

# سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی گدازه‌ها و دایک‌های منطقه ابارق (استان کرمان)

نوشته: اعظم زاهدی\* و حمید احمدی پور\*

\*دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران؛

## Petrography, Geochemistry, and Petrogenesis of Lava Flows and Dykes in Abaregh Area (Kerman Province)

By: A. Zahedi\* & H. Ahmadipour\*

\*Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۳/۲۹

### چکیده

منطقه ابارق در ۴۰ کیلومتری شمال باختر شهرستان بم در استان کرمان واقع است. واحدهای سنگی در منطقه، شامل واحدهای گدازه و دایک هستند که در امتداد یک سری گسل شمالی جنوبی بیرون زده است. این سنگ‌ها از نظر کانی‌شناسی از پلاژیوکلاز، اوژیت، هیپرستن و مقدار کمی الیون تشکیل یافته‌اند. کانی‌شناسی ناهمگن، شواهد زمین‌شیمیایی، صحرایی و بافتی همچون بافت غربالی در پلاژیوکلازها، حاشیه‌های خلیجی در تمام بلورها، زون‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها، بالا بودن مقدار نورم کوارتز و وجود آنکلاوهای کاملاً گردشده نشان‌دهنده این مطلب است که ماگمای اولیه در حین صعود، دچار تحولات ماگمایی از جمله تفریق بخشی، آرایش و آمیختگی شده است. مدل‌های سنگ‌زایی AFC (هضم و تفریق بخشی) و نسبت  $Y/Rb$  رخداد این تحولات را در ماگمای اولیه تأیید می‌کند. بنابراین ماگمای اولیه در حین تبلور آلودگی و هضم پوسته‌ای را متحمل شده است. مقادیر عناصر وابسته به پتاسیم ( $Pb, P, Zr, Sr, Ba, Rb$ ) در سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ‌ها در سری کلسیمی - قلیایی قرار می‌گیرند و مقایسه آندزیت‌های مورد مطالعه با انواع آندزیت‌های کلسیمی - قلیایی موجود در دنیا نشان داد که آندزیت‌های منطقه بیشترین شباهت را با آندزیت‌های کلسیمی - قلیایی Erzurum-Kars ترکیه دارند. با توجه به این مسئله محیط زمین‌ساختی این آندزیت‌ها احتمالاً متعلق به یک کمان پس از برخورد می‌باشد که صعود ماگما و احتمالاً تولید آن، به وسیله گسل‌های امتدادلغز و زمین‌ساخت کششی همراه با آن کنترل می‌شود. این ماگماتیسیم پس از برخورد، ممکن است در اثر برخورد پوسته عربستان با ایران مرکزی رخ داده باشد.

**کلید واژه‌ها:** ابارق، آندزیت، آمیختگی ماگمایی، محیط پس برخوردی، ماگمای کلسیمی - قلیایی.

### Abstract

The Abaregh area is located in 40 km northwest of Bam city in Kerman province. Rock units of the region consist of lava flows and dikes that crop out along a fault system trending NS. Mineralogically, the rocks contain plagioclase, augite, hyprethsen, and minor olivine. Heterogenous mineralogy, field and textural evidences such as sieve texture in plagioclase, resorption rims in crystals, oscillatory zoning in plagioclase, high normative quartz and rounded enclaves suggest that the primary magma undergone magmatic evolution including fractionation, contamination, and magma mixing during ascending. The  $Y/Rb$  ratio and AFC (assimilation and fractionational crystalization) petrogenetic models confirm the occurrence of evolution in primary magma. Concentration of elements such as K, Pb, P, Zr, Sr, Ba, Rb shows that these rocks belong to the calcalkaline series. Similarity between the andesitic lava and dykes shows a considerable similarity with the calcalkaline andesite from Turkey and

from this point of view; these rocks belong to the post - collisional arcs. In this tectonic setting, magma ascent is controlled by strike - slip faulting and associated pull- apart extensional tectonics. This post - collisional magmatism may have been occurred due to the Arabian- Iranian collision events.

**Key words:** Abaregh, Andesite, Magma mixing, Post -collisional, Calcalkaline magma.

#### مقدمه

نازک سنگ آهک، آگلومرا و...تشکیل شده‌اند. مجموعه مورد مطالعه به صورت واحدهای گدازه و دایک در امتداد یک شکستگی اصلی به طول ۴۰ کیلومتر با روند شمالی - جنوبی (نقشه زمین‌شناسی، شکل ۱)، بیرون زده‌اند و در هیچ کجای مجموعه رازک برونزد ندارند. مهم‌ترین گسل عمل‌کننده در منطقه گسل فشاری گوک (گلباف) است.

#### ویژگی‌های صحرایی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه

لایه‌های توف ائوسن منطقه مورد مطالعه با امتداد و شیب N20E/30NE، در زیر گدازه‌ها قرار گرفته‌اند. در رخنمون‌ها توف‌ها غالباً سبز رنگ و به شدت دگرسا بوده و منظره جالبی از فرسایش فیزیکی و شیمیایی نشان می‌دهند که به خاطر نفوذ دایک‌ها خردشدگی و فرسایش بیشتری را نسبت به گدازه‌ها متحمل شده و فرسایش پوست پیازی فیزیکی را می‌توان در آن مشاهده کرد. مطالعات صحرایی به عمل آمده از تمامی رخنمون‌های مورد مطالعه نشان داد که این گدازه‌ها و دایک‌های تزریق شده در آن، دارای مرز مشخصی با توف‌های ائوسن است (عکس ۱).

همه دایک‌های مورد مطالعه، ترکیب آندزیتی تا آندزیت بازالتی دارند. ستبرای و طول دایک‌های منطقه متفاوت بوده و از دایک‌های کوچک به ستبرای نیم متر تا دایک‌های بزرگ به ستبرای هفت متر مشاهده شده است. این دایک‌ها در منطقه‌ای به طول ۴۰ کیلومتر پراکنده‌اند. دایک‌ها در بین گدازه‌های فرسایش یافته (عکس ۲) و یا در اطراف گدازه‌ها به صورت آپوفیزهای کوچک (عکس ۳) با امتداد کلی شمالی - جنوبی در منطقه گسترش دارند. این دایک‌ها در بازالت‌های میزبان خود تزریق شده و قطعاتی از بازالت را به صورت میانبار در خود دارند. میانبار به صورت پراکنده و در بعضی موارد کاملاً گرد شده دیده می‌شود. دایک‌های مورد مطالعه گدازه‌ها و توف‌های ائوسن را قطع کرده‌اند. بنابراین می‌توان سن گدازه‌ها و دایک‌ها را جوان‌تر از ائوسن و قدیمی‌تر از کواترن برآورد کرد.

منطقه ابارق در ۴۰ کیلومتری شمال باختر شهرستان بم و بین طول جغرافیایی ۵۸° - ۵۵' شمالی و عرض جغرافیایی ۲۹° ۳۶' - ۲۹° ۲۰' خاوری واقع است. مطالعات چشمگیری توسط افراد مختلف در ارتباط با فعالیت‌های ولکانیسم و پلوتونیسم پس از برخورد صورت گرفته است (Harrise et al., 1988; Notsu et al., 1995, Jakson et al., 1984) مطالعه سنگ‌های آتشفشانی پس از برخورد می‌تواند اطلاعات مفیدی را در ارتباط با تکامل زمین‌ساختی کمرندهای کوهزایی فراهم آورد. برای مثال آتشفشان فلات ارزروم - کارس در شمال خاور ترکیه، کامل‌ترین توالی رخنمون یافته از سنگ‌های آذرین پس از برخورد (Post collisional) هستند. گدازه‌ها و دایک‌های منطقه مورد مطالعه از نظر زمانی و محیط زمین‌ساختی مشابه این سنگ‌های آتشفشانی در ترکیه است. مطالعات دیگری توسط Girod and Conrad (1976) بر روی گدازه‌های ابارق و خانه‌خاتون انجام شد. براساس مطالعات آنها، فوران این گدازه‌ها در ارتباط با فعالیت گسل‌های بزرگ و شکستگی‌های ژرف پوسته صورت گرفته است و سنگ‌های مورد نظر ترکیب کلسیمی - قلیایی دارند. آنها این سنگ‌ها را در ردیف بازالت‌های جنوب خاور ایران از جمله نایبند و لامپروویت‌های راین به حساب آورده‌اند. با توجه به اهمیت وجود سنگ‌های کلسیمی - قلیایی در محیط پس از برخورد و وجود آنها در کمرند کوهزایی آلپ-همیالیا بخصوص در نواحی مختلف ترکیه، در این مقاله سعی شده است سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی گدازه‌ها و دایک‌های منطقه ابارق بررسی و محیط زمین‌ساختی آنها بر اساس شیمی و تحولات آنها تا حدودی روشن شد.

