

Geochemical and tectonomagmatic investigation of gabbros in southwest of Shahr-Babak, Kerman province

M. Dorany^{1,2}, A. Moradegan¹

1- Department of Geology, shahid Bahonar university of Kerman, Kerman

2-International Center for Science and high Tecnology and Environmental Sciences

Email: dorani@graduate.uk.ac.ir

(Received:2006/7/29, received in revised form:2007/4/7)

Abstract: The studied intrusions with parallel northwest – southeast trend, are located in southwest of Robat Village, Shahr-babk. General exposure of the northern trend is massive and consists of urallitized gabbro, hornblende gabbro, olivine gabbro, anortosite and plagiogranitic dikes and are highly altered. The composition of rocks in the southern trend consists of dunite, pyroxenite, olivine gabbro and troctolite and is very fresh and has cumulate textures. On the base of chemical analysis, using of ICPAES and ICP-MS method, these rocks are located in the low potassium tholeiitic field. Also by using of tectonic setting diagrams, the studied intrusions display extensional marginal basin characteristic. The rare and trace elemental pattern of these rocks have a descending trend from low to high elements and the examples of anomalies are the positive crest of Sr and the negative crest of Nb. Also the study of REE trend show that the tholeiitic magma may have formed in the upper pridotitic mantle.

Keywords: *gabbro, Extensional Marginal basin, Kermanshah Province, Shahr Babak.*



بررسی ژئوشیمیایی و تکتونماگمایی توده‌های گابرویی جنوب غرب شهرستان شهربابک، استان کرمان

مریم درانی^۱ – عباس مرادیان^۱

۱- بخش زمین شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی

پست الکترونیکی: dorani@graduate.uk.ac.ir

(دریافت مقاله ۱۳۸۵/۵/۷، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۶/۱/۱۸)

چکیده: توده‌های نفوذی مورد مطالعه به صورت دو روند موازی با هم که امتداد آنها شمال غربی-جنوب شرقی است، در جنوب غربی روستای رباط، شهرستان شهربابک قرار دارند. در دیواره شمالی رخنمون کلی آنها به صورت توده‌ای متشکل از گابروهای اورالیتیزه، هورنبلند گابرو، الیوین گابرو، آنورتوزیت، و دایکهای پلاژیوگرانییتی است، و دگرسانی بسیار زیادی را نشان می‌دهند. تنوع سنگی دیواره جنوبی که حالت لایه‌ای دارند، شامل دونیت، پیروکسنیت، الیوین گابرو و تروکتولیت است. سنگهای این بخش تا حد بسیار زیادی نادگرسان‌اند و دارای بافت‌های کومولایی هستند. بر اساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی، توده‌های مورد نظر در زمره سنگهای تولییتی کم پتاسیم قرار می‌گیرند. همچنین با استفاده از نمودارهای جدا کننده محیط زمین-ساختی، توده‌های مورد نظر در گستره حوضه حاشیه‌ای کششی قرار می‌گیرند. نمودار الگوی عناصر کمیاب توده‌های مورد مطالعه، روند نزولی را از عناصر سبک به سنگین نشان می‌دهد و از جمله بی‌هنجاریهای موجود در این نمودار، قله مثبت Sr و قله منفی Nb است. همچنین بررسی الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی، تشکیل ماگمای تولییتی را از یک پریدوتیت گوشته فوقانی پیشنهاد می‌کند.

واژه‌های کلیدی: گابرو، حوضه حاشیه‌ای کششی، استان کرمان، شهربابک.

