- بررسی زمین شناسی و پتروژنز سنگ های ماگمایی منطقه جنوب املش، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران. دانشکده علوم، ۱۵۹ صفحه.
- صلواتی، م.، ۱۳۸۷- پتروژئولوژی و ژئوشیمی مجموعه افیولیتی شرق گیلان، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، ۲۴۱ صفحه.
- کنعانیان، ع.، صلواتی، م.، اسماعیلی، د.، آسیابانها، ع.، ۱۳۸۳- شیمی- کانی شناسی کلینوپیروکسن در سنگ های آذرین منطقه املش (شمال ایران). مجله علوم دانشگاه تهران، ۲ صفحات ۲۴۵-۲۲۹.
- درویش زاده، ع.، ۱۳۷۱- زمین شناسی ایران، انتشارات ندا، ۹۰۱ صفحه.
- مر. ف. و مدبری، س.، ۱۳۸۰- راهنمای کانی شناسی، مرکز نشر دانشگاهی، ۴۲۰ صفحه.

**References**

- Abdel-Fattah, M., Abdel-Rahman, A. M. and Nassar, P. E., 2004- Cenozoic Volcanism in the Middle East: Petrogenesis of alkali basalts from northern Lebanon. *Geological Magazine*, Cambridge University Press 141: 545-563
- Aldanmaza, 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 67-95
- Anells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A., Davis, R.G., 1975- Explanatory text of the Qazvin and Rasht Quadrangle map, 1:250,000. *Geological survey of Iran*, E3 and E4, 94p
- Arvin, M., Robinson, P. T., 1994- The petrogenesis and tectonic setting of lavas from the Baft Ophiolitic Melange, southwest of Kerman, Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31, 824-834.
- Babaiea, H. A., Ghazia, A. M., Babaeib, A., La Toura T. E. and Hassanipak, A. A., 2001- Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros Crush Zone, Neyriz, Iran. *J. Asian Earth Sci.* 19: 61-76
- Bağci, U. & Parlak, O., 2007- Petrology of the Tekirova (Antalya) ophiolite (Southern Turkey): evidence for diverse magma generations and their tectonic implications during Neotethyan-subduction. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)*
- Beccaluva, L., Coltorta, M., Giuntab, G., Siena, F., 2004- Tethyan vs. Cordilleran ophiolites: a reappraisal of distinctive tectono-magmatic features of supra-subduction complex in relation to the suprasubduction mode. *Tectonophysics* 393, 163-174.
- Berberian, M., 1983- The southern Caspian: A compression floored by a trapped modified oceanic crust. *Canadian Earth Science* 20, 163-183
- Boztug, D., Ercin, A. I., Kurucelik, M. K., Goc, D., Komur, I., Iskenderoglu, A., 2007- Geochemical characteristics of the composite Kackar batholith generated in a Neo-Tethyan convergence system, Eastern Pontides, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 286-302
- Cabanis, M., Lecolle, M., 1989- Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8 : un outil pour la discrimination des séries volcaniques et la mise en évidence des processus de mélange et/ou de contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. II* 309, 2023-2029
- Dehghani, G. A., Markis, J., 1983- The gravity field and structure of Iran, in *Geodynamic project (geotravers) in Iran*. G. S. Report No. 51, 51-68.
- Dilek, Y., Delaloye, M., 1992- Structure of the Kizildag ophiolite, a slowspread Cretaceous ridge segment north of the Arabian promontory. *Geology* 20, 19-22.
- Dupuis, C., Hebert, R., Dubois-Cote, V., Wang, C. S., Li, Y. L., Li, Z. J., 2005- Petrology and geochemistry of mafic rocks from mélange and flysch units adjacent to the Yarlung Zangbo Suture Zone, southern Tibet. *Chemical Geology* 214, 287-308
- Elliott, T., Blichert-Toft, J., Heumann, A., Koetsier, G., Forjaz, V., 2007- The origin of enriched mantle beneath Sao Miguel, Azores. *Geochim. Cosmochim. Acta* 71, 219-240.
- Frey, F. A., Clague, D., Mahoney, J. J. and Sinton, J. M., 2000- Volcanism at the edge of the Hawaiian plume: petrogenesis of submarine alkalic lavas from the North Arch Volcanic Field. *Journal of Petrology*. 41: 667-91.
- Galoyan, G., Rolland, Y., Sosson, M., Corsini, M., Melkonyan, R., 2007- Evidence for superposed MORB, oceanic plateau and volcanic arc series in the Lesser Caucasus (Stepanavan, Armenia). *C. R. Geoscience* 339, 482-492
- Ghazi, A. M., Pessagno, E. A., Hassanipak, A. A., Kariminia, S. M., Duncan, R. A. and Babaie, H. A., 2003- Biostratigraphic zonation and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar ages for the Neotethyan Khoy ophiolite of NW Iran. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 193: 311-323
- Ghazi, A. M., Hassanipak, A. A., Mahoney, J. J. and Duncan, R. A., 2004- Geochemical characteristics, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar ages and original tectonic setting of the Band-e-Zeyarat/Dar Anar ophiolite, Makran accretionary prism, S.E. Iran. *Tectonophysics*. 393: 175-196
- Gibson, S. A., Thompson, R. N., Weska, R. K., Dickin, A. P. and Leonardos, O. H., 1997- Late Cretaceous rift-related upwelling and melting of the Trindade starting mantle plume head beneath western Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 126: 303-14.
- Hart, W. K., WoldeGabriele, G., Walter, R. C. and Mertzman, S. A., 1989- Basaltic volcanism in Ethiopia: constraints on continental rifting and mantle interactions. *Journal of Geophysical Research*. 94: 7731-48.
- Hassanipak, A. A. and Ghazi, A. M., 2000- Petrology, geochemistry and tectonic setting of the Khoy ophiolite, northwest Iran: implications for Tethyan tectonics. *J. Asian Earth Sci.* 18: 109-121
- Hoernle, K. and Schmincke, H. U., 1993- The role of partial melting in the 15-Ma geochemical evolution of Gran Canaria: a blob model for the Canary hotspot. *Journal of Petrology*. 34: 599-626.
- Hofmann, A. W., 1988- Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters* 90, 297-314.
- Irvin, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.