#### جایگاه زمین‌شناختی گستره مورد بررسی

منطقه ابارق از نظر زمین‌ساخت جزو ایران مرکزی بوده و در کناره شمال خاوری نوار دهج - ساردوییه (Dimitrijevic, 1973) واقع است. در شمال خاور منطقه ابارق، واحدهای مختلف سنگی وجود دارد که جزو کمپلکس رازک میانی (ارومیه دختر) هستند و از تناوب‌های ناهمگن از جنس ماسه‌سنگ توفی، کنگلومرا، توف، تراکی آندزیت، تراکی بازالت، ایگنیمبریت، لایه‌های

### سنگ‌نگاری سنگ‌های مورد مطالعه

که نشان دهنده عدم تعادل بین ارتوپروکسن و ماگمای میزبان است (عکس ۶) بافت‌های غیرتعادلی در گدازه‌ها و دایک‌های مورد مطالعه در قالب تغییرات سریع فشار ماگمایی قابل بررسی است (Stephen et al., 1992)

- **الیون** به مقدار کم و به صورت درشت بلورهای شکل‌دار تانیمه‌شکل‌دار در سنگ‌های منطقه وجود دارد. از آن جا که مقدار الیون مودال معمولاً به مقدار MgO سنگ میزبان وابسته است، لذا ممکن است این نوع الیون‌ها یک فاز انباشت‌سنگی (کومولایی) باشند. (Kushiro 1975) وجود الیون در این سنگ‌ها به مقدار بسیار کم، نشانه عدم تعادل بلور با ماگما بوده و این بدین معنی است که الیون، بقایای فاز قبلی است که با افزایش SiO<sub>2</sub> در ماگما تحلیل رفته و در اثر واکنش با ماگما، حاشیه واکنشی پیدا کرده است. زیرا ترکیب شیمی سنگ کل نمونه‌ها (SiO<sub>2</sub>=60) در حدی است که الیون به‌طور پایدار نمی‌تواند در آنها متبلور شود.

### زمین‌شیمی

به منظور مطالعات زمین‌شیمیایی تعدادی نمونه از گدازه‌ها و دایک‌ها با دستگاه XRF در شرکت کانساران بینالود تجزیه شیمیایی شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به این که در سنگ‌های آتشفشانی، امکان دگرسانی و تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی بیشتر از سنگ‌های آذرین درونی است، لذا با استفاده از عناصری که قابلیت تحرک کمتری دارند، می‌توان آنها را نامگذاری کرد. مهم‌ترین این عناصر Zr, Nb, Y, TiO<sub>2</sub> هستند. در شکل ۲ سنگ‌های مورد مطالعه براساس نسبت‌های عنصری Ga Nb/Y Zr/TiO<sub>2</sub> (Pearce & Cann, 1973) نامگذاری شده‌اند. بر اساس این نمودار سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده آندزیت، آندزیت بازال و تراکی آندزیت قرار می‌گیرند. بالا بودن نورم کوارتز و ارتوکلاز در بعضی از نمونه‌ها، نشان‌دهنده این است که ترکیب خمیره شیشه‌ای در دایک‌ها و گدازه‌ها تقریباً اسیدی است (جدول ۲). با توجه به مقدار بالای Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (۲۰/۵۲) در تجزیه شیمیایی نمونه سنگی ZA25 و بررسی مقطع صیقلی این نمونه سنگی که حاوی کانی‌های کدر زیادی است، می‌توان نتیجه گرفت که این کانی‌های کدر کروندم هستند که باعث بالا رفتن نورم کروندم در این نمونه سنگی شده‌اند (جدول ۲).

### بررسی سری‌های ماگمایی

مطالعه سری‌های ماگمایی در شناخت محیط‌های زمین‌ساختی و ژئودینامیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. بر اساس نمودار (Peccerillo & Tylor 1976)

در مطالعات میکروسکوپی، این سنگ‌ها از درشت بلورهای پلاژیوکلاز (لابرادوریت - بایتونیت)، کلینوپروکسن (اوژیت)، ارتوپروکسن (هیپرستن) و مقدار کمی الیون تشکیل یافته‌اند. بافت شاخص این سنگ‌ها پورفیریک در خمیره شیشه‌ای است. تجمع درشت‌بلورها در بخش‌هایی از این سنگ‌ها تشکیل بافت گلمروپورفیری را داده است.

- **پلاژیوکلاز** فراوان‌ترین کانی است که به دو صورت درشت‌بلور و میکروولیت در خمیره وجود دارد. با توجه به زاویه خاموشی دوقلوهای (ماکل) پلی‌سنتیک (۴۸°)، ترکیب درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز عمدتاً از نوع لابرادوریت - بایتونیت است ولی ترکیب میکروولیت‌های خمیره سدیک‌تر از درشت‌بلورها است حاشیه‌انحلالی در آن نشانه خروج این کانی از حالت تعادل با مذاب است (Nelson and Pearce, 1968; Loomis, 1982) مرکز بسیاری از بلورهای پلاژیوکلاز به صورت خلیجی انحلال یافته و حاشیه آن توسط یک پلاژیوکلاز سدیک‌تر پوشیده شده است (عکس ۴). ریز بلورهای پلاژیوکلاز در بیشتر موارد سالم بوده و نسبت به درشت بلورها تجزیه کمتری را نشان می‌دهند. در این ریزبلورها هیچ گونه بافت غیرتعادلی مانند زون‌بندی، بافت غربالی و خردشدگی مشاهده نمی‌شود.

- دومین درشت‌بلور فراوان این سنگ‌ها را **کلینوپروکسن** (اوژیت) تشکیل می‌دهد، با توجه به زاویه خاموشی (۴۲°) و حداکثر رنگ تداخلی تا سبز مرتبه دوم، احتمالاً از نوع اوژیت هستند. در این کانی آثار عدم تعادل با مذاب مانند حاشیه انحلالی دیده می‌شود (عکس ۵). تشکیل دو نسل از کلینوپروکسن‌ها حائز اهمیت است و می‌تواند فرایند هضم یا آمیختگی ماگمایی، پس از تشکیل بلورهای اول را نشان دهد. به صورتی که پس از تشکیل بلورهای کلینوپروکسن نسل اول، ماگما در حال بالا آمدن در شکاف‌های زمین و تزریق، مقداری از سنگ‌های همبر خود را هضم کرده باشد. از سوی دیگر تزریق دایک در گدازه‌های میزبان خود ممکن است باعث هضم آنها و انتقال کانی‌های موجود در سنگ‌های همبر به عنوان بیگانه‌بلور باشد. وجود میانبرهای کاملاً گرد شده در دایک‌ها نشانگر این مطلب است.