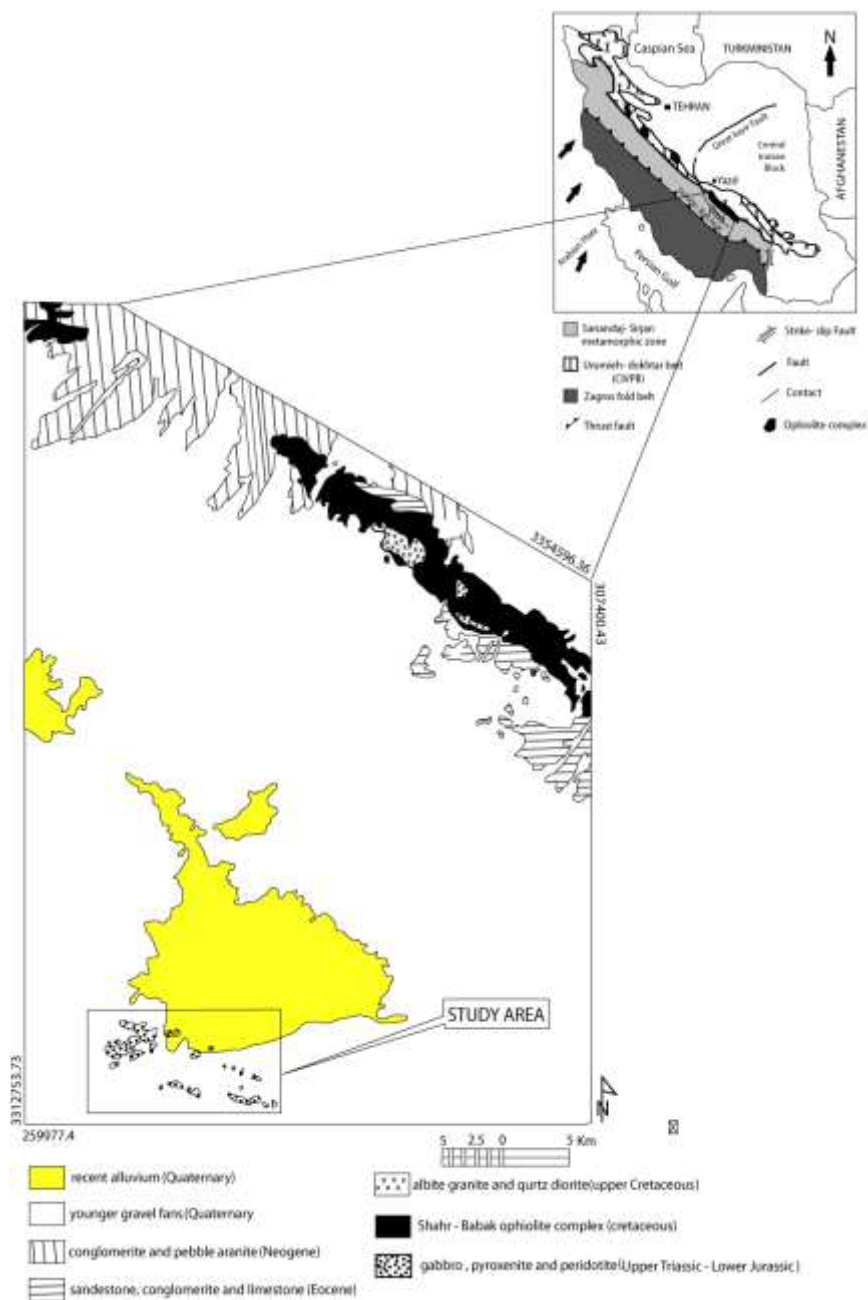
مقدمه

در بررسی‌های سنگ‌شناختی، گابروها یک گروه از سنگ‌های درونی بازیک هستند که به صورت تمام بلورین و معمولاً درشت دانه حضور دارند، و اساساً شامل پلاژیوکلازهای بازیک و یک یا تعداد بیشتری از کانیه‌های فرومنیزیم (مانند اوژیت، هورنبلند، هیپرستن و الیوین) هستند. این سنگ‌های بازیک تمام بلورین بر اساس ترکیب کانی‌شناسی به گروه‌های زیادی مثل، انواع گابرو، نوریت، تروکتولیت، الیوین گابرو و الیوین نوریت تقسیم می‌شوند.

منطقه مورد مطالعه در جنوب غربی استان کرمان، شهرستان شهربابک و روستای رباط، بین طول‌های جغرافیایی ۳۵° و ۵۴° تا ۴۴° و ۵۴° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° و ۲۹° تا ۵۶° و شمالی قرار دارد. این منطقه از لحاظ زمین‌شناسی در جنوب‌شرقی کمر بند دگرگونی سنندج- سیرجان واقع شده و روند عمومی ساختارهای آن از روند عمومی این کمر بند پیروی می‌کند (شکل-۱). بررسی‌های قبلی انجام شده روی این منطقه، منحصر به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ از سوی سازمان زمین‌شناسی [۱] است، که بر اساس آن همه توده‌های گابرویی دارای واحدهای گابرویی، پیروکسنیتی، و پریدوتیتی هستند (شکل-۲). دو رخنمون کلی در سنگ‌های نفوذی این منطقه مشاهده می‌شود که شامل حالت توده‌ای و لایه‌ای در سنگ‌های نامبرده است. در حالتی که سنگ‌ها به صورت توده‌ای هستند، تغییرات کلی را از جنوب‌شرقی به شمال‌غربی از خود نشان می‌دهند که این تغییرات تدریجی است. حالت لایه‌ای در بعضی از سنگ‌های منطقه مورد مطالعه به روشنی دیده می‌شود که بر اساس تغییر روشن ترکیب لایه‌ها، لایه‌بندی موجود از نوع فازی است [۲]. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از تجزیه‌های شیمیایی، شواهد صحرایی، ترکیب کانی‌شناسی و بافت‌شناسی، خاستگاه زمین‌ساختی و درونزادی توده‌های گابرویی منطقه را مورد بررسی قرار دهیم.

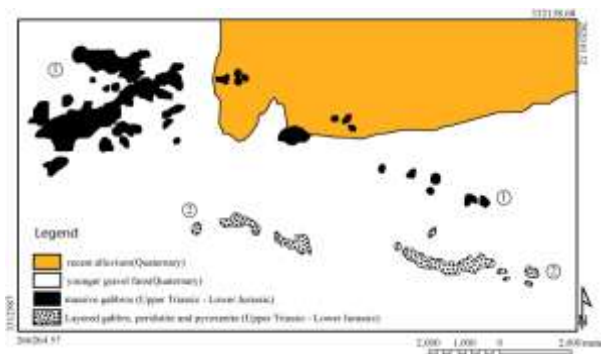
روش کار

برای بررسی توده‌های مورد نظر، نمونه‌برداری به طور کاتوره‌ای در چند مقطع جداگانه صورت گرفت و در حدود ۸۰ نمونه جمع‌آوری شدند. سپس به منظور بررسی میکروسکوپی، مقطع نازکی از آنها تهیه شد و پس از بررسی‌های سنگ‌شناختی، ۱۵ نمونه سنگی نادگرسا انتخاب و به منظور تجزیه‌های شیمیایی به روش‌های ICP-MS و ICP-AES به شرکت ALS Chemex کانادا ارسال شدند (جدول-۱). برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی، از نرم افزار igpet برای رسم نمودارهای مختلف در این کار استفاده شد.



