

## ژئوشیمی، سنگ‌شناسی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازی قلیابی در قاعده‌ی سازند شمشک، زون البرز شرقی

حبيب‌الله قاسمی\*، خدیجه جمشیدی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

(دریافت مقاله: ۸۹/۵/۲۶، نسخه نهایی: ۸۹/۱۰/۲۷)

**چکیده:** در برخی از نواحی زون البرز، در قاعده‌ی سازند شمشک، یک سری گدازه‌ی بازالتی گزارش شده است. بررسی دقیق برونزدهای زمین‌شناسی این سنگ‌ها در نواحی مختلف البرز شرقی نشان می‌دهد که رخداد این سنگ‌ها در اغلب مناطق اطراف شاهرود (قشلاق در خوش‌بیلاق) و دامغان (ظرره، تالو و کلاته رودبار) از نوع نفوذی و به شکل سیل، دایک و استوک‌های کوچک و در برخی مناطق دامغان (چشم‌علی و تویه‌دروار) و سمنان (شهمیرزاد) به صورت روانه بازالتی است. حضور آپاتیت، اسفن‌های اولیه و ثانویه و فلوگوپیت در نمونه‌های این مناطق، بیانگر بالا بودن میزان P و Ti و سرشت قلیابی ماقمای سازنده‌ی این سنگ‌هاست. نمودارهای تعیین سری ماقمایی و تکتونوماگمایی نیز، سرشت قلیابی و جایگاه درون ورقه‌ی قاره‌ای این سنگ‌های بازی را تأیید می‌کنند. نمودارهای چند عنصری بهنجار شده به کندریت و گوشه‌ی اولیه، غنی‌شدگی از LREE و عناصر شدیداً ناسازگار و تهی‌شدگی از HREE را نشان می‌دهند. روند موازی طرح‌های تغییرات عناصر نادر خاکی نمونه‌ها، بیهنجاری مثبت سرب همراه با طرح‌های موجود در نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار و سازگار نسبت به یکدیگر، بیانگر خاستگاه واحد و نقش تبلور تفریقی همراه با هضم و آلایش پوسته‌ای، در شکل گیری ماقمای سازنده این سنگ‌هاست. بررسی‌های ژئوشیمیایی نشان می‌دهند که این ماقمای قلیابی، از ذوب بخشی با درجه‌ی پایین (۱۰–۱۵٪) یک گوشه‌ی گارنت‌لرزولیتی غنی شده زیر لیتوسفر قاره‌ای، در یک محیط کششی درون ورقه‌ی قاره‌ای تشکیل شده است. این محیط، از نوع حوضه‌های کششی پشت کمان اولیه، در حاشیه‌ی قاره‌ای غیر فعال البرز در طول تریاس پایانی – ژوراسیک آغازین بوده است.

**واژه‌های کلیدی:** ژئوشیمی؛ سنگ‌شناسی؛ سنگ‌های بازی؛ شمشک؛ البرز.

مناطق مختلف ایران از جمله البرز شد [۲، ۱]. تغییرات رخساره‌ای حاصل از این برخورد، منجر به تشکیل حوضه‌های رسوبی از نوع مخروطافکنهای رودخانه‌ای و دشت سیلانی، محیط‌های مردابی و سکوی قاره‌ای تا دریایی عمیق، و رسوبگذاری سیلیکات‌های آواری ریز تا درشت‌دانه همراه با آهک‌های آمونیت‌دار تحت عنوان سازند شمشک با ضخامت

**مقدمه**  
رخداد فشارشی سیمیرین پیشین در تریاس میانی-پایانی که با برخورد حاشیه‌ی غیر فعال البرز با حاشیه‌ی فعل توران و بسته شدن کامل حوضه‌ی اقیانوسی پالئوتیس همراه بوده است، باعث ضخیم‌شدگی پوسته، ایجاد گسل‌های رورانده، بالآمدگی-های عمومی و تغییرات رخساره‌ای قابل توجه در

پردازش و مورد بررسی قرار گرفتند.

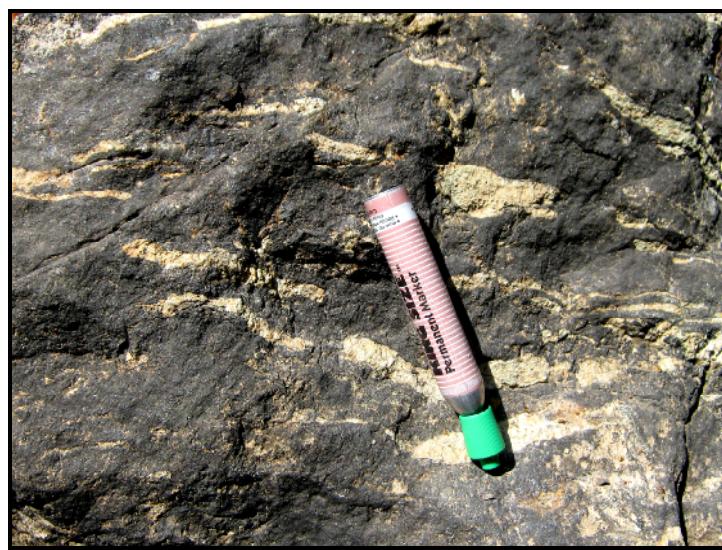
### زمین‌شناسی

مناطق مورد بررسی در این پژوهش، در تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری - رسوی ایران، در زون البرز شرقی قرار دارند. توده‌ی آذربین موجود در منطقه‌ی قشلاق (گردنه‌ی خوش‌بیلاق در شمال شاهروود) با مختصات جغرافیایی<sup>۱</sup> ۵۵° ۵۵' شرقی و ۳۶° ۵۸' شمالی، یک سیل جدایشی، با ضخامتی در حدود ۱۰۰ متر است که از پایین به بالا، ترکیب آن از الیوین گابرو تا مونزونیت تغییر می‌کند. این سیل به موازات شیل و ماسه-سنگ‌های بخش قاعده‌ای سازند شمشک بروندید یافته است. ماقمای ایجاد کننده‌ی این سیل، ظاهراً در راستای یک زون گسلی که سنگ‌های آهکی و دولومیتی ژیپس‌دار سازندهای پادها و بازالت‌های سلطان میدان را نیز بالا آورده و به صورت نابرجا در کنار واحدهای تخریبی سازند شمشک قرار داده است، بالا آمده و سپس در راستای لایه‌بندی لایه‌های شیلی- ماسه-سنگی سازند شمشک به صورت سیل ادامه یافته است (شکل ۱). آثار دگرگونی گرمایی ناشی از دمای این سیل، به صورت بروز پختگی در واحدهای رسوی سازند شمشک و واحدهای آهکی - دولومیتی سازند پادها بخوبی مشهود است. نفوذ این سیل در واحدهای کربناتی سازند پادها، سبب ایجاد اسکارن‌زایی (گارنت- ولستونیت- منیتیت اسکارن) شده است (شکل ۲).

چند متر تا چند هزار متر روی سکوی کربناتی تریاس آغازین - میانی (سازند الیکا) شده است. در منطقه‌ی طزره، بخش بالایی این سازند به ضخامت ۱۶۰۰ متر، کاملاً دریایی و حاوی مجموعه‌ی جانوری از نوع آمونیت در چند افق است<sup>[۳]</sup>. سازند شمشک در بخش‌های مختلف زون البرز، از گسترش زیادی برخوردار است و در بخش قاعده‌ی آن، سنگ‌های آذربین بازی به صورت پراکنده قابل مشاهده‌اند. زمین‌شناسان مختلفی<sup>[۴-۸]</sup>، سنگ‌های آذربین بازی قاعده‌ی سازند شمشک را از نوع گدازه‌های بازالتی فرسوده و به نام سازند جابان گزارش کرده‌اند<sup>[۹]</sup>. اولین بار<sup>[۱۰-۱۱]</sup>، با شواهد مستند صحرایی و سنگ‌شناسی، اغلب این سنگ‌ها را از نوع نفوذی تشخیص داده‌اند. سنگ‌های آذربین بازی مورد بحث در این پژوهش، در قاعده‌ی درون بخش قاعده‌ای سازند شمشک و به شکل‌های مختلف از جمله سیل، دایک و استوک‌های کوچک در مناطق قشلاق، طزره، تالو و کلاته‌رودبار و یا به صورت گدازه‌ی بازالتی در مناطق چشم‌علی، توبه‌دروار و شهمیرزاد حضور دارند<sup>[۱۲]</sup>. به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌شناختی و روند شکل‌گیری ماقمای سازندی سنگ‌های آذربین مورد بحث، تعداد ۱۹ نمونه سنگی کمتر دگرسان شده از نواحی مختلف بروند آن‌ها، انتخاب و برای تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی در آزمایشگاه ژئوشیمی ACME کانادا به روش ICP-MS تجزیه شدند و نتایج حاصل با نرم‌افزارهای مختلف