- **ارتوپروکسن** در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه هم به صورت درشت‌بلور دیده می‌شود و هم در خمیره وجود دارد. کانی مورد نظر با توجه به ویژگی‌های بلورشناختی، ترکیب هیپرستن دارد. معمولاً حضور ارتوپروکسن دال بر محو الیون در ماگما است. حضور توأم آن نیز با کانی‌های آبدار مانند هورنبلند و بیوتیت در تناقض است. به عقیده (kuno, 1950) در خمیره سنگ‌های آتشفشانی سری کلسیمی - قلیایی، ارتوپروکسن حضور دارد. گاهی این ارتوپروکسن‌ها به وسیله پیژونیت یا اوژیت ساب کلسیک احاطه شده‌اند. این کانی در بعضی موارد دارای حاشیه خلیجی می‌باشد

ماگمای مادر سنگ‌های منطقه ابارق محصول یک سری فرایندهای متمایز می‌باشد که غنی‌شدگی انتخابی را در عناصر LREE, LILE به وجود آورده است. تصور می‌شود که این غنی‌شدگی، مربوط به سنگ‌کره‌ای است که در طی حوادث فرورانش پیش از برخورد، دچار تحول شده و غنی‌شدگی در این عناصر، از فرورانش پیش از برخورد به ارث رسیده است. روابط میان ماگماتیسیم و زمین‌ساخت در این مناطق، مدل‌هایی را پیشنهاد می‌دهد که در آنها، نازک‌شدگی سنگ‌کره زیر پوسته قاره‌ای، موجب بالاآمدگی گوشته و ذوب بخشی آن می‌شود. در این محیط‌های برخوردی، صعود ماگما و احتمالاً تولید آن، به وسیله گسل‌های امتداد لغز و زمین‌ساخت کششی همراه با آن، کنترل می‌شود (Keskin et al., 1998). براساس مدل‌های ارائه شده، این احتمال وجود دارد که پس از برخورد صفحه‌های قاره‌ای و ستبر شدن پوسته، سنگ‌کره زیرین بالا آمده و تحت تأثیر ذوب بخشی قرار می‌گیرد. به نظر Wilson (1989) و Muller et al. (1993) سنگ‌های آندزیتی می‌توانند پس از برخورد، به صورت دایک‌های طولی در محیط کششی تزریق شوند. به نظر می‌رسد ماگمای تشکیل‌دهنده سنگ‌های مورد مطالعه متعلق به یک محیط کششی پس برخوردی باشد، چنانچه در منطقه ابارق، گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان، از روندهای ساختاری کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر پیروی می‌کند. بنابراین، می‌توان این جریان‌های گدازه‌ای را در ارتباط با گسل‌هایی دانست که در اثر برخورد پوسته قاره‌ای ایران و عربستان در پوسته ایران زمین به وجود آمده‌اند. این گسل‌ها به عنوان گسل‌های پس برخوردی شناخته می‌شوند که به نسبت ژرف بوده و بعضی از آنها تا گوشته بالایی ادامه داشته‌اند.

### تحولات ماگمای سازنده سنگ‌های مورد مطالعه

کانی‌شناسی ناهمگن، شواهد زمین‌شیمیایی، شواهد صحرایی و شواهد بافتی مانند بافت غربالی در پلاژیوکلازها، حاشیه‌های خلیجی در تمام بلورها، زون‌بندی نوسانی در پلاژیوکلازها، بالا بودن مقدار نورم کوارتز و وجود میانبارهای بالشی کاملاً گرد شده نشان‌دهنده این مطلب است که ماگمای اولیه در حین صعود دچار تحولات ماگمایی از جمله پدیده‌های تفریق بخشی، آرایش و آمیختگی شده‌اند. براساس بررسی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمیایی دو حالت تکامل سنگ‌زادی زیر را می‌توان برای این گدازه‌ها و دایک‌ها در نظر گرفت.

- 1- تفریق بخشی POAM (پلاژیوکلاز، الیومین، اوژیت، مگنتیت) از ماگما که باعث افزایش ایتیریم (Y) در طی روند تفریق می‌شود.
- 2- همضم و آرایش پوسته‌ای

اغلب سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده آندزیت کلسیمی - قلیایی واقع می‌شوند (شکل ۳). قرارگیری گدازه‌ها در میدان شوشونیتی، احتمالاً به دلیل آلودگی و آرایش ماگما با سنگ‌های پوسته و دگرسانی بیشتر آنها است. مقایسه نسبت مودال درشت‌بلورها در آندزیت‌های منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که نسبت مودال پلاژیوکلاز به مجموع کانی‌های آهن و منیزیم‌دار در این سنگ‌ها خیلی بالا بوده و به سنگ‌های کلسیمی - قلیایی شباهت دارد.

### بررسی روند تفریق در نمودارهای هارکر

بررسی تغییرات عناصر مختلف در نمودارهای هارکر نشان می‌دهد که میزان  $Al_2O_3$  در سنگ‌های مورد مطالعه بالا بوده و مقدار آن از ۱۴/۰۹ تا ۲۰/۵۲ متغیر است و علت بالا بودن مقدار  $Al_2O_3$  پویژه در نمونه ZA25 (۲۰/۵۲) به علت بالا بودن مقدار پلاژیوکلاز به صورت درشت‌بلور و میکروولیت در نمونه‌های مورد مطالعه است.

در میان عناصر کیمیا، عناصر سازگار مانند Ni، Co، V روند کاهشی دارند. این عناصر در ابتدای روند تفریق از ماگمای آندزیتی جدا شده و وارد کانی‌هایی مانند الیومین، پروکسن و مگنتیت می‌شوند (شکل ۴).

روند تغییرات بعضی از عناصر ناسازگار (HFS) مانند Nb و Ta اندازه‌ای افزایشی است (شکل ۴) درجه افزایش در هر کدام از این عناصر، بستگی به میزان ناسازگاری آنها نسبت به گارنت لرزولیت دارد (Pearce, 1982).

- Ni، Co : این عناصر سازگار بوده (Norman & leeman, 1990) و بنابراین باید در کانی‌های منیزیم‌دار به صورت استتار شده وجود داشته باشد. به هر حال نسبت Ni:Mg در بلورهایی که در ابتدای تفریق ماگمایی تشکیل می‌شوند (بخصوص الیومین) در بیشترین حد خود است و کاهشی پیوسته در کانی‌ها و سنگ‌هایی که بعداً تشکیل می‌شوند، نشان می‌دهد. میزان Ni نمونه‌های مذکور از ۳ تا ۱۲ پی‌پی‌ام متغیر است و روند تقریباً کاهشی را نشان می‌دهند. میزان کبالت از ۳ تا ۲۳ پی‌پی‌ام متغیر است و با افزایش سیلیس روند کاهشی را نشان می‌دهد.

نیوبیم اغلب جانشین تیتانیم در اکسیدهای حاوی تیتان (ایلمنیت، روتیل، و کاسیتیریت) و گاهی در ساختار اسفن، زیرکن، بیوتیت و هورنبلند وارد می‌شود (Bounjor & Dabard, 1991) تقریباً روند افزایشی را با افزایش  $SiO_2$  نشان می‌دهند (شکل ۴).

### جایگاه زمین‌ساختی و خاستگاه ماگمایی

مقایسه عناصر اصلی و فرعی گدازه‌ها و دایک‌ها، با سنگ‌های مربوط به برخورد و پس از برخورد در جهان (از جمله ترکیه) نشان داد که احتمالاً

به (DePaolo, 1981) استفاده شده و ترکیب میانگین سنگ‌های پوسته‌ای از Taylor (1985) است. در این مدل، درجات مختلف تبلور بخشی به‌ازای مقادیر مختلف  $r$  نشان داده شده است.  $r$  نشان دهنده نسبت آهنک هضم به آهنک تبلور بخشی است. بر اساس این شکل هر چه داده‌های حاصل از تجزیه سنگ‌ها به ترکیب پوسته‌ای نزدیک‌تر باشد، یعنی در مقادیر بالاتری از  $r$  قرار گیرند، هضم بیشتری انجام گرفته است. با پیاده کردن مقادیر مربوط به سنگ‌های منطقه ابارق بر روی این نمودار در می‌یابیم که این سنگ‌ها در مقادیر بالای  $r$  قرار گرفته و بنابراین آلودگی و هضم زیادی دارند. به عبارت دیگر افزایش نسبت  $Rb/Th$  در این سنگ‌ها به علت هضم پوسته‌ای است. هضم پوسته‌ای همچنین باعث پایین آمدن مقدار  $Nb$  و افزایش مقدار  $LILE$  و  $LREE$  می‌شود که در تجزیه سنگ‌های منطقه دیده می‌شود. وجود میانبار بالشی و گردشده از جنس گدازه، دلیلی بر آلودگی و هضم پوسته‌ای منطقه است (Gourgaud & Villemant, 1992).