- Juteau, T. & Maury, R., 2003- The Oceanic Crust, from accretion to mantle recycling. Springer. 390p.
- Keskin, M., Can Genç, S., Tüysüz, O., 2008- Petrology and geochemistry of post-collisional Middle Eocene volcanic units in North-Central Turkey: Evidence for magma generation by slab reactivation following the closure of the Northern Neotethys Ocean. *Lithos*.
- Kretz, R., 1983- Symbols for rock forming minerals. *American Mineralogist*, 68, 277-279.
- Latin, D. M., Dixon, J. E. and Fitton, J. G., 1990- Rift-related magmatism in the North Sea basin. In: Blundell, D.J. and Gibbs, D.J. (Eds.) *Tectonic evolution of the North Sea Rifts*, Oxford, UK: Oxford Science Publications, Clarendon Press, pp. 102-44.
- Lippard, S. J., Shelton, A. W. and Gass, I. G., 1986- The ophiolites of northern Oman. *Geol. Soc. London Mem.*, v. 11, p.178.
- Malpas, J., Xenophontos, C. and Williams, D., 1992- The Aiyia Varvara Formation of S.W. Cyprus: a product of complex collisional tectonics. *Tectonophysics*, v. 212, pp. 193-211.
- McKenzie, D. P. & O'Nions, R. K., 1991- Partial melt distribution from inversion of rare earth element concentrations. *J. Petrol.* 32, 1021±1991.
- Mehrab Khan, Kerr, A. C., Mahmood, K h., 2008- Formation and tectonic evolution of the Cretaceous–Jurassic Muslim Bagh ophiolitic complex, Pakistan: Implications for the composite tectonic setting of ophiolites. *Journal of Asian Earth Sciences*, 31, 112-127
- Moazzen, M., Modjarrad, M. and Zarrinkoub, M. H., 2006- Mineral chemistry, petrogenesis and P–T conditions of formation of harzburgitic peridotites from south of Birjand, Eastern Iran. *J. Asian Earth Sci.* xx: 1–11
- Moghazi, A. M., 2003- Geochemistry of a Tertiary continental basalt suite, Red Sea coastal plain, Egypt: petrogenesis and characteristics of the mantle source region. *Geological Magazine*. 140 (1): 11-21.
- Mullen, E. D., 1983- MnO/TiO<sub>2</sub>/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environment and its implication for petrogenesis. *Earth and Planetary Science Letters* 62, 53–62.
- Nicholson, K. N., Black, P. M., Picard, C., 2000- Geochemistry and Tectonic significance of Tangihua ophiolite complex, New Zealand. *Tectonophysics*, 321, 1-5.
- Pankhurst, R. J., 1977- Open system fractionation and incompatible element variations in basalts. *Nature* , 268: 36-38.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*, Shiva. Cheshire, UK, pp. 230-249.
- Pearce, J. A., Cann, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planetary Science Letters* 19, 290–300.
- Prytulak, J., Elliott, T., 2007- TiO<sub>2</sub> enrichment in ocean island basalts. *Earth and Planetary Science Letters* 263 , 388–403
- Rahgoshay, M., Shafaii Moghadam, H. and Pirasteh, S., 2007- The distinctive trace elements signature of the less-evolved MORB materials in the south of Birjand ophiolites. *Iranian J. crystall. mineral.* 1: 219-230.
- Rollinson, H., 1993- Using geochemical data: evolution, presentation, interpretation
- Shahabpour, J., 2005- Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. *J. Asian Earth Sci.* 24: 405–417