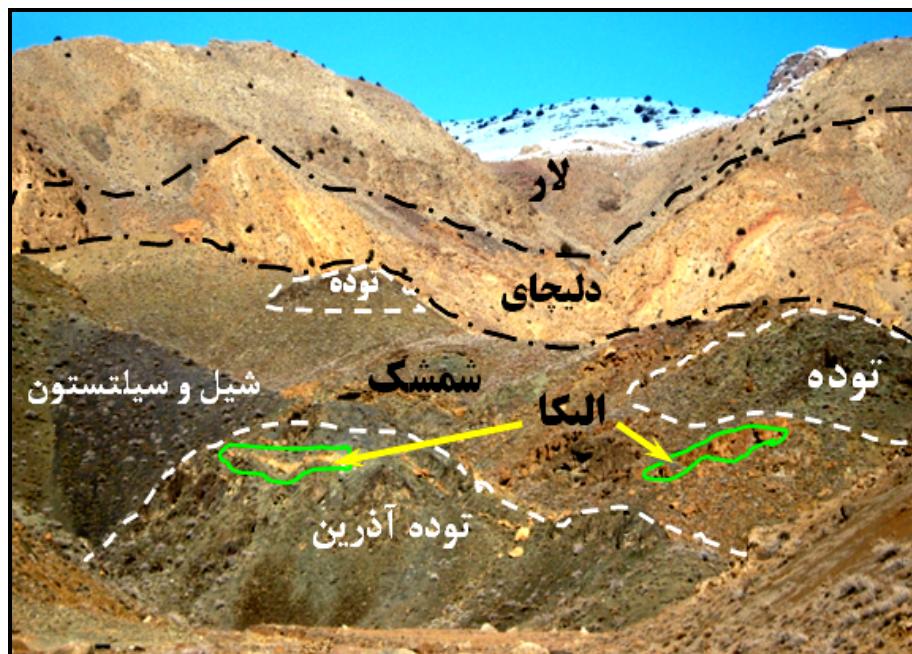
شکل ۱ تصویری از توده‌ی آذربین قشلاق و ارتباط آن با واحدهای سنگی منطقه (نگاه به سمت جنوب).



شکل ۲ ولاستونیت - منیتیت اسکارن در سنگ‌های کربناتی سازند پادها در مجاورت توده‌ی آذرین قشلاق.

شدن و اسکارن‌زایی (منیتیت - ولاستونیت اسکارن) است. در مناطق طزره در شمال دامغان به مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 56'$  شرقی و $24^{\circ} 36'$  شمالی و کلاته رودبار در شمال غربی دامغان به مختصات جغرافیایی $54^{\circ} 08'$  شرقی و $21^{\circ} 36'$  شمالی، این سنگ‌ها به‌شکل سیل دیابازی بهموازات طبقه‌های تخریبی بخش قاعده‌ای سازند شمشک نفوذ کرده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵).

سنگ‌های آذرین مورد بررسی در منطقه‌ی تالو (شمال دامغان)، در مختصات جغرافیایی $26^{\circ} 54'$  شرقی و $1^{\circ} 36'$  شمالی، به‌صورت استوک، دایک و گاهی سیل جدایش یافته‌ی اولیوین‌گابرویی تا دیوریتی در قاعده‌ی سازند شمشک حضور دارد (شکل ۳). آثار دگرگونی گرمایی ناشی از نفوذ مagma، در واحدهای رسوبی سازند شمشک به‌صورت تبلور دوباره‌ی ماسه‌سنگ‌ها، ولی در سازند آهکی-دولومیتی الیکا به شکل مرمری



شکل ۳ بروند توده‌ی نفوذی تالو به صورت پراکنده و استوکمانند در واحدهای تخریبی بخش قاعده‌ای سازند شمشک (نگاه به‌سمت شمال شرق).



شکل ۴ نمایی از سیل دیابازی منطقه‌ی طزره که به موازات طبقات شیلی سازند شمشک بروند یافته است (نگاه به سمت شمال).



شکل ۵ تصویری از نفوذ توده آذرین کلاته رودبار درون بخش قاعده‌ای سازند شمشک (نگاه به سمت شمال).

گابرو، دیوریت تا مونزونیت را تشکیل می‌دهند و از لحاظ سرنشت سنگ‌شناسی شباهت زیادی با این سنگ‌ها در منطقه‌ی تالو دارند. حضور اسفن، فلوگوبیت و آپاتیت به خصوص در ترکیب‌های گابرو/دیوریتی و دیوریتی، بیانگر بالا بودن میزان Ti و P و ماهیت ماغمای قلیایی سازنده آن‌هاست. نمونه‌های دیابازی منطقه‌ی طزره دارای بافت افیتیک و حاوی درشت بلورهای پلاژیوکلاز و اوژیت هستند. آثار کانه‌زایی اولیه‌یست به صورت بلورهای تیغه‌ای شکل در نمونه‌های گابرویی و دیوریتی مناطق قشلاق و کلاته رودبار مشاهده می‌شود. نمونه‌های بازالتی مناطق چشممهعلی و تویه‌دروار دارای بافت‌های پوروفیری و گلومرپوروفیری و حاوی فنوکریست‌های الیوین و پلاژیوکلاز

برخلاف مناطق یادشده، در مناطق چشممهعلی، تویه‌دروار و شهرمیرزاد، این سنگ‌ها از نوع روانه‌های بازالتی هستند و روی افق‌های لاتریتی- بوکسیتی قرمز رنگ موجود در مرز بین سازنده‌های کربناتی الیکا و تخریبی شمشک مشاهده می‌شوند (شکل ۶). در این مناطق، حداقل دو روانه گدازه دیده می‌شوند که در زیر و روی آن‌ها، افق‌های لاتریتی- بوکسیتی قرمز رنگ، حاوی گلوله‌های آهنی و ناشی از هوازدگی همین روانه‌ها، قرار دارند.

#### سنگ نگاری

سنگ‌های آذرین موجود در قاعده‌ی سازند شمشک در منطقه‌ی قشلاق، یک رشته سنگ‌های جدایشی از الیوین گابرو،

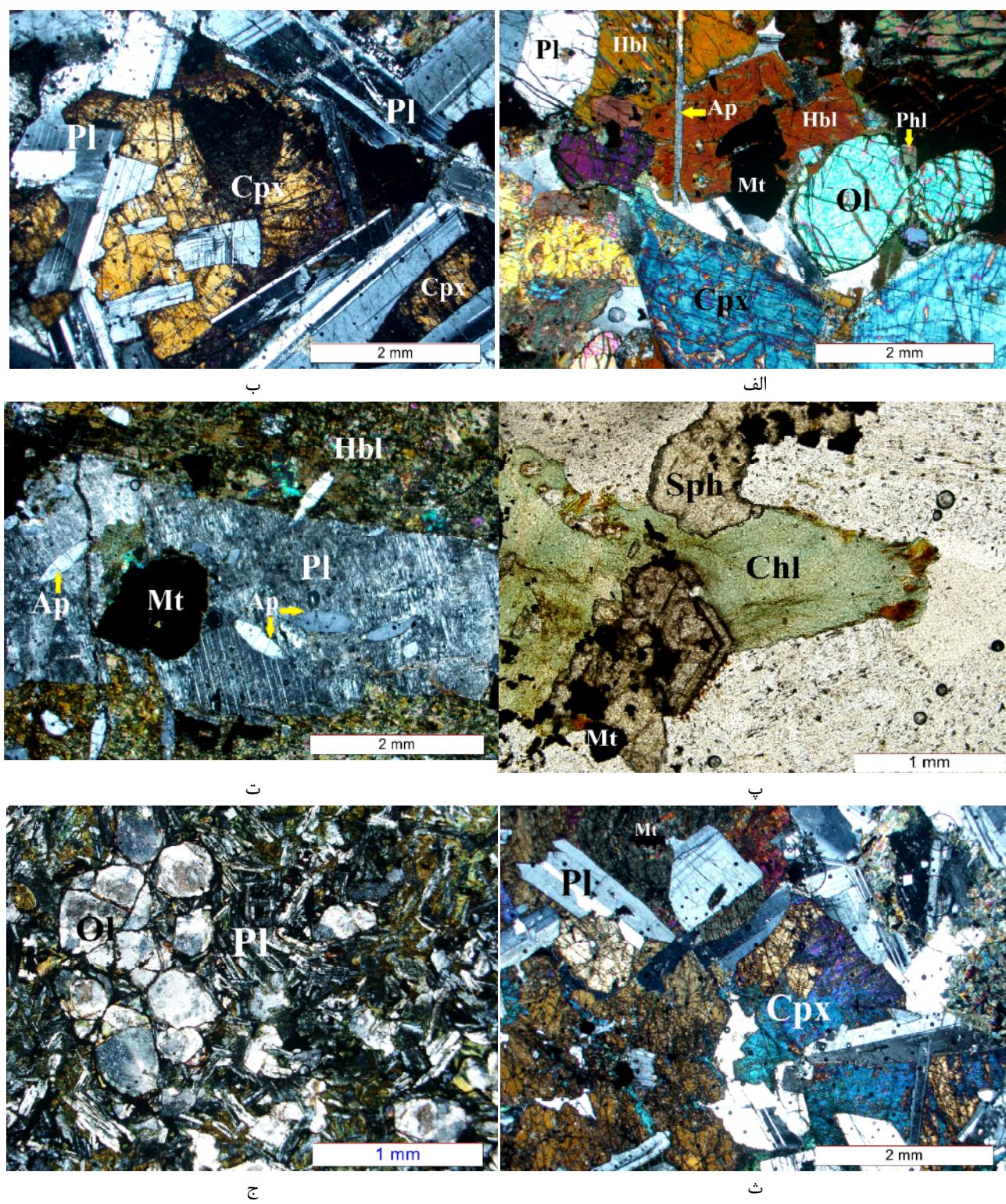
های میکروسکوپی بعضی از این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. هستند. در جدول ۱ خلاصه‌ای از ویژگی‌های سنگ‌نگاری سنگ-های مناطق مورد بررسی آورده شده است. شکل ۷ نیز ویژگی-



شکل ۶ حضور گدازه باالتی تیره رنگ بر روی افق بوكسيتی موجود در مرز سازندهای اليکا و شمشک در منطقه چشممهعلی (دید به سمت شمال).