#### شرایط تشکیل کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های مورد مطالعه از لحاظ

##### دما و فشار

در شکل ۷ با استفاده از نمودار فازی تهیه شده توسط Blatter et al. (2001) شرایط تشکیل کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌های مورد مطالعه از لحاظ دما و فشار برآورد می‌شود. در این نمودار فازی، محدوده‌های پایداری اشباع از آب برای مجموعه درشت‌بلورهای موجود در آندزیت‌های غنی از سیلیس در منطقه Vall de Bravo در مکزیک مرکزی تعیین شده است. با توجه به پاراژنز فعلی کانی‌ها در گدازه‌ها و دایک‌های مورد مطالعه که از ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز و تیتانو مگنتیت تشکیل یافته‌اند، می‌توان شرایط دمایی این کانی‌های تشکیل دهنده را ۱۰۰۰-۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط فشاری آن را بین ۸۰۰-۰ بار در نظر گرفت. به نظر Gill (1981) اگر در فشارهای نزدیک سطح زمین، ماگمای آندزیتی از بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپروکسن و ارتوپروکسن غنی باشد، این ماگما احتمالاً ۲ درصد آب داشته و دمای آن نیز بین ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

#### مدل احتمالی تشکیل سنگ‌های منطقه

با توجه به داده‌های موجود و مقایسه آنها با مناطق مختلف دنیا به نظر می‌رسد که سنگ‌های منطقه به صورت زیر تشکیل شده‌اند. پس از برخورد صفحه‌های قاره‌ای در ایران، سنگ‌کره زیر قاره ذوب و ماگمای حاصل از آن در طول گسل‌های کششی به سمت پوسته صعود می‌کند. توقف ماگمای حاصله در این پوسته ستر، موجب تحولات مختلفی

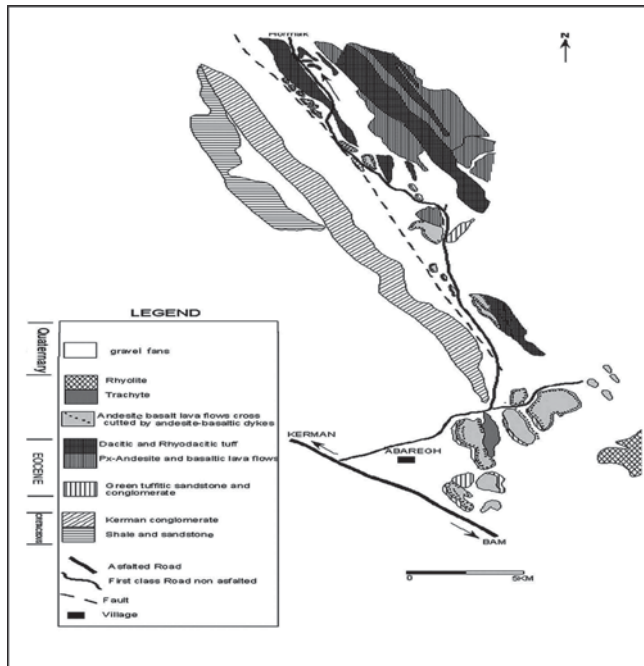
این دو حالت تکامل سنگ‌زایی را با استفاده از مدل‌های  $Y/Rb$  و  $ACF$  (نقل از Keskin et al., 1998) مورد بررسی قرار می‌دهیم.

#### مدل‌سازی $Y/Rb$

این مدل‌سازی برای بررسی تبلور یک ماگما در شرایط آبدار و بدون آب پایه ریزی شده است (Keskin et al., 1998). در شکل ۵ مقادیر متغیر  $Y$  در مقابل  $Rb$  بر روی نمودار لگاریتمی آمده است. در این نمودار، همچنین بردارهای نظری تفریق بخشی رابلی نشان داده شده است. بردارهای مورد نظر با این فرض رسم شده‌اند که اگر ۵۰ درصد از ماگمای مادر متبلور شود، ترکیب‌های فازی نشان داده شده (از ۹ تا ۹) به وجود می‌آیند. ایتیریم در این جا به عنوان شاخص تفریق استفاده شده، زیرا بجز در ماگماهای اسیدی، در حین تفریق بخشی بسیار ناسازگار عمل می‌کند. در این نوع نمودار ترکیب اولیه در هر نقطه‌ای می‌تواند قرار داشته باشد. بنابراین آرایش کلی بردارها را می‌توان به گونه‌ای جابه‌جا کرد که بر داده‌ها منطبق شوند. از شکل ۵ می‌توان چنین استنباط کرد که اگر شیب کلی داده‌ها افقی تا مثبت باشد، ماگمای اولیه تحت تأثیر تفریق بخشی بدون آب قرار گرفته و کانی‌هایی همچون پلاژیوکلاز، الیون، اوژیت، و مگنتیت (POAM) از آن متبلور گردیده است. از آنجا که عنصر ایتیریم در طی تفریق، ناسازگار عمل کرده و نمی‌تواند وارد کانی‌های بدون آب (POAM) شود، بنابراین فراوانی آن به تدریج افزایش می‌یابد. در صورتی که اگر در حین تفریق کانی‌آبداری مانند آمفیبول یا گارنت متبلور گردد عنصر ایتیریم را جذب کرده و مقدار این عنصر در ماگمای باقی‌مانده کاهش چشمگیر خواهد داشت (Pearce et al., 1990). این پدیده در نمودار شکل ۵ با شیب منفی تا افقی در داده‌ها نمایان خواهد شد. داده‌های شیمی مربوط به سنگ‌های منطقه ابارق که در شکل ۵ ارائه شده نشان می‌دهد که روند تغییرات  $Y/Rb$  در این سنگ‌ها افقی تا مثبت است. بنابراین تفریق بخشی در آنها با تبلور پلاژیوکلاز، اوژیت، الیون و مگنتیت همراه بوده است.

#### مدل‌سازی هضم و تبلور بخشی (AFC)

برای این مدل‌سازی، از نسبت  $Rb/Th$  استفاده شده است (شکل ۶). زیرا  $Th$  و  $Rb$  تنها عناصری هستند که نسبت آنها تحت تأثیر تبلور هیچ‌یک از مجموعه‌های آبدار و بدون آب قرار نمی‌گیرد. از آنجا که نسبت  $Rb/Th$  در پوسته، بیشتر از سنگ‌های مشابه با گدازه‌ها و دایک‌های منطقه ابارق است، (گدازه‌های ترکیب Keskin, 1998) افزایش در این نسبت می‌تواند به هضم پوسته‌ای نسبت داده شود. در این شکل،  $Rb$  به عنوان یک شاخص تفریق در محور افقی آمده و از معادلات AFC (هضم و تبلور بخشی) مربوط



شکل ۱- نقشه زمین شناسی گدازه‌ها و دایک‌های آندزیت بازالتی منطقه ابارق در استان کرمان

(نقل از نقشه‌های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ خانه خاتون و گوک با تغییرات)

جدول ۱- تجزیه شیمیایی نمونه‌های منطقه ابارق.