شکل ۱ الف- موقعیت منطقه مورد مطالعه در زون سنندج- سیرجان [۳]

ب- نقشه ناحیه‌ای منطقه و موقعیت آن نسبت به افیولیت‌های شهربابک.

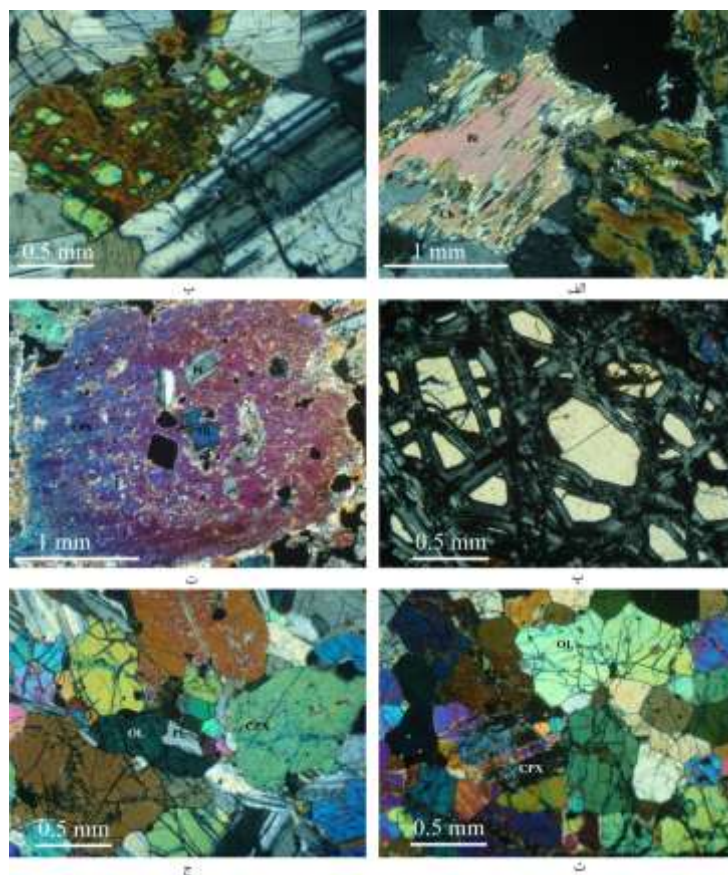


شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

رده‌بندی سنگهای آذرین منطقه بر اساس بررسیهای سنگ‌شناختی و داده‌های ژئوشیمیایی سنگهای آذرین نفوذی این منطقه به صورت دو روند تقریباً موازی و با فاصله تقریبی دو کیلومتر با یکدیگر دیده می‌شوند و روند گسترش آنها شمال غربی-جنوب شرقی است (شکل-۲). تفاوت کلی این دو روند موازی، در رخمون، ترکیب کانی‌شناسی، و میزان دگرسانی است. در روند ۱ (گابروهای توده‌ای، شکل-۲)، سنگها به صورت توده‌ای و تا حد بسیار زیادی دگرسان و هوازده‌اند. ترکیب این توده‌ها به تدریج از جنوب شرقی به شمال غربی، از میفیک به فلسیک‌تر تغییر می‌کند و شامل گابروهای اورالیتیزه، هورنبلند گابرو، الیوین گابرو، آنورتوزیت و دایکهای پلاژیوگرانیته است و انباشت کانیایی آنها شامل کانیهای اصلی پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلینوپیروکسن، الیوین و کانیهای فرعی اسفن، آپاتیت، مقدار کمی بیوتیت، کوارتز و کانیهای دگرسان کلریت، بیوتیت، اپیدوت (شکل-۳ الف)، سرپانتین، ترمولیت و کانیهای کدر است. این سنگها اغلب دارای بافتهای گرانولار و پوئی کلیتیک‌اند که بر اثر شدت دگرسانی، به ویژه اورالیتی و سوسوریتی شدن، و خردشدگی شدید ناشی از حرکت گسلها، در بسیاری از موارد بافت اولیه خود را از دست داده‌اند.

این توده‌ها همچنین به وسیله سنگهای گرانیتوئیدی قطع شده‌اند و این حالت موجب درهم ریختگیهایی در آنها شده است. سنگهای گرانیتوئیدی نفوذ کرده در این توده‌ها به صورت آپوفیزهای پلاژیوگرانیته‌اند.