جدول ۱ خلاصه‌ی سنگ‌نگاری سنگ‌های آذرین قاعده سازند شمشک.

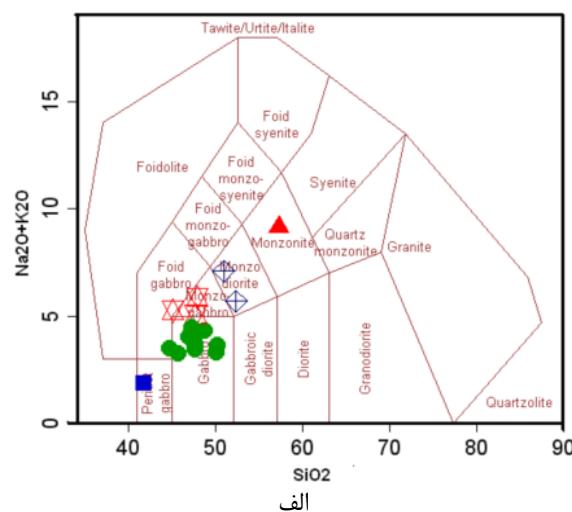
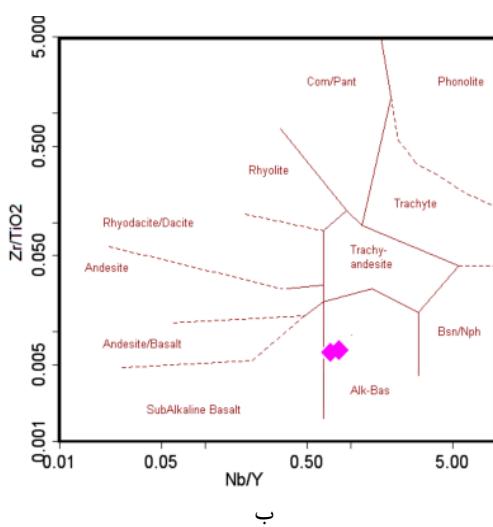
منطقه	نامگذاری بر مبنای سنگ‌نگاری	ویژگی‌های میکروسکوپی			ویژگی‌های ماکروسکوپی
		بافت	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی، عارضه‌ای و ثانویه	
قشلاق و تالو	الیوین گابرو	انباشتی، دانه‌ای	درشت‌بلورهای الیوین، پلازیوکلاز، پیروکسن	فلوگوبیت، آمفیبول منیتیت، آپاتیت، اپیدوت، اسفن کلریت، پرهنیت، کلسیت	هلوملانوکرات، سطح براق (بهدلیل حضور فلوگوبیت)
	گابرو	میان دانه‌ای، افیتیک	درشت‌بلورهای دگسان شده پلازیوکلاز، پیروکسن	هورنبلنده، بیوتیت، منیتیت اسکلتی و نردبانی، اسفن اولیه و ثانویه، اپیدوت، کلریت، پرهنیت	ملانوکرات تا مزوکرات
	دیوریت	دانه‌ای، ریز دانه‌ای	پلازیوکلاز، پیروکسن، هورنبلنده، بیوتیت، فلدسپات قلایابی	آپاتیت، اسفن، منیتیت، اپیدوت، سریسیت، کلسیت، کلریت	مزوکرات تا لوکوکرات، رنگ سبز مایل به رخاستری
	مونزونیت ( فقط در قشلاق)	دانه‌ای، پوئی کیلیتیک	پلازیوکلاز و فلدسپات آلکالن به مقدار تقریباً مساوی، هورنبلنده	آپاتیت، سریسیت	لوکوکرات
پیله	دیاباز	افیتیک	پلازیوکلاز، اوژیت	منیتیت، هماتیت، سریسیت، کلریت، کلسیت، اپیدوت	ملانوکرات
کلاته	گابرو	میان دانه‌ای	پلازیوکلاز، اوژیت، الیوین به مقدار خیلی کم	آپاتیت، اولیزیست، کلریت، اپیدوت	ملانوکرات
جنشمه‌ی و پودردار	الیوین بازالت	بورفیری، گلومروپورفیری، اینترسنتال	فنوکریستهای الیوین و پلازیوکلاز، کلینوبیروکسن به مقدار کم	منیتیت، اشکال کاذبی از کلریت و کلسیت در قالب الیوین، سریسیت	ملانوکرات، سبز تیره تا سیاه



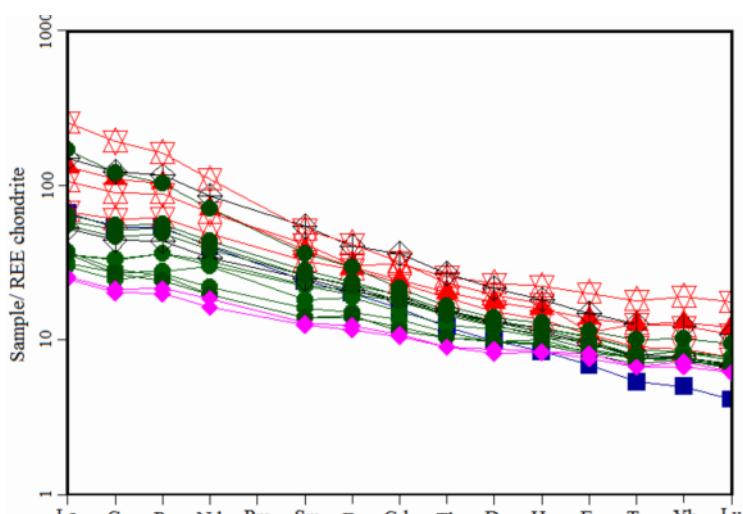
شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های آذرین مناطق مورد بررسی، الف- بافت انباشتی و کانی‌های اصلی و فرعی در الیوین گابروی منطقه‌ی قشلاق، ب- بافت افیتیک در گابروی قشلاق، پ- حضور اسفن اولیه، منیتیت و کلریت در گابروی تالو، ت- حضور آپاتیت بهصورت ادخال در پلازیوکلاز و هورنبلند در دیوریت قشلاق، ث- بافت افیتیک به همراه پلازیوکلاز و اوژیت در سیل دیابازی طزره، ج- بافت گلومروپورفیری، میکرولیت‌های پلازیوکلاز و انباشت موضعی بلورهای الیوین که قالب آن‌ها با کلسیت پر شده است در الیوین بازالت چشممهعلی. علامت اختصاری مورد استفاده در این شکل‌ها عبارتند از: الیوین = Ol، کلینوپیروکسن = Cpx، پلازیوکلاز = Pl، هورنبلند = Hbl، فلوگوپیت = Phl، اسفن = Sph، آپاتیت = Ap، منیتیت = Mt و کلریت = Chl.

باشد. تهی شدگی در K, U, Rb و Ba در این بازالتها را می-توان به فرسوده بودن آنها و تحرک این عناصر و خروج آنها طی دگرسانی نسبت داد. غنی شدگی از Pb به خصوص در ترکیب‌های گابرویی، می‌تواند به آلایش پوسته‌ای ماقما در خلال صعود وابسته باشد. خصوصاً می‌توان به واکنش ماقما با سنگ‌های کربناتی مسیر و میزبان (نظیر آهک‌های الیکا که غالباً حاوی کانسار سرب نیز هستند) و جایگزینی این عنصر در ساختار آمفیبول اشاره کرد. به علاوه، ناهنجاری‌های مثبت Pb و Ba، تهی شدگی نسبی از U و Th و نبود ناهنجاری منفی در عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) که از ویژگی معمول سنگ‌های بازی درون ورقه‌ای است [۱۷] در طرح نمودار عنکبوتی این سنگ‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۹-ب). تهی شدگی نسبی از HREE بیانگر حضور گارنت در محل خاستگاه و سرچشممه گرفتن ماقمای سازنده‌ی این سنگ‌ها از گستره‌ی پایداری گارنت در گوشه‌ه است. عدم وجود ناهنجاری Eu در نمونه‌ها به حضور معمول پلازیوکلаз در آنها وابسته است. الگوی موازی روند تغییرات عناصر کمیاب و کمیاب خاکی نمونه‌ها در طرح‌های نمودارهای عنکبوتی آنها، نشان‌دهنده‌ی خاستگاه مشترک نمونه‌ها و نقش بر جسته‌ی تبلور جدایشی در شکل گیری ماقمای سازنده آنهاست [۱۸, ۱۹].