Sample	ZA10	ZA25	ZA29	ZA7	ZB11	ZC12	ZC24	ZC5	ZC6	ZC9	ZD14	ZD24	ZD25	ZD41	ZD9
SiO <sub>2</sub> %	57.84	61.15	56.4	56.22	57.33	59.34	58.22	56.31	58.83	58.14	58.6	52.05	58.58	58.7	58.91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0.178	0.098	0.212	0.202	0.196	0.225	0.218	0.178	0.199	0.21	0.209	0.172	0.222	0.201	0.196
TiO <sub>2</sub> %	0.707	0.99	0.713	0.752	0.672	0.647	0.736	0.627	0.66	0.636	0.664	0.658	0.648	0.653	0.687
MnO %	0.097	0.007	0.085	0.107	0.1	0.09	0.087	0.081	0.91	0.92	0.09	0.128	0.097	0.103	0.168
MgO %	2.44	1.25	2.16	2.61	1.71	1.37	2.54	4.16	2.46	1.5	1.61	2.52	1.63	1.67	1.65
K <sub>2</sub> O %	0.94	6.64	1.84	0.92	1.22	1.41	1.94	3.33	1.84	1.23	1.27	2.7	1.08	0.99	2.56
Na <sub>2</sub> O %	4.25	0.64	4.51	4.26	3.96	4.5	4.36	2.74	4.16	4.47	4.03	2.76	4.21	4.07	2.96
CaO %	6.78	2.33	6.6	7.44	7.4	6.84	7.15	7.48	5.08	7.1	7.29	10.82	7.24	7.65	9.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	6.59	2.84	7.65	7.43	7.25	6.9	6.72	7.55	7.79	6.887	7.5	7.16	7.274	7.15	6.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	16.04	20.52	16.92	15.81	16.91	16.03	15.16	14.47	16.36	16.95	15.56	15.37	14.63	14.8	14.09
L.O.I %	3.84	2.58	2.81	3.86	2.63	2.23	2.4	2.39	2.07	3.49	2.36	3.1	5.41	3.3	2.38
S ppm	25	12	10	8	9	4	7	12	15	20	16	14	16	15	10
Cl ppm	26	54	35	26	22	19	37	24	20	18	26	15	10	24	29
Ba ppm	425	385	522	298	950	336	512	294	363	345	429	356	288	517	222
Sr ppm	445	45	506	505	436	299	337	384	286	523	269	385	476	630	277
Cu ppm	15	7	26	18	14	10	16	13	10	16	15	12	18	17	15
V ppm	130	158	141	136	121	105	129	126	104	122	103	117	116	114	118
U ppm	1	1	1	1	1	6	4	2	7	5	3	1	12	5	2
Th ppm	5	22	7	1	8	15	13	10	15	5	11	6	19	7	12
Ce ppm	60	68	46	51	62	30	84	28	74	52	42	22	37	85	40
La ppm	20	32	25	33	27	21	16	34	37	38	36	29	15	40	37
Gd ppm	24	26	20	25	23	22	20	19	24	20	26	25	23	20	15
Hf ppm	19	17	24	20	16	28	33	26	25	16	23	20	18	15	20
Pb ppm	15	5	22	24	19	20	12	16	20	16	14	13	17	12	13
W ppm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mo ppm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Nb ppm	11	19	14	14	16	18	16	18	19	13	17	12	14	16	10
Zr ppm	243	313	241	267	261	268	271	214	271	264	250	242	225	267	223
Y ppm	24	33	26	25	25	29	28	22	26	22	27	26	24	24	26
Rb ppm	35	241	48	34	108	114	74	115	108	96	101	115	113	70	106
Zn ppm	59	9	63	57	58	50	55	63	50	54	49	57	72	56	47
Ni ppm	6	9	7	8	5	3	8	5	12	6	4	5	7	8	
Cr ppm	23	101	21	65	22	13	18	22	12	24	15	38	25	25	23
CO ppm	20	3	21	17	17	14	19	23	16	19	18	14	20	18	14
As ppm	8	6	7	5	4	9	12	8	4	8	5	4	6	9	7

از جمله تبلور بخشی، هضم و آلودگی می‌شود و سپس در طول گسل‌های طویل به بیرون هدایت می‌شود. کمی پس از آن ماگماهای اسیدی نیز به صورت گنبد‌های ریولیتی و داسیتی در منطقه نفوذ می‌کنند مشابه این مدل، در ترکیه ارزروم- کارس، کمپلکس ماگمایی Mount Kozak، آتشفشان چینه‌ای Hassan Daghi و کمپلکس ماگمایی Bayramic مشاهده شده است و سنگ‌های این مناطق از نظر زمانی نیز مشابه سنگ‌های منطقه ابارق هستند. هر چند که بعضی از ویژگی‌های زمین‌شیمیایی آنها شبیه ماگماهای جزایر کمانی است، اما چنین مح‌ی را در منطقه نمی‌توان انتظار داشت، بنابراین سنگ‌های منطقه ابارق احتمالاً در محیط پس بر خوردی ایجاد شده‌اند. با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط Muller and Groves (1993) (شکل ۸) سنگ‌های آندزیتی مورد مطالعه در محدوده کمان‌های پس بر خوردی قرار می‌گیرند. این دو نمودار ابتدا برای سنگ‌های غنی از پتاسیم به کار رفت اما از آنجا که این نمودارها بر اساس عناصر ردیاب بنا شده‌اند و در مناطق پس بر خوردی، انواع سنگ‌ها اعم از قلیایی و کلسیمی - قلیایی وجود دارد می‌توان از این نمودارها استفاده کرد.

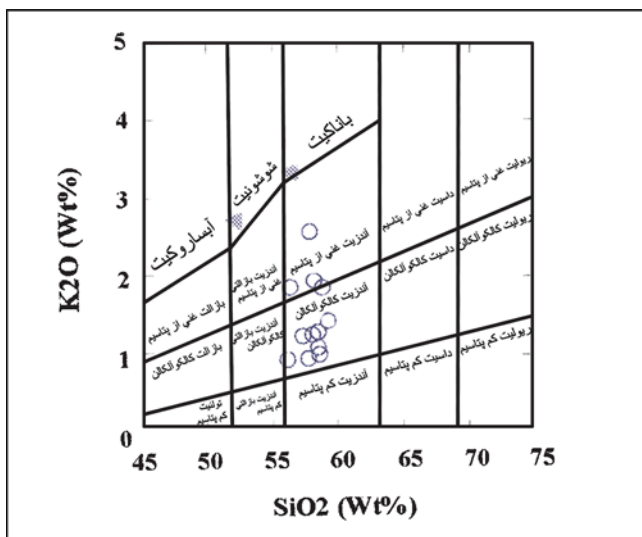
### نتیجه‌گیری

چنانچه در منطقه ابارق گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان موجود در آن از روندهای ساختاری کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر پیروی می‌کند. بنابراین می‌توان این جریان‌های گدازه‌ای را در ارتباط با گسل‌هایی دانست که در اثر برخورد پوسته قاره‌ای ایران و عربستان در پوسته ایران زمین به وجود آمده‌اند. این گسل‌ها به عنوان گسل‌های پس بر خوردی شناخته می‌شوند که به نسبت ژرف بوده و بعضی از آنها تا گوشته بالایی نیز ژرفا داشته‌اند بر اساس نمودارهای زمین‌ساختی ارائه شده توسط Muller and Groves (1993) سنگ‌های منطقه مورد مطالعه مشابه محیط‌های کمان پس بر خوردی می‌باشد. سنگ‌های منطقه ابارق از نظر زمانی و جایگاه محیط زمین‌ساختی مشابه سنگ‌های فلات ارزروم - کارس در ترکیه است سنگ‌نگاری و روند تفریق بخشی Y در سنگ‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که سنگ‌ها از تبلور مجموعه‌های بی‌آب مانند پلاژیوکلاز، الیون، اوژیت، و مگنتیت (POAM) در سطوح پوسته‌ای کم‌ژرفا به وجود آمده‌اند. مدل‌سازی AFC، Y/Rb نشان داد که ماگمای اولیه در حین صعود دچار تحولات ماگمایی از جمله پدیده‌های تفریق بخشی و آلیش شده‌اند. افزایش مقدار LREE، MREE و Rb/Th در طی فرایند تفریق را می‌توان به وسیله هضم و همچنین تبلور بخشی در طول تکامل ماگما توضیح داد. با توجه به این که مجموعه‌های بی‌آب (الیون، پلاژیوکلاز، اوژیت، هیپرستن و مگنتیت) از این ماگماها متبلور شده‌اند به نظر می‌رسد که ماگمای اولیه یک بازالت بوده است.