در روند ۲ (گابروهای لایه‌ای، شکل-۲)، سنگها تا حد بسیار زیادی فاقد دگرسانی‌اند و اغلب حالت لایه‌ای نشان می‌دهند. با توجه به بررسیهای کانی‌شناسی و مدال، سنگهای مورد مطالعه طیف ترکیبی متنوعی متشکل از دونیت، الیوین کلینوپیروکسنیت، الیوین گابرو، (ملا گابرو-مزو گابرو)، و تروکتولیت (شکل-۳ ب) را در بر می‌گیرند که شامل کانیهای اصلی



شکل ۳ الف) دگرش بلورهای بیوتیت به بلورهای کلریت و اپیدوت در نمونه پلاژیوگرانیت (XPL, F.W, 1.75*2.5 mm² ب) شکستگی بلور پلاژیوکلاز در اثر پدیده سرپانتینی شدن بلورهای الیوین در نمونه تروکتولیتی (XPL, F.W, 1.75*2.5 mm² پ) بافت باقیمانده در نمونه دونیتی (XPL, F.W, 1.75*2.5 mm² ت) بافت پوئی کلتیک در بلورهای کلینوپیروکسن (XPL, F.W, 1.75*2.5 mm² ث) بافت ادکومولا در نمونه دونیت (XPL, F.W, 0.75*1 mm² ج) بافت ارتوکومولا در نمونه الیوین گابرو (XPL, F.W, 0.75*1 mm² Bi) = بیوتیت، Ch = کلریت، Ep = اپیدوت، Ol = الیوین، Cpx = کلینوپیروکسن، pl = پلاژیوکلاز).

پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیوین هستند. سنگهای اولترا بازیک این ناحیه دگرسانی بسیار شدیدی را از خود نشان می‌دهند. به طور مثال، بیش از نود درصد سنگهای دونیتی این منطقه به سرپانتین تبدیل و موجب بافتهای باقیمانده (شکل ۳ پ) و توری شده‌اند. در سنگهای دیواره

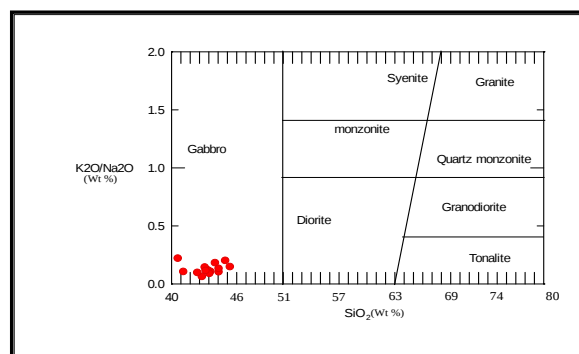
جنوبی می‌توان بافت‌های غالب پوئی کلیتیک، ادکومولا و ارتوکومولا را به خوبی دید که دو مورد آخر از جمله شواهد گابروهای لایه‌ای به شمار می‌آیند (شکل ۳ ت، ث، ج).

ژئوشیمی

برای بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی مورد نظر، با توجه به اینکه سنگ‌های اولترابازیک منطقه به شدت دگرسان بودند و احتمال خطا در نتایج حاصله زیاد بود، لذا تنها از نمونه‌های بازیک و نادگرسان برای آنالیزهای شیمیایی استفاده شد (جدول ۱)، که بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های بازیک مورد مطالعه، از نمودار تغییرات SiO_2 نسبت به $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ [۴] برای رده‌بندی و نامگذاری آنها استفاده شده است (شکل ۴). بنابر نتایج به دست آمده از این نمودار، نمونه‌های مورد مطالعه در گستره گابرو قرار می‌گیرند.

برای تعیین چگونگی درجهٔ قلیایی (آلکالینیته) سنگ‌های آذرین بازیک مورد مطالعه، از نمودار K_2O درمقابل SiO_2 [۵] استفاده شد (شکل ۵). این نمودار برای تقسیم‌بندی سری‌های نیمه قلیایی به کار می‌رود. اصطلاحات به کار رفته در این نمودار، با عبارتهای سری K پایین (تولیتی)، سری کالک آلکالن و سری K بالا (کالک آلکالن) در تقسیم‌بندی [۵] با عبارتهای بازالت نیمه قلیایی K پایین، بازالت نیمه قلیایی و بازالت قلیایی که توسط [۶] به کار رفته‌اند، همخوانی دارند. با توجه به توزیع نمونه‌های روی این نمودار (شکل ۵)، ملاحظه می‌شود که نمونه‌ها در گستره سری‌های K پایین (تولیتی) قرار می‌گیرند.

در ادامه این بحث، برای تعیین چگونگی قلیایی آهکی یا تولیتی بودن نمونه‌های سنگی مورد مطالعه، از نمودار AFM [۵] استفاده شده است که در این نمودار نمونه‌ها در گستره ترکیبی سنگ‌های تولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۶).



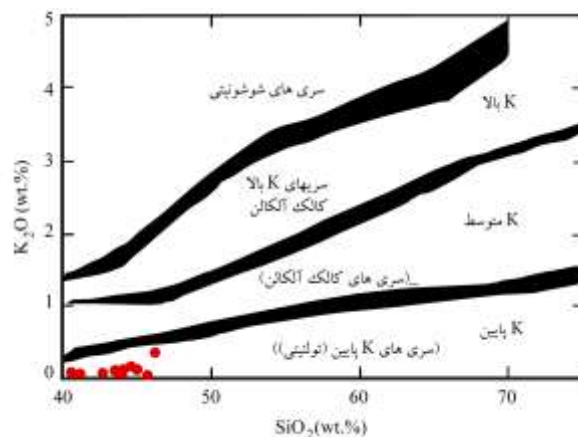
شکل ۴ موقعیت نمونه‌های توده‌های نفوذی مورد مطالعه در تقسیم‌بندی میسون [۴].

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی انجام شده برای اکسیدهای اصلی (بر حسب درصد وزنی) به روش ICP-MS و ICPAES عناصر فرعی (بر حسب ppm) به روش ICP-MS.