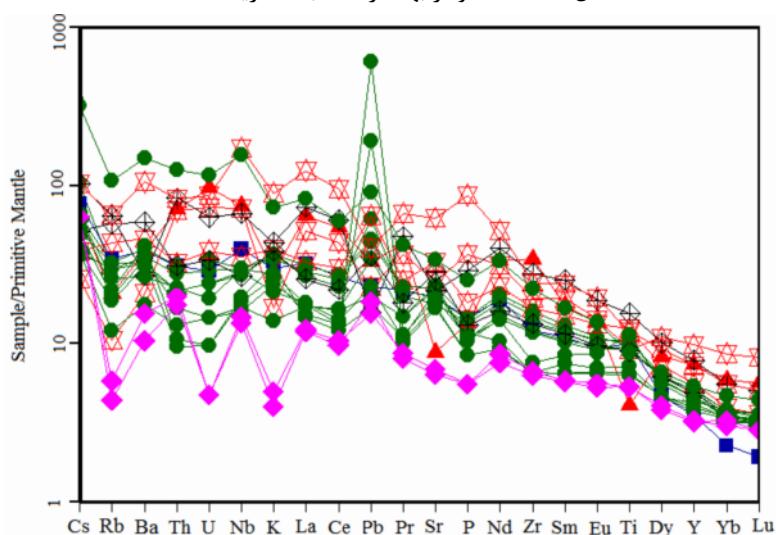
نمودارهای مجموع درصد وزنی  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$  نسبت به درصد وزنی  $\text{SiO}_2$  [۲۰] و  $\text{Zr}$  نسبت به  $\text{P}_2\text{O}_5$  [۲۱]، ماهیت مانگما قلیایی سازنده سنگهای مورد بحث را به اثبات می-رسانند (شکل ۱۰-الف و ب).



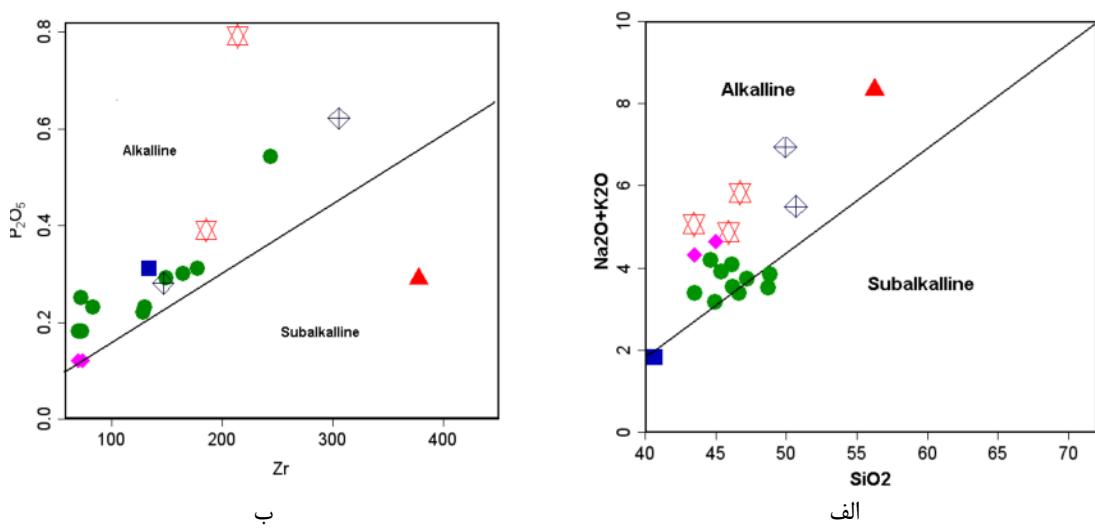
شکل ۸ موقعیت نمونه‌های مورد بررسی بر روی نمودارهای رده‌بندی سنگ‌های آذرین، الف- نمودار مجموع قلیایی نسبت به  $\text{SiO}_2$  [۱۳] برای نمونه‌های نفوذی ب- نمودار  $\text{Zr}/\text{TiO}_2$  نسبت به  $\text{Y}/\text{Nb}$  [۱۴] برای نمونه‌های خروجی. علامت به کار رفته در این نمودارها عبارتند از: ■ الیوین-گلبرو، ● گایپرو، ▲ مونزونگلبرو، ◆ دیبوریت، ♦ مونزونیت، ♠ بازالت.



شکل ۹ الف- نمودار بهنجار شده به کندریت [۱۵].



شکل ۹ ب- نمودار چند عنصری بهنجار شده به گوشه‌های اولیه [۱۶].

شکل ۱۰ نمودارهای تعیین سری ماقمایی الف- Zr / P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> و SiO<sub>2</sub> / Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O در برابر [۲۰] و [۲۱].

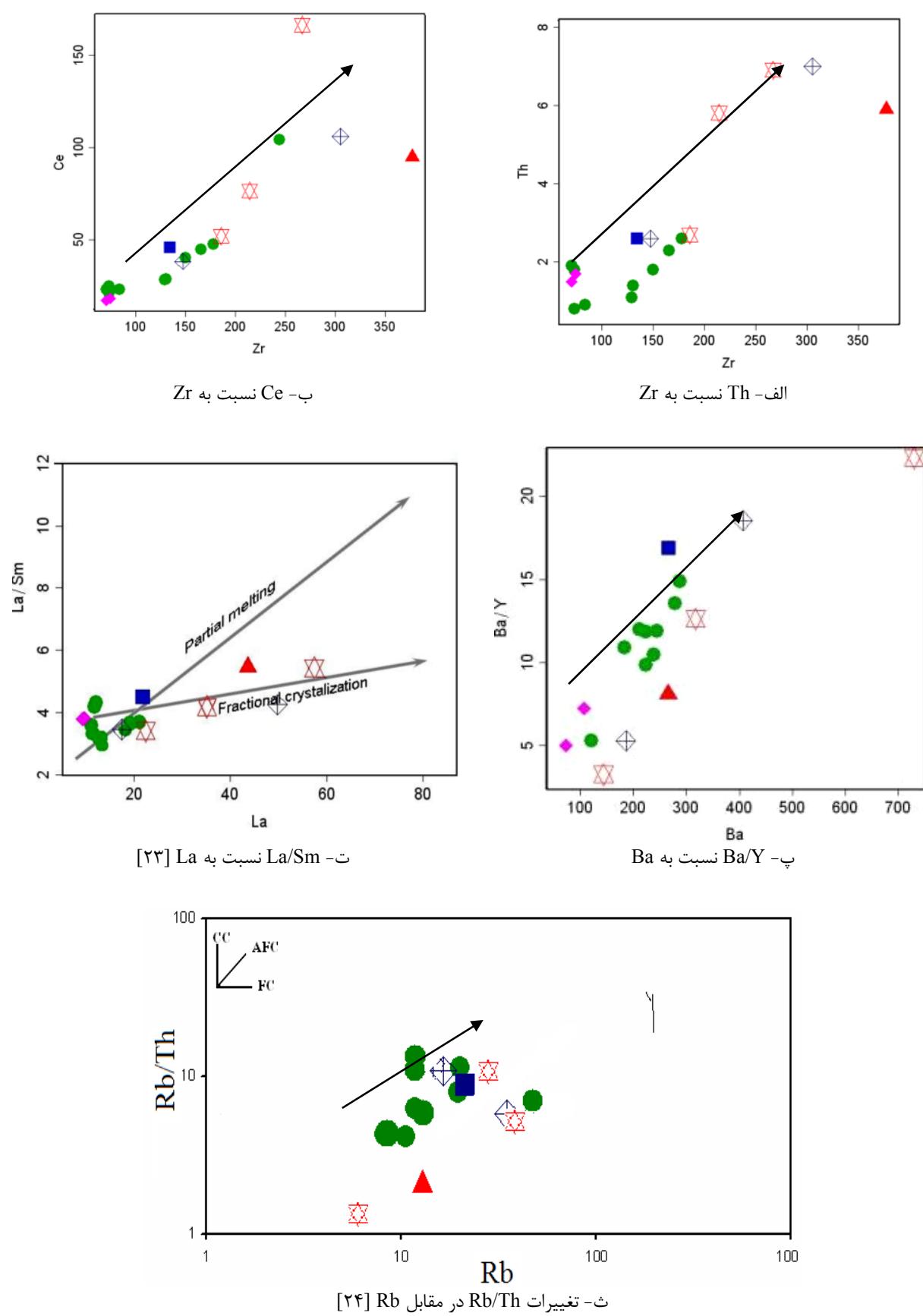
زمین ساختی و خاستگاه احتمالی تشکیل ماقمای سازنده این سنگ‌ها، از نمودارهای تمایز محیط زمین ساختی استفاده شده است. نمودار Y-Ti-Zr که توسط [۲۹] ارائه شده است، بازالت‌های درون ورقه‌ای را از دیگر انواع بازالت‌ها تمایز می‌کند. نمونه‌های گابرویی و بازالتی دارای ترکیب اولیه‌تر، روی این نمودار، در گستره‌ی بازالت‌های درون ورقه‌ای (میدان D) قرار می‌گیرند (شکل ۱۲-الف). بالا بودن نسبت Y/Ti در بازالت‌های درون ورقه‌ای در مقایسه با بازالت‌های دیگر، بیانگر یک خاستگاه گوشه‌ای غنی شده برای آن‌هاست. نمونه‌های مورد بررسی، در نمودارهای  $Y-2Nb/Zr$  [۳۰]، V نسبت به  $Ti/1000$  [۳۱] و  $Ti/Zr$  نسبت به [۳۲] در جایگاه درون ورقه قاره‌ای قرار می‌گیرد (شکل ۱۲-ب، پ و ت).