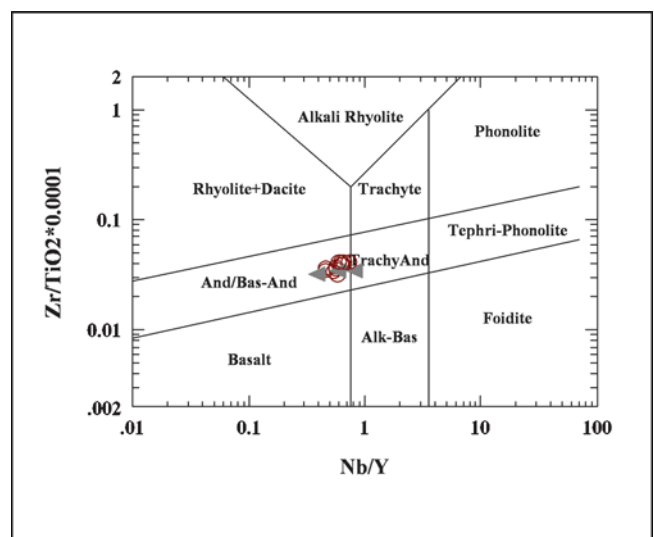
جدول ۲- درصد نورم بر اساس داده‌های حاصل از تجزیه شیمیایی

Sample	ZC6	ZC9	ZD14	ZD24	ZD25	ZD41	ZD9
Rock name	تراکی آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت بازالت	آندزیت	آندزیت	آندزیت
Q	12.82	11.76	14.56	5.80	15.20	15.77	15.88
Or	11.17	7.48	7.76	16.93	6.68	6.11	15.67
Ab	36.07	38.86	35.18	24.73	37.21	35.87	25.98
An	21.03	23.16	21.26	22.82	15.62	19.98	15.13
(C/A	0	0	0	0	0	0	0
Di Wo	1.52	4.93	6.20	11.19	7.35	7.48	7.96
Di en	0.88	2.49	3.10	6.68	3.37	3.87	4.27
Di fs	0.57	2.32	2.96	3.91	3.44	3.40	3.42
Hy en	5.43	1.36	1.05	0	0.53	0.48	0
Hy fs	3.56	1.27	1.01	0	0.49	0.42	0
Mt	5.22	4.62	5.06	4.96	4.96	4.87	4.40
Il	1.29	1.24	1.30	1.33	1.29	1.29	1.35
Ap	0.45	0.47	0.47	0.40	0.51	0.46	0.44

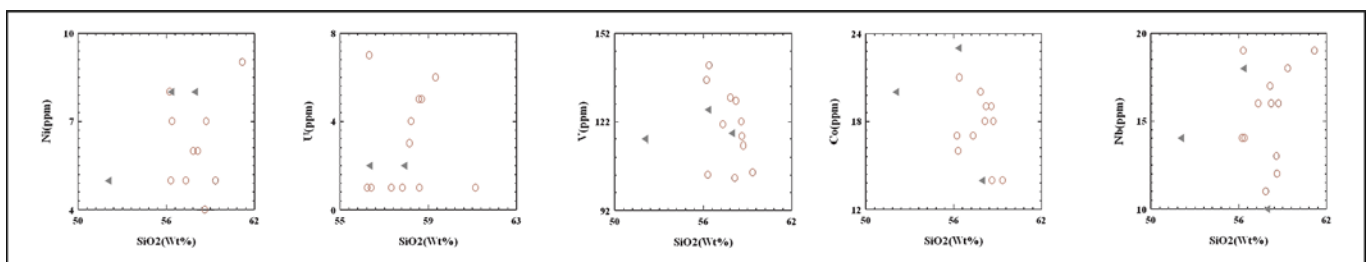
Sample	ZA10	ZA25	ZA29	ZA7	ZB11	ZC12	ZC24	ZC5
Rock name	آندزیت	تراکی آندزیت	تراکی آندزیت	آندزیت	آندزیت	آندزیت	تراکی آندزیت	تراکی آندزیت
Q	13.23	24.35	7.17	14.42	12.82	14.59	9.64	8.36
Or	5.80	40.59	11.21	5.87	7.46	8.59	11.81	20.32
Ab	37.47	8.21	39.26	38.82	34.59	36.99	37.94	23.89
An	22.82	11.36	21.06	22.48	25.55	21.07	16.50	17.85
(C/A	0	7.99	0	0.16	0	0	0	0
Di Wo	4.67	0	4.76	0	4.68	5.23	7.81	8.09
Di en	2.88	0	2.67	0	2.44	2.55	4.87	5.42
Di fs	1.51	0	1.89	0	2.11	2.59	2.46	2.04
Hy en	3.48	3.23	2.90	7.03	1.98	0.98	1.67	5.31
Hy fs	1.83	0.19	2.06	3.96	1.72	1	0.84	2
Mt	4.49	1.92	5.15	5.24	4.89	4.64	4.52	5.09
Il	1.40	1.94	1.40	1.54	1.32	1.27	1.44	1.32
Ap	0.41	0.22	0.48	0.48	0.44	0.51	0.49	0.40



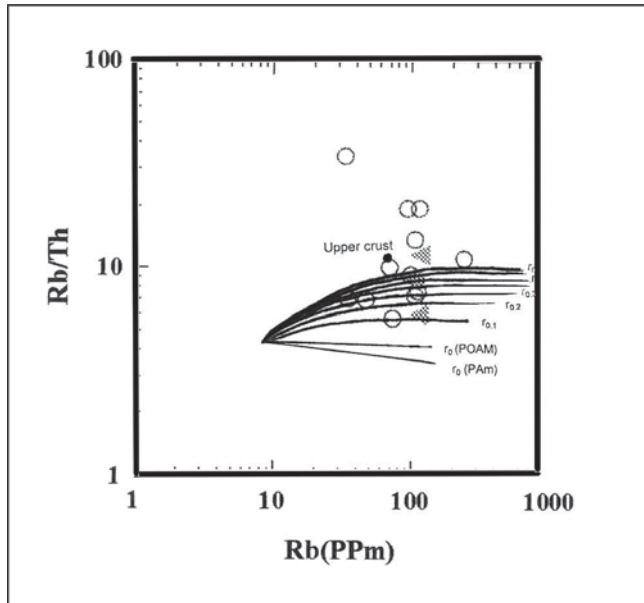
شکل ۳- موقعیت گدازه‌ها و دایک‌های مورد مطالعه در نمودار Peccerillo and Taylor (1976). علائم مشابه شکل ۲.



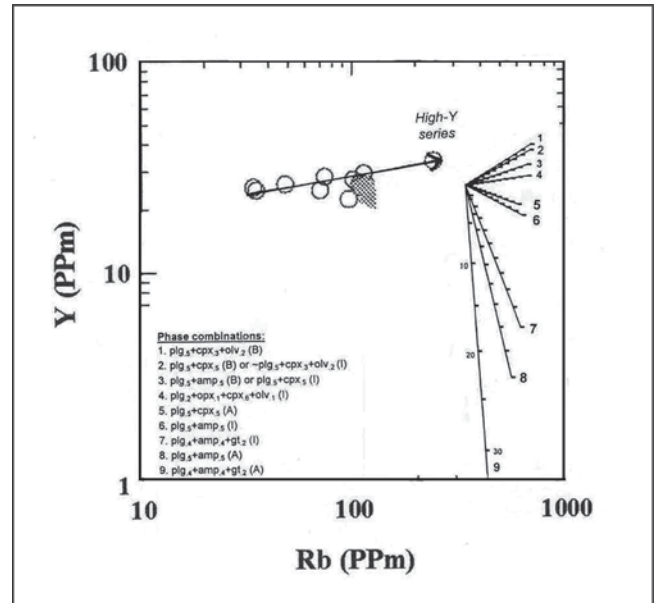
شکل ۲- موقعیت گدازه‌ها و دایک‌های مورد مطالعه در نمودار Pearce and Cann (1973) مثلث: گدازه-دایره: دایک.