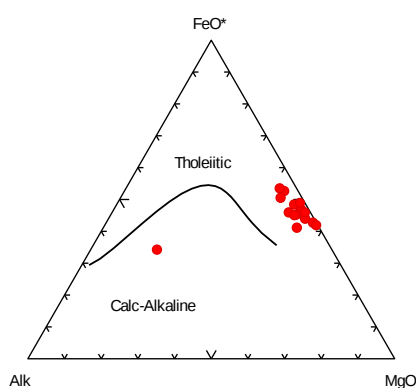
شماره نمونه	2R22	2R1	2R37	2R31	2R20	1R15	1R22
SiO ₂	۴۲٫۸	۴۴٫۷	۴۰٫۷	۳۹٫۴	۴۳٫۷	۴۵٫۱	۴۶٫۳
TiO ₂	۰٫۲۱	۰٫۱۸	۵٫۳۴	۰٫۱۱	۰٫۴۷	۰٫۲۸	۰٫۰۷
Al ₂ O ₃	۱۵٫۶	۲۰٫۵	۹٫۲۴	۱۰٫۵۵	۱۸٫۹۵	۱۸	۳۱٫۲
Fe ₂ O ₃	۱۴٫۵	۹٫۷۱	۱۵٫۹۵	۲۲٫۲	۱۰٫۶۵	۱۰٫۹	۲٫۰۹
MnO	۰٫۲۳	۰٫۱۵	۰٫۲۷	۰٫۳۳	۰٫۱۶	۰٫۱۷	۰٫۰۳
MgO	۱۴٫۱	۱۰٫۳	۱۷٫۹۵	۲۲٫۲	۸٫۹۶	۱۱٫۸	۱٫۰۸
CaO	۱۰٫۶۵	۱۳٫۰۵	۹٫۸۴	۸٫۴۵	۱۳٫۳۵	۱۲٫۵	۱۴٫۶۵
Na ₂ O	۰٫۸۳	۰٫۹۴	۰٫۴۱	۰٫۵۳	۱٫۰۶	۰٫۹۹	۲٫۴۵
K ₂ O	۰٫۰۸	۰٫۱۷	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۳۶
P ₂ O ₅	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۰۶	<۰٫۰۱	۰٫۰۵
SrO	۰٫۰۹	۰٫۱۱	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۰۹	۰٫۲
BaO	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۵	۰٫۰۲
LOI	۰٫۳۲	۰٫۱۸	۰٫۳۲	۰٫۳۶	۰٫۶۷	۰٫۲۱	۱٫۵۱
Total	۹۹٫۱۳	۱۰۰	۹۹٫۹۲	۱۰۰٫۸۶	۹۸٫۳	۱۰۰	۱۰
عناصر کمیاب (ppm)							
Ba	۶۷٫۳	۸۱٫۵	۵۵٫۸	۳۹	۸۲٫۱	۵۸	۱۳۷٫۵
Ce	۶٫۵	۷٫۹	۱۶٫۱	۳٫۱	۸٫۴	۶٫۴	۲
Co	۸۵٫۴	۵۸٫۴	۱۰۲	۱۳۹	۵۰٫۴	۶۱٫۶	۷٫۳
Cr	۳۷۰	۳۳۰	۶۴۰	۵۱۰	۳۱۰	۴۰۰	۱۳۰
Cs	۰٫۲۷	۰٫۳۷	۰٫۲۷	۰٫۵	۰٫۲۵	۰٫۸۱	۰٫۸۹
Dy	۰٫۹۶	۱٫۰۲	۱٫۸۲	۰٫۱۵	۱٫۳	۱٫۲۱	۰٫۱۵
Er	۰٫۵۵	۰٫۵۴	۱٫۰۶	۰٫۱	۰٫۷۵	۰٫۶۴	۰٫۰۷
Eu	۰٫۶	۰٫۷۶	۰٫۵۹	۰٫۲۶	۰٫۷۴	۰٫۵۳	۰٫۸
Ga	۱۵٫۲	۱۸٫۵	۱۰٫۹	۹٫۹	۱۸٫۳	۱۷٫۲	۲۶٫۶
Gd	۱٫۰۳	۱٫۱۸	۲	۰٫۱۸	۱٫۳۸	۱٫۲۴	۰٫۳۲
Hf	۰٫۴	۰٫۵	۸	<۰٫۲	۰٫۵	۰٫۴	<۰٫۲
Ho	۰٫۱۹	۰٫۱۹	۰٫۳۷	۰٫۰۳	۰٫۲۵	۰٫۲۳	۰٫۰۲
La	۳٫۵	۴٫۳	۷٫۴	۲	۴٫۳	۳٫۱	۵
Lu	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۶	۰٫۰۳	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۱
Nb	۰٫۴	۰٫۴	۱۶۲	۰٫۳	۰٫۶	۰٫۴	۰٫۲
Nd	۴٫۲	۴٫۹	۹٫۳	۱٫۲	۵٫۶	۴٫۳	۲٫۸
Ni	۱۹۶	۱۲۱	۲۵۸	۴۲۴	۷۵	۱۳۲	۱۲
Pr	۰٫۸۵	۱٫۰۴	۲٫۱۴	۰٫۳	۱٫۱۶	۰٫۸۹	۰٫۷۴
Rb	۱٫۷	۳٫۶	۱٫۹	۱	۲٫۹	۳	۹
Sm	۰٫۹۹	۱٫۱	۱٫۹۴	۰٫۱۷	۱٫۳۵	۱٫۲۸	۰٫۳۴
Sr	۸۱۷	۱۰۰۵	۴۶۵	۵۴۸	۱۰۱۰	۸۸۷	۱۶۸۵
Ta	۰٫۱	۰٫۱	۱۰٫۷	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
Tb	۰٫۱۷	۰٫۱۸	۰٫۳۳	۰٫۰۲	۰٫۲۳	۰٫۲۲	۰٫۰۳
Th	۰٫۱۷	۰٫۲۶	۲٫۹	۰٫۰۷	۰٫۲۲	۰٫۳۶	۰٫۱۱
Tm	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۱۵	۰٫۰۲	۰٫۱	۰٫۰۸	۰٫۰۱
U	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۱٫۷۶	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۹	<۰٫۰۵
V	۱۳۷	۱۳۹	۲۸۰	۸۹	۲۴۸	۱۹۹	۳۱
Y	۵٫۲	۵٫۷	۱۰٫۲	۱٫۳	۷٫۱	۶٫۶	۱٫۲
Yb	۰٫۴۸	۰٫۴۷	۱٫۰۵	۰٫۱۴	۰٫۶۳	۰٫۵۵	۰٫۰۳
Zr	۱۱٫۹	۱۵	۳۰۰	۲٫۹	۱۱٫۶	۱۱٫۴	۴٫۱
P	۴۳٫۶	۱۳۰٫۹	۴۳٫۶	۳۹۲٫۸	۲۶۱٫۸	۰٫۰۱	۲۱۸٫۲
K	۶۶۳٫۹	۱۴۱۰٫۷	۷۴۶٫۸	۴۹۷٫۹	۹۹۵٫۸	۱۰۷۸٫۸	۲۹۸۷٫۵