از ژئوشیمی عناصر کمیاب خاکی، به‌طور گستردگی برای تعیین ترکیب، درجهٔ ذوب و عمق خاستگاه گوشه‌ای ماقمای اولیه استفاده می‌شود [۳۳، ۱۹، ۳۴]. نمودار  $Dy/Yb$  نسبت به  $La/Yb$  [۳۵]، بیانگر تغییرات درجهٔ ذوب بخشنی در دو خاستگاه اسپینل پریدوتیتی و گارنت پریدوتیتی است.  $Yb$  از ضریب توزیع بالایی در گارنت برخوردار است، لذا پائین بودن مقادیر نسبی این عنصر در نمونه‌های مافیک مورد بررسی، می‌تواند شاهدی بر حضور گارنت در مکان خاستگاه ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها باشد. مقادیر نسبت‌های  $La/Yb$  و  $Dy/Yb$  با افزایش درجهٔ ذوب کاهش می‌یابند (شکل ۱۳). این امر به معنی کاهش میزان تمایل قلیایی سنگ‌ها نیز هست. محل قرارگیری نمونه‌های گابرویی مورد بررسی روی این نمودار، متعکس کننده مذاب‌های متداول با یک خاستگاه گارنت پریدوتیتی با درجهٔ ذوب ۱۲ تا ۱۵ درصدی است. ترکیب‌های بازالتی منطقه‌ی چشممه‌علی نیز با یک خاستگاه گارنت پریدوتیتی و درجهٔ ذوب بالاتر نسبت به نمونه‌های گابرویی، همخوانی دارند که با مقادیر پایین‌تر عناصر نادر خاکی آن‌ها (شکل ۹) نیز کاملاً سازگار است. این درجه‌های مختلف ذوب بخشی را می‌توان به میزان فعالیت کششی گسل‌های عمیق نرمال حوضه‌ی کافتهٔ منطقه ارتباط داد، به‌طوری که فعالیت بیشتر، منجر به بالآمدگی سریع‌تر، ذوب بیشتر و قلیایی شدن کمتر، و برعکس، فعالیت کمتر، منجر به بالآمدگی کندر، درجهٔ ذوب بخشی پایین‌تر خاستگاه گوشه‌ای، و قلیایی شدن بیشتر شده است.

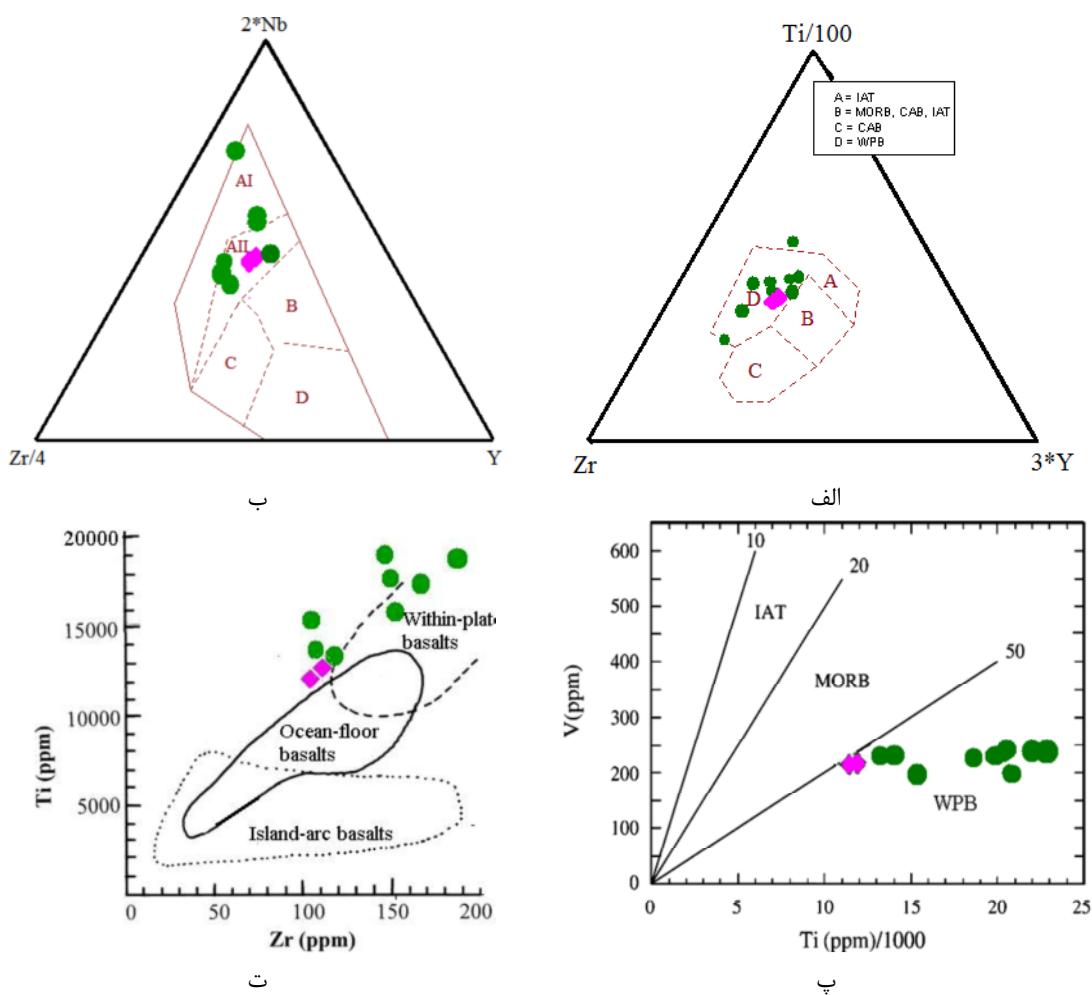
## بحث و بررسی

نتایج حاصل از بررسی ویژگی‌های صحرایی، سنگ نگاری و ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین مناطق مورد بررسی، نشان دهندهٔ حضور یک رشته سنگ‌های جدایشی از الیوین‌گابرو تا مونزونیت در منطقه قشلاق، و از الیوین‌گابرو تا دیوریت در منطقه‌ی تالو و سنگ‌هایی با ترکیب گابرو و گابرو‌دیوریت در مناطق طزره و کلاته روبار در قاعده سازنده شمشک است. سنگ‌های آذرین منطقه‌ی چشممه‌علی نیز دارای ترکیب الیوین‌بازالتی بوده و به صورت گدازه در قاعده‌ی سازنده مشاهده می‌شوند. براساس شواهد چینه‌شناسی و بررسی‌های صحرایی، تمامی سنگ‌های مورد بررسی دارای سنی در گستره‌ی تریاس پایانی - ژوراسیک آغازین هستند و شاهدی مبنی بر نفوذ این سنگ‌ها در واحدهای جوان‌تر از ژوراسیک آغازین دیده نشده است. براساس نمودارهای تغییرات شیمیایی، مهم‌ترین عامل درگیر در شکل گیری ماقمایی نمونه‌ها، از ترکیب‌های مافیک به سمت ترکیب‌های فلزیک، در مناطق قشلاق و تالو، فرایند تبلور جدایشی بوده است. همچنین، روند خطی و مثبت مشاهده شده در نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار در مقابل یکدیگر (نظیر Ce و Th در برابر Zr، در شکل ۱۱-الف و ب) بیانگر نقش تبلور جدایشی در شکل گیری ماگمای بازی سنگ‌های مورد بررسی است [۲۲]. در نمودار  $Rb/Th$  و  $Ba/Y$  [۲۳] نسبت به  $La/Sm$  نسبت به Rb [۲۴]، روندهای خطی با شبیه مثبت، نشان دهندهٔ نقش فرایند تبلور جدایشی همراه با کمی هضم و آلاش (AFC) در شکل گیری ماقمایی سنگ‌های قلیایی مورد بررسی است (شکل ۱۱-پ تا ث).