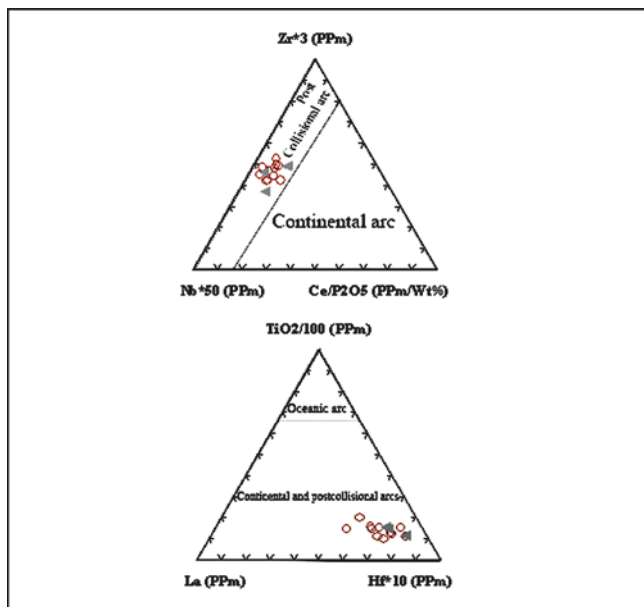
شکل ۴- نمودارهای مربوط به روند تعدادی از اکسیدهای اصلی، عناصر فرعی و کمیاب گدازه‌ها و دایک‌های منطقه ابارق در برابر  $SiO_2$ . (Detection limit) توسط XRF برای عناصر ردیاب ۱ ppm و برای عناصر اصلی ۰/۰۱٪ می باشد).



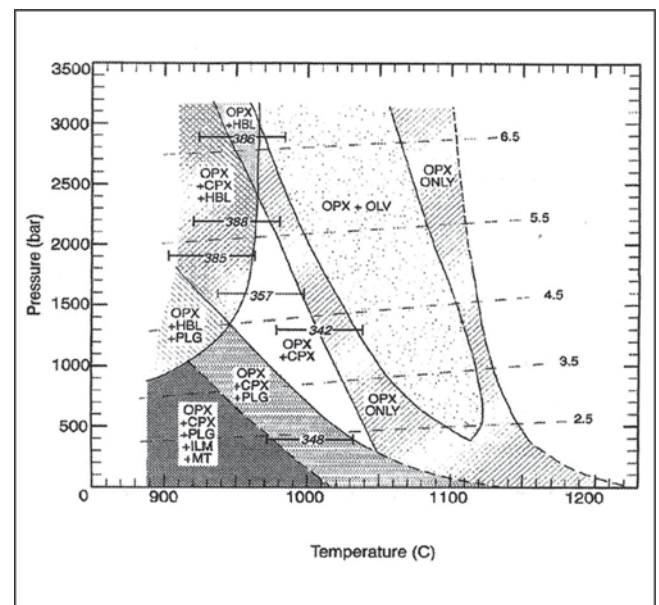
شکل ۶- نمودار Rb/Th در برابر Rb که نشان دهنده نتایج AFC (مدل تبلور بخشی همراه همضم) برای سنگ‌های ابارق است. همان طور که شکل نشان می‌دهد در نمونه‌های ابارق شواهد همضم پوسته‌ای به خوبی وجود دارد.



شکل ۵- نمودار Y/Rb که نشان دهنده بردارهای تفریقی رایلی است. این بردارها برای تبلور مجموعه‌های فازی نشان داده شده به مقدار ۵۰ رسم شده‌اند. مجموعه ابارق منطبق بر بردار ۴ (Keskin et al., 1998) می‌باشد (Pl, OPX, CPX, Mt)

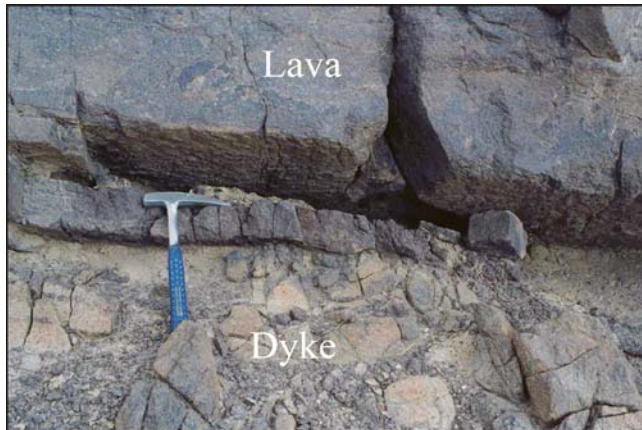


شکل ۸- تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس نمودار مثلثی  $TiO_2/100-La-Hf*10$  (Muller & Groves, 1993) مشابه شکل ۲. Detection limit توسط XRF برای عناصر ردیاب (Hf) برابر ۱ ppm است.

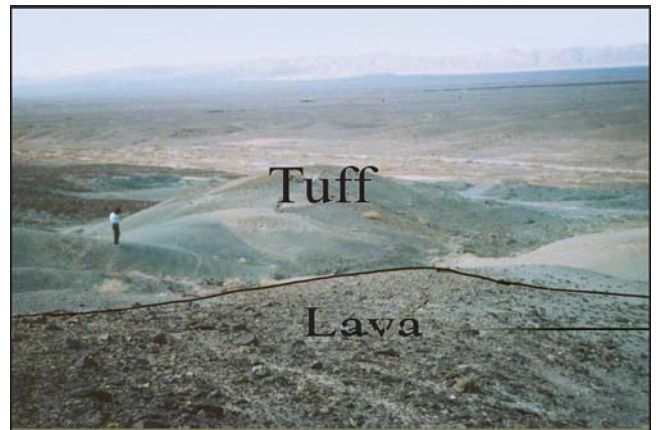


شکل ۷- محدوده‌های پایداری اشباع از آب برای مجموعه بلورهای موجود در آندزیت‌های غنی از سیلیس (Blatter et al., 2001)

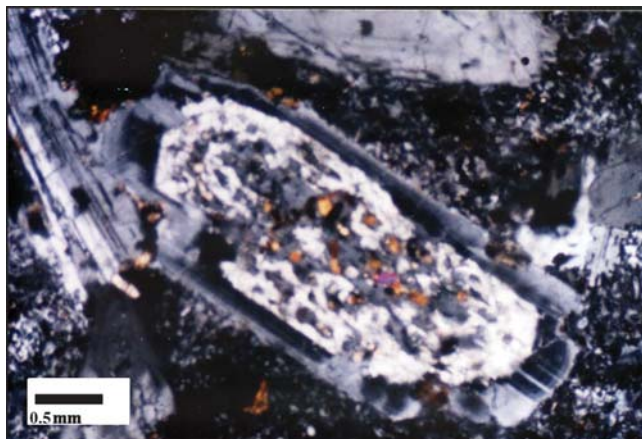




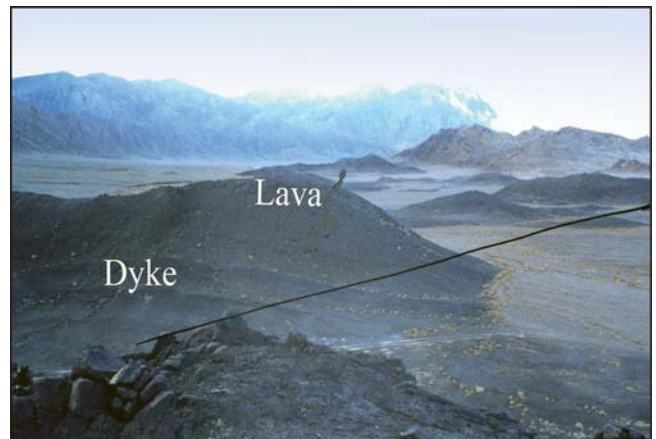
عکس ۲- مرز دایک‌ها (بخش پایینی عکس) و گدازه‌ها (قسمت بالای چکش).