ادامه جدول ۱

شماره نمونه	2R18	1R18	2R23	2R13	2R6	2R28	2R35	2R9
SiO ₂	۴۱٫۳	۴۴٫۲	۴۵٫۱	۴۵٫۸	۴۳٫۹	۴۳٫۳	۴۴٫۱	۴۳٫۶
TiO ₂	۰٫۴۶	۰٫۱۶	۰٫۲۳	۰٫۳۳	۰٫۳۷	۰٫۲۶	۰٫۶۱	۰٫۲۱
Al ₂ O ₃	۱۴٫۹۵	۲۰٫۸	۱۹	۳٫۳	۱۰٫۳	۱٫۶۴	۱۷٫۳	۱۸٫۴
Fe ₂ O ₃	۱۴٫۰۵	۹٫۴۹	۱۰٫۵	۱۵٫۷	۱۵٫۹	۱۸٫۸۵	۱۲٫۵	۱۰٫۱۵
MnO	۰٫۲۳	۰٫۱۵	۰٫۱۸	۰٫۲۸	۰٫۲۴	۰٫۲۹	۰٫۱۸	۰٫۱۶
MgO	۱۶٫۷	۱۱٫۸۵	۱۰٫۷	۲۰٫۲	۱۶٫۸۵	۲۵٫۳	۱۰٫۰۵	۱۱٫۰۵
CaO	۹٫۴۶	۱۱٫۳	۱۲٫۵	۱۲٫۳	۱۰٫۴۵	۸٫۷۷	۱۲٫۸	۱۳٫۲۵
Na ₂ O	۰٫۶۷	۱٫۲۲	۱٫۱۷	۰٫۲۵	۰٫۵۹	۰٫۱۶	۰٫۷۹	۰٫۷۷
K ₂ O	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۰۷	۰٫۰۱	۰٫۰۷	۰٫۱۱
P ₂ O ₅	۰٫۰۸	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	<۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۳
SrO	۰٫۰۸	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۱	۰٫۰۵	<۰٫۰۱	۰٫۰۹	۰٫۱
BaO	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	<۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۵	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۱۱	۰٫۰۳	۰٫۰۴
LOI	۰٫۰۶	۰٫۷۵	۰٫۴۵	۰٫۵۹	۰٫۱۱	۰٫۳۷	۰٫۳	۰٫۱۸
Total	۹۸٫۰۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۸٫۹	۹۸٫۹۱	۹۹٫۱	۹۸٫۶	۹۸٫۱
عناصر کمیاب (ppm)								
Ba	۳۹٫۷	۱۱۰٫۵	۱۰۱٫۵	۲۳٫۴	۴۴٫۹	۱۳٫۴	۵۲٫۸	۵۶٫۸
Ce	۳٫۹	۹٫۵	۹٫۲	۸٫۴	۸٫۱	۱۰٫۴	۶٫۸	۶٫۱
Co	۷۴٫۳	۶۴٫۶	۵۸٫۵	۹۸٫۳	۹۴٫۵	۱۳۲٫۵	۶۴٫۳	۶۲٫۸
Cr	۳۷۰	۴۴۰	۳۸۰	۵۱۰	۴۸۰	۸۷۰	۲۸۰	۳۳۰
Cs	۰٫۱	۰٫۶۷	۰٫۱۷	۰٫۲۴	۰٫۲۲	۰٫۰۹	۰٫۳۱	۰٫۲۱
Dy	۰٫۵۵	۰٫۵۸	۱٫۲۸	۲٫۶۷	۱٫۷۶	۲٫۷	۱٫۴	۱٫۰۶
Er	۰٫۲۳	۰٫۲۸	۰٫۷۶	۱٫۴۴	۰٫۹۹	۱٫۵۱	۰٫۷۵	۰٫۵۶
Eu	۰٫۳۷	۰٫۶۹	۰٫۷۶	۰٫۶۱	۰٫۵۸	۰٫۵۳	۰٫۶۶	۰٫۴۶