- Shamim Khan, M., Smith, T. E., Raza, M., Huang, J., 2005- Geology, Geochemistry and Tectonic Significance of Maficultramafic Rocks of Mesoproterozoic Phulad Ophiolite Suite of South Delhi Fold Belt, NW Indian Shield. *Gondwana Research*, 8, 553-566.
- Shervais, J. W., 1982- Ti–V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 101–118.
- Shojaat, B., Hassanipaka, A. A., Mobasher, K., Ghazi, A. M., 2003- Petrology, geochemistry and tectonics of the Sabzevar ophiolite, North Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21, 1053–1067.
- Smedley, P. L., 1988- The geochemistry of Dinantian volcanism in south Kintyre and the evidence for provincialism in the Southern Scottish mantle. *Contribution mineralogy and petrology*, 99: 374-384.
- Stampfli, G. M., Borel, G. D., 2001- A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. *Earth Planet. Sci. Lett.* 196, 17–33.
- Stocklin, J., 1968- Structural History and Tectonics of Iran: a Review. *The American association of petroleum geologists bulletin.* 52, 1229- 1258
- Sun, 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 Oceans Basins*. Geological Society of London Special Publication , 313–345.
- Tankut, A., Dile, Y., önen, P., 1998- Petrology and geochemistry of the Neo-Tethyan volcanism as revealed in the Ankara melange, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85. 265–284.
- Taylor, S. R., McLennan, S., 1995- The geochemical composition of the continental crust. *Reviews of Geophysics* 33, 241–265.
- Thompson, M. G., Malpas, J. and Smith, I. E. M., 1997- The geochemistry of tholeiitic and alkalic plutonic suites within Northland ophiolite, northern New Zealand: magmatism in a back arc basin. *Chem. Geol.*, 142, 213-239.
- Upadhyay, D., Jahn-Awe, S., Pin, C., Paquette, J. L., Braun, I., 2006- Neoproterozoic alkaline magmatism at Sivamalai, southern India. *Gondwana Research* 10, 156-166.
- Weaver, B. L., 1991- The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints. *Earth and Planetary Science Letters*. 104: 381-97.
- Weaver, B. L., Wood, D. A., Tarney, J. and Joron, J. L., 1987- Geochemistry of oceanic island basalts from the South Atlantic: Ascension, Bouvet, St. Helena, Gough and Tristan da Cunha. *Geological Society of London.* 30: 253-267.
- Wilson, G., 1989- A systematic revision of the deep-sea subfamily Lipomerinae of the isopod crustacean family Munnopsidae. *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography* 27:1-138
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., 1977- Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology* 20, 325–342.
- Xia, B., Chen, G., Wang, R., Wang, Q., 2008- Seamount volcanism associated with the Xigaze ophiolite, Southern Tibet. *Journal of Asian Earth Science*.
- Yan, J., Zhao, J. X., 2008- Cenozoic alkali basalts from Jingpohu, NE China: The role of lithosphere asthenosphere interaction. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33, 106-121.
- Zhao, J. X., Shiraishi, K., Ellis, D. J., Sheraton, J. W., 1995- Geochemical and isotopic studies of syenites from the Yamato Mountains, east Antarctica: implications for the origin of syenite magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1363–1382.