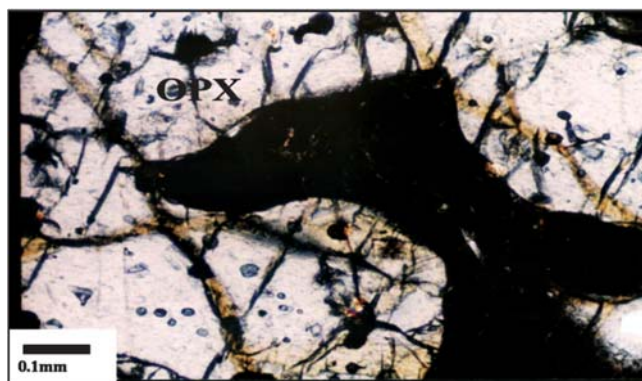
عکس ۱- مرز بین گدازه‌ها و توف‌های سبز رنگ ائوسن



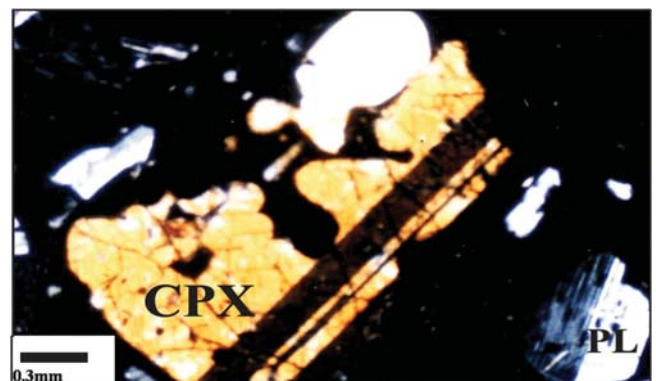
عکس ۴- تمرکز میانبارها و تشکیل بافت غربالی در مرکز بلور پلاژیوکلاز در گدازه‌های مورد مطالعه. همان گونه که دیده می‌شود در اطراف بلور اولیه پلاژیوکلازی متبلور می‌شود که میانبار ندارد و شکل داراست XPL.



عکس ۳- گسترش رخنمون دایک‌ها به صورت آپوفیزهای کوچک با امتداد شمالی- جنوبی.



عکس ۶- حاشیه خلیجی و خوردگی در ارتوپیروکسن موجود در دایک‌ها XPL.



عکس ۵- خردشدگی و تحلیل یافتگی حواشی بلور در کلینوپیروکسن (اوژیت- دیوپسید) در دایک‌های مورد مطالعه XPL.



## کتابنگاری

زاهدی، ا.، ۱۳۸۴- پتروگرافی، ژئوشیمی و پتروژنز گدازه‌ها و دایک‌های آندزیتی منطقه ابارق در شمال غرب شهرستان بم (استان کرمان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان

## References

- Blatter, D.L. and Carmichael, I.S.E., 2001- Hydrous phase equilibria of a Mexican high- silica andesite: A candidate for a mantle origin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 65, No.21, 4043-4065.
- Bonjour, J.L., Dabard, M P., 1991- Ti/Nb ratio of classic terrigenous sediments used as indicator of provenance. *J. Chem. Geol.*, 91, 257- 267.
- De Paolo, D.J., 1981- Trace element and isotopic effects of combined wall- rock assimilation and fractional crystallization. *Earth Planet. Sci. Lett.* 53, 189-202
- Dimitrijevic, M.D., 1973- Geology of Kerman Region, Geology Survey Of Iran, Report, Yu. 52p.
- Gill, j., 1981, Orogenic andesites and plate tectonic., Springer Verlag. 390p
- Girod, M., et Conrad, G., 1976- Les formations Volcaniques recentes du sudde I' Iran (Kouh- e- Shahsavaran): donnees petrologiques preliminaries; implication structurale. *Bull. Volcanol.* 39(4). 493-511.
- Gorgaud, A., Villemant, B., 1992- Evolution of magma mixing in an alkaline suite: the Grande Cascade sequence (monts- Dore, French Massif central). *Geochemical modeling.*
- Harrise, N.B.W., Pearce, J.A., Tindle, A.G., 1988- Geochemical characteristics of collision- zone magmatism. In: Coward, M.P., Ries, A.c Eds), *Collision tectonics. Geol. Soc. London Spec. Publ.* 19,67-81.
- Jackson, J., Mekenzie, D.p., 1984- Active tectonics of the Alpine Himalya Belt between Westren Turkey and Pakistan, *Geophys., J.R. Astron Soc.* 77,185-264.
- Keskin, M., Pearce, J.A., Mitchell, J.G., 1998- Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Tuekey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 85, 355-404.
- Kuno, H., 1950- Petrology Of Hakone Volcano and the adjacent areas in Japan, *Geol. Soc. Am. Bull.*, 61. 957-1020.
- Kushiro, I., 1975- On the nature of silicate melt and its significance in magma genesis : regularities in the shift of the liquids boundaries involving olivine, pyroxene and silica minerals, *Am.J. Sci.*, 275(4),411-31.
- Loomis, T.P., 1982- Numerical simulations of crystallization proceses of plagioclase in complex melt: the orogin of major and oscillatory zoning in plagioclase. *Contrb. Min.Pet.*,81,219-29.
- Muller, D., Groves, DI., 1993- Direct and indirect associations between potassic igneous rocks, Shoshonites and gold- copper deposits. *Ore Geol. Rev.* 8:383-406.
- Nelson, G.T. and Pearce, T.H., 1968- Wapiti formation and trout peak trachyandesite northwestern Wyoming. *US Geol.Surv. Bul. no1254-H*, 1-11
- Norman, M.D., Leeman, W.P., 1990- Open system magmatic evolution of andesites and basalts from the salmon creek volcanics, south western Idaho. *U.S.A. Chem. Geol* 81,167-189.
- Notsu, K., Fujitani, T.Ui., Matsuda, J., Ercan, T., 1995- Geochemical features of collision- related volcanic rocks in central and estern Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research* 64, 171-192.
- Pearce, J.A., 1982- Trace element characteristic of lava from destructive plate boundaries. In: R.S. Thorope (Editore), *Andesites. John Wiley and Sons, Chicheter*, pp. 525.548.
- Pearce, J.A. and Cann, J.R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Sci.Lett.*, 19:290-300.
- Pearce, J.A. Bender, J.F., De Long, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Guner, Y., Saraghu, F., Yilmaz, Y., Moorbath, S., Mitchell, J.G., 1990- Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *J. Volcanol. Geothermal. Res.* 44, 189-229.
- Peccerillo, A. and Taylor, S.R., 1976- Geochemistry of Eocene Calc – alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contr. Mineral . Petrol.* 58,63-81.
- Stephen, T., Nelson, S.T. and Montana, A., 1992- Sieve- Texture plagioclase in volcanic rocks produced by rapid decompression . *Am. Mineral.*, 77:1242-1249.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985- *The Continental Crust: Its Composition and Evolution. Geoscience Texts*, Blackwell Scientific Publications, London, 312p.
- Wilson, M., 1989, *Igneous Petrogenesis; A Global Tectonic Approach.* Unwin Hyman, London, 466p.