Ga	۱۴٫۶	۱۸٫۵	۱۷٫۱	۶	۱۱٫۶	۳٫۹	۱۸٫۸	۱۷
Gd	۰٫۵۶	۰٫۸۲	۱٫۴	۲٫۶۲	۱٫۷۸	۲٫۷۵	۱٫۵۲	۱٫۱
Hf	۰٫۷	۰٫۴	۰٫۴	۰٫۸	۰٫۵	۰٫۹	۰٫۵	۰٫۴
Ho	۰٫۱۱	۰٫۱	۰٫۲۵	۰٫۵	۰٫۳۳	۰٫۵۵	۰٫۲۹	۰٫۲
La	۲٫۲	۶٫۳	۵٫۱	۲٫۹	۳٫۸	۳٫۴	۳	۳
Lu	۰٫۰۵	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۱۹	۰٫۱۳	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۰۷
Nb	۸٫۹	۱٫۹	۱٫۱	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۴	۰٫۷	۰٫۵
Nd	۲٫۲	۴٫۳	۵٫۵	۸	۶٫۳	۱۰	۵٫۱	۴٫۳
Ni	۱۱۹	۱۸۲	۱۳۶	۲۰۳	۱۹۶	۳۹۱	۹۶	۱۱۶
Pr	۰٫۴۹	۱٫۰۷	۱٫۱۸	۱٫۴۸	۱٫۲۵	۱٫۸	۱	۰٫۸۵
Rb	۰٫۹	۲٫۲	۱٫۲	۳	۱٫۵	۰٫۷	۱٫۸	۲٫۵
Sm	۰٫۶	۰٫۷۸	۱٫۳۷	۲٫۶۴	۱٫۸۶	۲٫۷۹	۱٫۴۲	۱٫۱
Sr	۷۱۲	۹۳۴	۹۳۳	۱۳۰	۵۴۱	۵۱٫۲	۹۱۵	۹۱۹
Ta	۰٫۶	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	<۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
Tb	۰٫۱	۰٫۱۱	۰٫۲۲	۰٫۴۴	۰٫۲۹	۰٫۴۹	۰٫۲۴	۰٫۱۹
Th	۰٫۲۵	۰٫۱۲	۰٫۱۶	۰٫۳۸	۰٫۱۸	۰٫۲	۰٫۱۶	۰٫۲۶
Tm	۰٫۰۴	۰٫۰۴	۰٫۱	۰٫۱۹	۰٫۱۴	۰٫۲۲	۰٫۱۱	۰٫۰۷
U	۰٫۱۳	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۱۳	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۶	۰٫۰۸
V	۱۲۷	۴۷	۱۰۲	۲۳۶	۲۲۷	۱۵۰	۵۹۰	۱۸۲
Y	۳٫۳	۳٫۳	۷٫۲	۱۴	۹٫۴	۱۴٫۶	۷٫۵	۵٫۸
Yb	۰٫۳	۰٫۲۶	۰٫۶۵	۱٫۲	۰٫۸۴	۱٫۳۲	۰٫۶۶	۰٫۵
Zr	۲۶٫۱	۱۵	۹٫۵	۳۰	۱۳٫۴	۲۳٫۶	۱۳٫۴	۱۳٫۶
P	۳۴۹٫۱۹	۴۳٫۶	۴۴٫۶	۸۷٫۲	۸۷٫۲	۰٫۰۱	۱۳۰٫۹	۱۳۰٫۹
K	۵۸۰٫۹	۱۰۷۸٫۸	۹۹۵٫۸	۴۱۴٫۹	۵۸۰٫۹	۸۲٫۹	۵۸۰٫۹	۹۱۲٫۸



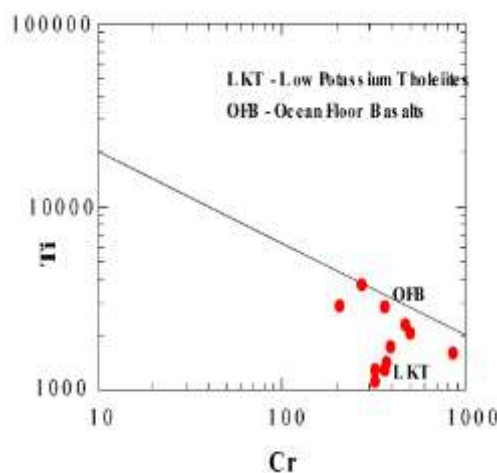
شکل ۵ تقسیم بندی سنگهای غیر آلكالن با استفاده از نمودار K_2O در مقابل سیلیس [۵].



شکل ۶ تعیین سری ماگمایی توده های نفوذی بر اساس نمودار [۵].