## Structural Style of High Zagros Zone Based on Thrust Fault System in Southeast Kermanshah

R. Elyaszadeh<sup>1</sup> & M. Mohajjel<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Basic Science, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

Received: 2008 December 27

Accepted: 2009 July 27

### Abstract

The High Zagros zone in southeast Kermanshah is bordered between two Radiolarite and Zagros Fold Belt and consist of abundant NW-SE trending thrust faults and folds sub-parallel to Zagros fold belt. Several structural cross-sections were prepared in NE-SW direction perpendicular to the trend of the structures. Main thrusts were cut by some local strike-slip faults due to difference in their displacement. The Kohsefid thrust fault (FA) is one of the main thrusts that divide the northern Radiolarite zone from the High Zagros Zone. This fault is limiting the southern boundary of the Radiolarite zone. It displaced as a reverse fault during contraction tectonic in Late Cretaceous. The flysh facies of Amiran formation in Zagros Fold Belt with Paleocene age contain radiolarite fragments and confirms this event. It seems that the Garo Formation plays a detachment surface role for these thrusts in the High Zagros zone. The foreland in Zagros, commenced to deform by thrusting and folding in Late Cretaceous in the High Zagros zone and by later collision of the Arabian plate with the Iranian plate, rock units in the Zagros Fold Belt were deformed.

**Keywords:** High Zagros, Kohsefid fault, Kermanshah, Structural style, Detachment

For Persian Version see pages 61 to 68

\* Corresponding author: M.Mohajjel; E-mail: Mohajjel@tmu.ac.ir

## Petrogenesis of Southern Amlash Alkaline Rocks in the South Caspian Sea, North of Iran

F. Zaeimnia<sup>1</sup>, A. Kananian<sup>1\*</sup> & M. Salavaty<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Geology, College of Science, Tehran University, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Geology, Islamic Azad University, Lahijan Branch, Lahijan, Iran

Received: 2008 August 25

Accepted: 2009 August 10

### Abstract

South Amlash alkaline rocks, located in south of Caspian Sea, occur like small and discrete bodies within the Cretaceous igneous rock association which is a small part of Gorgan-Rasht tectonic zone. These rocks crop out as large-volume pillow lavas and homogeneous fine- to coarse- grained gabbros and are essentially composed of Clinopyroxene (augite), plagioclase and relatively abundant small apatite needles. Geochemical data clearly identifies an enrichment of LREE and positive anomalies of Nb and Ti suggesting an intra-plate ocean island (OIB) tectonic setting. Considering the LREE/HREE ratio and some of other incompatible element contents, it seems that the alkaline rocks are probably derived from a garnet lehrzolit mantle.

**Keywords:** Alkaline Rocks, Ocean Island, Garnet Lehrzolit, Amlash, Caspian Sea

For Persian Version see pages 69 to 78

\* Corresponding author: A. Kananian; E-mail: kananian@khayam.ut.ac.ir