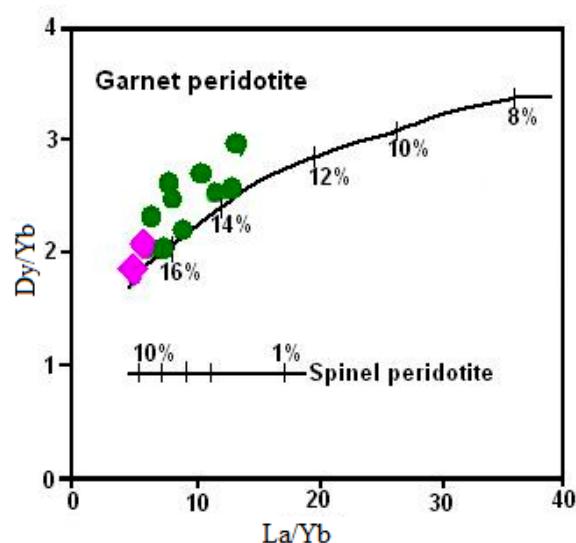
سنگ‌های قلیایی می‌توانند در همهٔ محیط‌های زمین‌ساختی جز پشت‌های میان اقیانوسی، تشکیل شوند [۲۵]. این سنگ‌ها معمولاً در محیط‌های کششی نظیر نقاط داغ درون ورقه‌ای و در مراحل آغازین کافت‌زایی درون قاره‌ای، از ذوب درجه‌ی پایین گوشه‌ی زیر لیتوسفر قاره‌ای (SCLM) تشکیل می‌شوند [۲۶، ۲۷]. سنگ‌های قلیایی قاره‌ای در مقایسه با ترکیب‌های مورب، دارای غنی‌شدگی از LREE، MREE و HFSE و تهی‌شدگی از HREE هستند [۲۸]. این ویژگی‌ها در نمونه‌های مورد بررسی دیده می‌شوند (شکل ۹-الف و ب) و در نتیجه، طبیعت قلیایی درون قاره‌ای سنگ‌های مورد بررسی را به اثبات می‌رسانند. به‌منظور تشخیص جایگاه



شکل ۱۱ نمودارهای تغییرات عناصر ناسازگار نسبت به یکدیگر برای نمونههای مورد بررسی.



شکل ۱۲ نمودارهای جدایش محیط زمین ساختی برای نمونه‌های بازی مورد بررسی. الف- نمودار  $\text{Ti-Zr-Y}$  [۲۹]، ب- نمودار  $\text{Y-Zr-Nb}$  [۳۰]، پ- نمودار  $\text{V-Ti/1000}$  [۳۱] و ت- نمودار  $\text{Zr-Ti}$  نسبت به  $\text{Ti/1000}$  [۳۲].

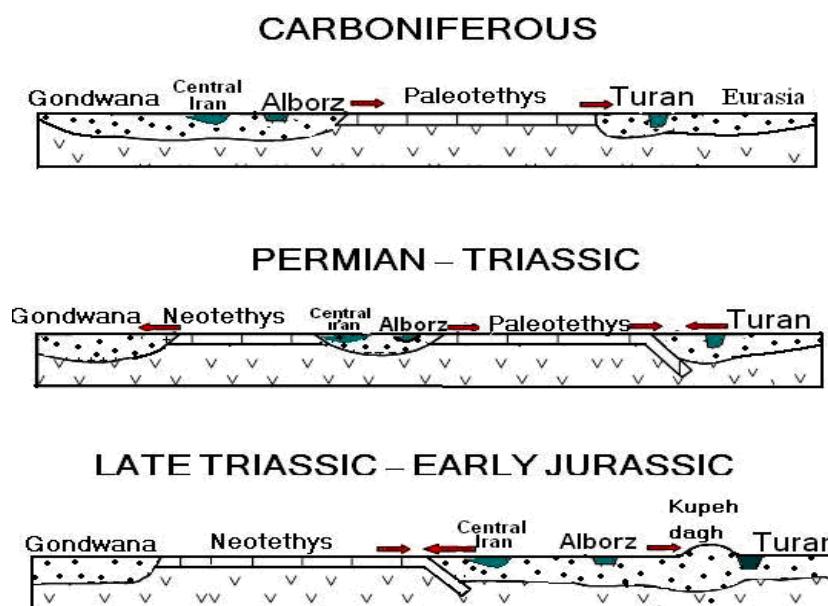


شکل ۱۳ نمودار  $\text{Dy/Yb}$  نسبت به  $\text{La/Yb}$  [۳۵] برای تعیین درجهٔ ذوب بخشی سنگ خاستگاه مagmaهای بازالتی و موقعیت نمونه‌های بازی اولیه‌تر منطقه روی آن.

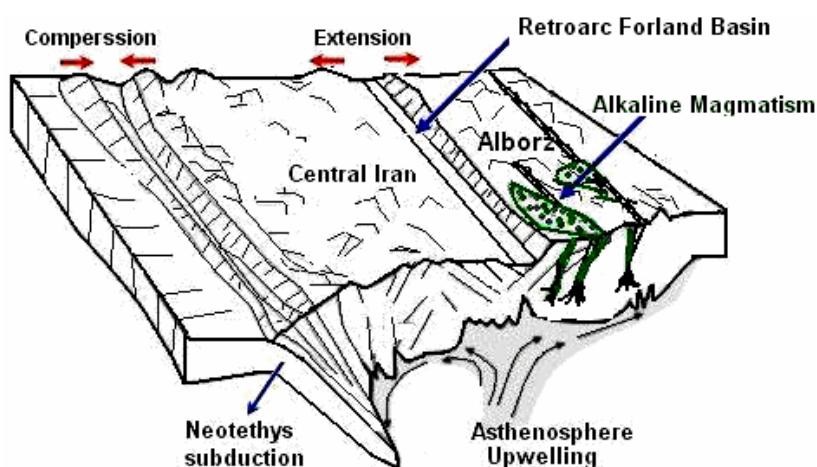
ها و جنس رسوب‌های آن در مناطق مختلف البرز شده است. کاهش فشار ناشی از کشیدگی و نازک‌شدن پوسته قاره‌ای روی گوشته و صعود آرام ستون گوشته‌ی استنوسفری، بدون از دست دادن گرما (صعود آدیباتیک)، سبب ذوب بخشی منطقه سر ستون گوشته زیر لیتوسفر قاره‌ای (SCLM) و تشکیل گدازه‌ی بازالتی قلیایی شده است. تاکنون، پژوهشگران مختلفی به حضور این حوضه‌های کششی کافتی پشت کمانی در بخش‌های گستردگی از قلمرو تبتیس، از اروپا تا چین اشاره کرده‌اند [۳۶، ۳۷، ۳۸]. بنابر نظر [۳۶]، در ژوراسیک زیرین (باژوپسین-باتونین)، در نوار ماقمایی قره‌باغ، فعالیت آتشفسانی وجود داشته است. وی نیز به تشکیل حوضه‌های پشت کمان در ژوراسیک میانی در نواحی دریایی سیاه- پونتید از حوضه‌ی گستردگی پشت کمان قفقاز بزرگ- البرز اشاره می‌کند. بنابر نظر [۳۸] تغییرات شدید جانبی در رخساره‌ها و ضخامت واحدهای سنگی سازندهای شمشک و کشفروود در فواصل کوتاه، وجود یک روند عمیق‌شدن وابسته به کافت در واحدهای سنگی ژوراسیک میانی - بالایی (سازندهای دلیچایی و چمن بید)، وجود دایکها و سیل‌های دیابازی در سازندهای شمشک و کشف رود و آهنگ بالای فروننشست و تغییر شدید عمق حوضه، همگی بیانگر وجود فعالیت‌های زمین ساختی شدید همراه با رسوب‌گذاری و حمایت از یک الگوی کافتی برای محیط رسوب‌گذاری این سازندهاست. [۳۹] نیز، بازشندر حوضه‌های رسوبی پشت کمان ناشی از بسته شدن پالثوتیس در راستای حاشیه اورازیایی، از اتریش تا چین را در ژوراسیک میانی اعلام می‌کند. به اعتقاد [۲] با بسته شدن حوضه اقیانوسی پالثوتیس در تربیس میانی- ژوراسیک آغازین، کافت‌زایی و تشکیل حوضه‌های پشت کمان نظیر دریای خزر جنوبی و قفقاز بزرگ در این زمان، آغاز و در ژوراسیک- کرتاسه به حداقل گسترش خود می‌رسند. با جمع‌بندی نتایج به دست آمده از این پژوهش و یافته‌های دیگر پژوهشگران ببروی قلمروهای پالثوتیس و نئوتیس در اورازیا، می‌توان گفت که سازندهای شمشک در مراحل آغازین تشکیل یک محیط کششی کافتی پشت کمانی، نهشته شده و همزمان، فعالیت ماقمایی بازی قلیایی نیز در آن رخ می‌داده است. این حوضه، در خلال ژوراسیک- کرتاسه به یک حوضه‌ی دریایی گستردگی تبدیل شده و رسوب‌های دریایی عمیق‌تر همراه با ماقمایی‌های بازالتی قلیایی در ژوراسیک و کرتاسه (گدازه‌ها و سنگ‌های نفوذی موجود در اطراف رشت، قزوین، انزلی، لاهیجان، املش، چالوس، رامسر، آمل، اطراف تهران و دماوند) در آن نهشته شده‌اند [۴۰].

**الگوی تکتونوماگمایی تشکیل سنگ‌های آذرین مافیک در قاعده‌ی سازنده شمشک**

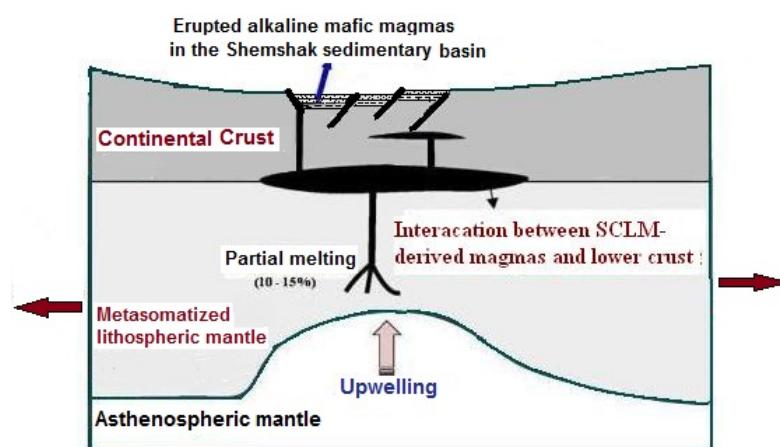
در پایان تربیس میانی- آغاز تربیس پایانی، خرده قاره‌ی سیمیرین که سرزمین البرز را دربر می‌گرفت، با ورقه توران به عنوان بخشی از ابرقاره‌ی اوراسیا، برخورد کرد (شکل ۱۴) و اقیانوس پالثوتیس بین آن‌ها به‌طور کامل بسته شد [۲، ۳۶، ۳۷]. برخورد حاشیه‌ی غیر فعال البرز با حاشیه‌ی تربیس، دگرشکلی‌های بزرگ مقیاس در رسوب‌های پرمین- تربیس، بالا آمدگی‌های عمومی و تغییرات رخساره‌ای در مناطق مختلف ایران مانند البرز شد [۳، ۳۶، ۳۷]. تغییرات رخساره‌ای حاصل از این برخورد، منجر به تشکیل حوضه‌های رسوبی بین کوهستانی (شکل ۱۵) و ته نشست رسوب‌های مولاس حاصل از فرسایش برآمدگی‌های سیمیرین، تحت عنوان سازنده شمشک، به صورت دگرشیب روی دنباله‌ی کربناتی سکوی قاره‌ای سازنده‌ی الیکا در طول نورین- باژوپسین شده است [۱، ۳۶، ۳۷]. الگوی رخساره‌ای سازنده شمشک به‌طور چشمگیری متغیر است و از رسوبهای مخروط‌افکنهای، رودخانه‌ای انسعابی، دشت سیلانی، مردابی، دلتایی، دریاچه‌ای و سکوی دریایی کم‌عمق تا پهنه‌ی عمیق دریایی، تغییر می‌کند. بیشتر واحدهای سازنده شمشک را رسوب‌های غیردریایی تشکیل می‌دهند، ولی بخش فوقانی آن، بیشتر از میان لایه‌های کاملاً دریایی حاوی فسیل آمونیت تشکیل شده است که برای این واحدها، سن نورین- باژوپسین را نشان می‌دهند [۳]. فروزانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس با شبیه رو به شمال به زیر ایران مرکزی، در خلال رویداد زمین- ساختی سیمیرین پیشین در تربیس پایانی- ژوراسیک آغازین (شکل ۱۴)، باعث ایجاد حرکت‌های کششی در پشت کمان ماقمایی ایران مرکزی در حوضه‌ی البرز و تشکیل یک حوضه‌ی کششی کافتی بازشدنی پشت کمانی در این زمان در منطقه بین البرز- ایران مرکزی (شکل ۱۵) و رسوب‌گذاری سازنده شمشک در لبه‌ی جنوبی البرز و حاشیه‌ی شمالی ایران مرکزی (نواحی کرمان و طبس) شده است [۳۶، ۳۷]. همزمان با رسوب‌گذاری سازنده شمشک، به‌دلیل عملکرد گسل‌های عمیق، فعالیت فازهای کششی و بالا آمدگی ستون گوشته‌ی عمیق آستنوسفری و ذوب بخش بالای آن، ماقمایی بازی با ویژگی ماقمایی‌های محیط کششی کافتی، تشکیل شده و در راستای گسل‌های کششی نرمال، در بسیاری از مناطق زون البرز، بالا آمده است (شکل ۱۶). فعالیت این گسل‌های نرمال، باعث تغییرات زیادی در ضخامت سازنده شمشک و حتی نوع رخساره- تغییرات زیادی در ضخامت سازنده شمشک و حتی نوع رخساره-



شکل ۱۴ تصویر نمایشی از شکل‌گیری زمین ساختی زون البرز از کربونیفر تا ژوراسیک زیرین با الهام از طرح [۲].



شکل ۱۵ تصویر نمایشی از تشکیل حوضه‌ی بازشدنی پشت کمان و تشکیل سازند شمشک در این حوضه همراه با عملکرد فاز کششی محلی و فعالیت ماغماتیسم درون صفحه‌ای در تریاپس پایانی – ژوراسیک زیرین در البرز [۱۲].



شکل ۱۶ الگوی تکتونوماگمایی برای تشکیل ماغماهای قلیایی سنگ‌های آذرین قاعده‌ی سازند شمشک در البرز [۱۲].

گسل‌های عمیق نرمال اداره می‌شدند، در این حوضه‌ی کششی کافتی، در حاشیه قاره‌ای غیرفعال البرز در طول تریاپس پایانی - ژوراسیک آغازین صورت گرفته است. فعالیت این گسل‌های نرمال عمیق، موجب بروز رخدادهای ماقمatisیسم قلیایی کافتی درون قاره‌ای شده است.

#### قدردانی

نویسنده‌گان مقاله از حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود به خاطر حمایت از انجام این پژوهش سپاسگزارند.

#### مراجع

- [1] Alavi M., *Tectonostratigraphy synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran*, Journal of geodynamics 21 (1996) 125-134.
- [2] Golonka J., *Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic*, Tectonophysics 381 (2004) 235- 273.
- [3] Seyed-Emami K., Fursich F. T., Wilmsen M., Cecca F., Majidifard M. R., Schairer G., Shekarifard A. *Stratigraphy and ammonite of the upper Shemshak Formation (Toarcian-Aalenian) at Tazareh, eastern Alborz, Iran*, Journal of the Asian Earth Science 28 (2006) 259-275.
- [4] Furun R., "Geologie du plateau Iranien. (Iran, Afghanistan- Belouchistan)", Memories du Museum national d'histoire naturelle (Paris) (1964) .
- [5] Delenbach J., *Contribution a l'étude géologique de la région située à l'est de Teheran (Iran)*, Faculté Science Université de Strasbourg (France) (1964) 117p.
- [6] Glauß M., *Trias und oberperm im Centralen Elburs (Persien)*, Eclog. Geol. Helv. (1964) 2-57.
- [7] Allenbach P., *Geologie und petrography des Damavand und seiner Umgebung (Zentral Elborz), Iran*, Mittelung Nr. 63, Geologisches Institut, EHT- Zurich (1966) 114p.
- [8] Annells R. N., Arthurton R. S., Bazely R. A., Davis R. G., *Explanatory text of the Qazvin and Rasht quadrangles map (1:250000)*, Geological Survey of Iran. Report No. E3, E4. (1975) 94 pp.
- [۹] آقاباتی ع. "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین- شناسی کشور، چاپ اول (۱۳۸۳) ۵۸۶ ص.

#### برداشت

بررسی‌های صحرایی و سنگ نگاری نشان می‌دهند که سنگ-های آذربین مورد بررسی در مناطق قشلاق، تالو، طزره و کلاته- روبار به شکل‌های سیل، دایک و استوک‌های کوچک، در بخش قاعده‌ای سازند شمشک بروند دارند، ولی در مناطق چشممه‌علی و تویه‌دروار به شکل گدازه‌های الیوین‌بازالتی در مرز بین سازندهای الیکا و شمشک در زیر و روی افق‌های لاتریتی- بوکسیتی قرمز رنگ دیده می‌شوند.

- حضور فراوان آپاتیت، اسفن و فلوگوبیت در سنگ‌های آذربین مورد بررسی، نشان دهنده‌ی بالا بودن مقادیر P و Ti و سرشت قلیایی ماقمای سازنده‌ی این سنگ‌هاست.

- غنی‌شدن از LREE و عناصر شدیداً ناسازگار، تهی‌شدن از HREE و عدم تهی‌شدن از HFSE در نمودارهای چند عنصری بهنجار شده به کندریت و گوشته‌ی اولیه، با تشکیل ماقمای قلیایی سازنده‌ی این سنگ‌ها از ذوب بخشی با درجه‌ی پائین یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شده زیر لیتوسفر قاره‌ای در یک محیط کششی درون قاره‌ای همچوایی دارد.

- ناهنجاری مثبت سرب و بالا بودن مقادیر LILE خصوصاً در ترکیب‌های گابرویی، نشان دهنده‌ی آلایش پوسته‌ای ماقمای بازی با سنگ‌های مسیر و میزبان ضمن صعود و جایگزینی نهایی ماقماست.

- الگوی موازی طرح‌های تغییرات عناصر کمیاب در نمودارهای عنکبوتی و نمودارهای عناصر ناسازگار در مقابل همدیگر، نشان دهنده‌ی خاستگاه واحد و نقش تبلور جدایشی، همراه با هضم و آلایش با سنگ‌های پوسته‌ای، در روند شکل‌گیری ماقمای قلیایی سازنده‌ی سنگ‌های مورد بررسی است.

- ماقمای قلیایی سازنده‌ی سنگ‌های آذربین یاد شده، از ذوب بخشی با درجه‌ی پائین (۱۰ تا ۱۵ درصدی) یک ستون گوشته‌ای گارنت - لرزولیتی غنی شده زیر لیتوسفر قاره‌ای، در یک محیط کششی کافتی درون قاره‌ای به وجود آمده است.

- وارفتگی و کشش پس از رخداد زمین‌ساختی برخوردي تریاپس میانی- پایانی در شمال زون البرز، که با برخورد ورقه‌ی البرز با ورقه‌ی توران همراه بوده است، به همراه فروزانش همزمان لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر ورقه ایران مرکزی در جنوب، منجر به ایجاد حوضه‌های کششی کافتی پشت کمانی در این زمان در البرز شده است. رسوب‌گذاری سازنده‌ی شمشک و کشف‌رود که با ضخامت‌ها و رخساره‌های متغیر و با

- and metamorphosed basic igneous rocks", Earth and Planetary Science Letters 28 (1976) 459-469.*
- [22] Kumar K. V., Rathna K., *Geochemistry of the mafic dykes in the Prakasam Alkaline Province of Eastern Ghats Belt, India: Implications for the genesis of continental rift-zone magmatism", Lithos 104 (2008) 306-326.*
- [23] Zhang H. F., Sun M., Lu F. X., Zhou X. H., Zhou M. F., Liu Y. S., Zhang G. H., *Moderately depleted lithospheric mantle underneath the Yangtze Block: Evidence from a garnet lherzolite xenolith in the Dahongshan kimberlite", Geochemical Journal 35 (2007) 315-331.*
- [24] Tchameni R., Pouclet A., Penary J., Ganwa A., Toteu S. F., *Petrology and geochemistry of the Ndaoundere Pan-African granitoids in Central North Cameroon: Implications for their sources and geological setting", Journal of African Earth Science 44 (2006) 511-529.*
- [25] Upadhyay D., Raith M. M., Mezger K., Hammerschmidt K., *Mesoproterozoic rift-related alkaline magmatism at Elchuru, Prakasam Alkaline Province, SE India", Lithos 89 (2006) 447-477.*
- [26] Wilson M., *Igneous Petrogenesis", Unwin Hyman, London (1989) 466pp.*
- [27] Aldinucci M., Gandin A., Sandrelli F., *The Mesozoic continental rifting in the Mediterranean area: insights from the Verrucano tectofacies of southern Tuscany (Northern Apennines, Italy)", Journal of Earth Science (Geol Rundsch) 97 (2008) 1247-1269.*
- [28] Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirwall M. F., Mitchell J. G., *Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey", Journal of Volcanology and Geothermal Research 102 (2000) 67-95.*
- [29] Pearce J. A., Cann J. R., *"Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses", Earth and Planetary Science Letters 19 (1973) 290-300.*
- [30] Meschede M., *A method of discriminating between different type of mid-ocean ridge basalts and continental tholeites with the Nb-Zr-Y diagram", Chemical Geology 56 (1986) 207-218.*

- [۱۰] مقدسی ص. "پترولوزی، پتروزنر و جایگاه چینه‌نگاری سنگ‌های آتشفشنانی ژوراسیک در زون البرز شرقی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شهرورد، (۱۳۸۲) ۱۱۴ ص.
- [۱۱] مقدسی ص، قاسمی ح، "زمین شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین قاعده سازند شمشک در البرز شرقی"، چکیده مقالات بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی کشور، تهران، (۱۳۸۲) صفحات ۲۷۱-۲۷۲.
- [۱۲] جمشیدی خ، "مطالعه ماقمایتیسم مافیک قاعده سازند شمشک در زون البرز شرقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شهرورد، (۱۳۸۹) ۱۵۱ ص.
- [13] Cox K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J., *"The interpretation of igneous rocks", George allen and unwin, London (1979) 450p.*
- [14] Winchester J. A., Floyd P. A., *"Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile element", Chemical Geology 20 (1977) 249-287.*
- [15] Nakamura N., *"Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites", Geochemistry and Cosmochemistry Acta 38 (1974) 757-775.*
- [16] Sun S. S., McDonough W. F., *"Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes", In: Magmatism in oceanic basins, (ed) Saunders A. D., Norry M. J., Geological Society of London, Special Publication 42 (1989) 313-345.*
- [17] Wang Z., Zhao Y., Zou H., Li W., Liu X., Wu H., Xu G., Zhang S., *"Petrogenesis of the Early Jurassic Nandaling flood basalts in the Yanshan belt, North China Craton: A correlation between magmatic underplating and lithospheric thinning", Lithos 96 (2007) 543-566.*
- [18] Henderson P., *"Rare Earth Element Geochemistry", Elsevier Science Publisher B. V. (1984) 510p.*
- [19] Rollinson H. R., *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", John Wiley and Sons (1993) 325p.*
- [20] Irvin T., Baragar W. R. A., *A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Science Letters Vol. 8 (1971) 523-548.*
- [21] Winchester J. A., Floyd P. A., *Geological magma type discrimination: application to altered*

- [37] Fursich F. T., Wilmsen M., Seyed-Emami K., Majidifard M. R., *The Mid-Cimmerian tectonic event (Bajocian) in the Alborz Mountains, Northern Iran: evidence of the break-up unconformity of the South Caspian Basin*”, In: South Caspian to Central Iran Basins. (ed), Brunet M. F., Wilmsen M., Granath J. W., Geological Society Publication No. 312 (2009) 189-203.
- [38] Taheri J., Fursich F. T., Wilmsen M., *Stratigraphy, depositional environment and geodynamic significance of the Upper Bajocian-Bathonian Kashafrud Formation, NE Iran*”, In: South Caspian to Central Iran Basins. (ed), Brunet M. F., Wilmsen M., Granath J. W., Geological Society Publication No. 312 (2009) 205-219.
- [39] Stampfli G. M., Borel G. D., *A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrones*”, Earth and Planetary Science Letters 196 (2002) 17-33.
- [۴۰] امامی م. ه. ”ماگماتیسم در ایران”， انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، ۱۳۷۹ (۱۳۷۹) ۶۲۲ ص.
- [31] Shervais J. W., *Ti-V plots and the petrogenesis of modern and ophiolitic lavas*”, Earth and Planetary Science Letters 59 (1982) 101-118.
- [32] Pearce J. A., *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries*”, In: Andesites, (ed), Thorpe R. S., Wiley Chichester (1982) 525-548.
- [33] Furman T., *Geochemistry of East African Rift basalts: An overview*”, Journal of African Earth Sciences 48 (2007) 147-160.
- [34] Zhao J. H., Zhou M. F., *Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusions in the Panzhihua district (Sichuan Province, SW China): Implications for subduction-related metasomatism in the upper mantle*”, Journal of Precambrian Research 152 (2007) 27-47.
- [35] Thriwall F. M., Upton B. J., Jenkins C., *Interaction between continental lithosphere and Iceland plume, Sm- Nd- Pb isotope geochemistry of Tertiary basalts, Northeast Greenland*”, Journal of Petrology 35 (1994) 839-879.
- [36] Brunet M. F., Korotaev M., Ershov A., Nikishin A., *The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling*”, Sedimentary Geology 156 (2003) 119-148.