یکی از نمونه های مورد مطالعه، در منطقه قلیایی آهکی واقع می شود که دلیل آن به علت دارا بودن مقادیر بالاتر K_2O و Na_2O و Al_2O_3 و پایین بودن مقادیر FeO و MgO نسبت به نمونه های دیگر است. این نمونه مربوط به بخش های دگرسان منطقه است که به علت پدیده دگرسانی، میزان عناصر قلیایی در آن افزایش یافته است.

از طرف دیگر برای اطمینان از نتیجه به دست آمده، از نمودار $Log\ Cr-Log\ Ti$ [۷] استفاده شد که در آن نمونه ها در منطقه تولیتی کم پتاسیم قرار می گیرند (شکل ۷) و این نتیجه می تواند تأیید کننده نظریه عدم وجود دگرتهادی پتاسیک (به جز در یک مورد) در سنگهای مورد مطالعه باشد.

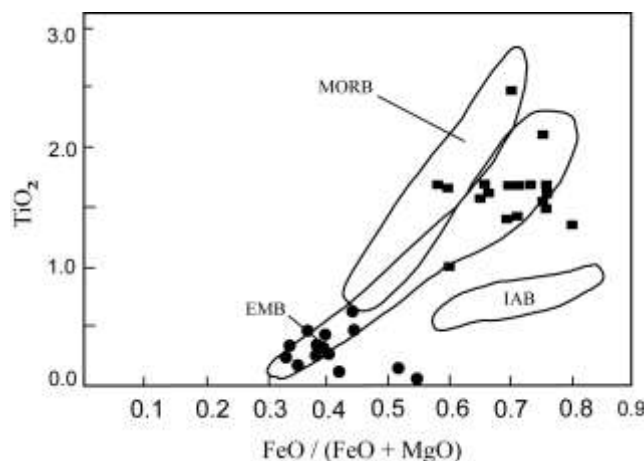


شکل ۷. تعیین سری ماگمایی توده‌های نفوذی بر اساس نمودار [۷].

خاستگاه زمین‌ساختی و چگونگی جایگزینی توده‌های نفوذی بازیک

با توجه به عدم ارتباط چینه‌شناسی بین توده‌های نفوذی مورد مطالعه و توده‌های گرانیتوئیدی، و دگرگونی این منطقه و ویژگی‌های گابروهای مورد مطالعه (لایه‌ای و همسانگردی آنها) که بی شباهت به گابروهای افیولیتها نیستند، و نیز نزدیکی این توده‌های نفوذی با همبافت افیولیتی شهربایک، برای آگاهی بهتر از خاستگاه زمین‌ساختی و چگونگی جایگزینی توده‌های نفوذی مورد نظر، منطقه با دیدی کلی و ناحیه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. بر همین اساس علاوه بر مشاهدات صحرایی و بررسیهای سنگ‌شناختی، از آنالیزهای شیمیایی موجود در مورد افیولیت‌های شهربایک نیز استفاده شده است [۸].

برای بررسی دقیق موقعیت زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه از نمودار TiO_2 نسبت $FeO/(FeO+MgO)$ یاری گرفته شد (شکل ۸) [۹]، که بنا بر نتایج به دست آمده از این نمودار، نمونه‌های مورد نظر در گستره حوضه حاشیه‌ای کششی قرار می‌گیرند که قابل مقایسه با نمودارهای ترسیم شده در مرجع [۱۰] می‌باشند. در مرجع [۱۰] افیولیت‌های شهربایک از نوع حوضه حاشیه‌ای کششی ذکر شده است. البته لازم به یادآوری است که اگر بخواهیم نتایج به دست آمده از نمودار ۸ را تفسیر کرده و ارتباط منطقی بین آن و منطقه مورد مطالعه را برقرار کنیم، باید به تاریخ تحول زمین‌ساختی منطقه توجه کنیم. به طور مثال، در مرجع [۱۰] بر اساس روابط سنی، ژئوشیمیایی، داده‌های ایزوتوپی، و شواهد ژئوفیزیکی، تکامل زمین‌ساختی منطقه بین کرمان و نیریز و چگونگی تشکیل و جایگیری افیولیت‌های شهر بابک به صورت زیر پیشنهاد شده است (شکل ۹).

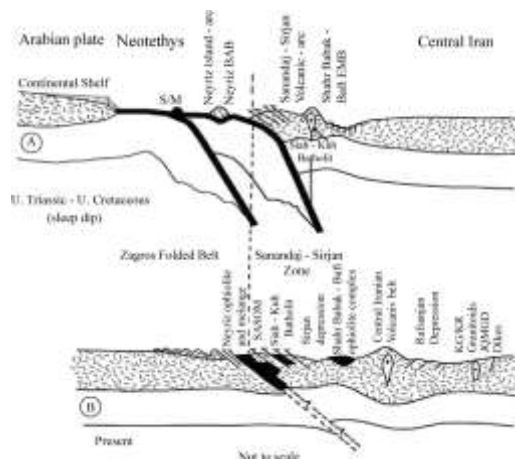


شکل ۸. تعیین خاستگاه زمین‌ساختی سنگهای گابرویی بر اساس نمودار [۸]. مربع‌های تو پر، همبافت افیولیتی شهر بابک [۹]، و دایره‌های تو پر گابروهای منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهند. بازالت پشته میان اقیانوسی، گابرو و بازالت حوضه حاشیه کششی، و بازالت جزیره قوسی، به ترتیب و به اختصار به صورت MORB، EMB، و IAB نوشته شده‌اند.

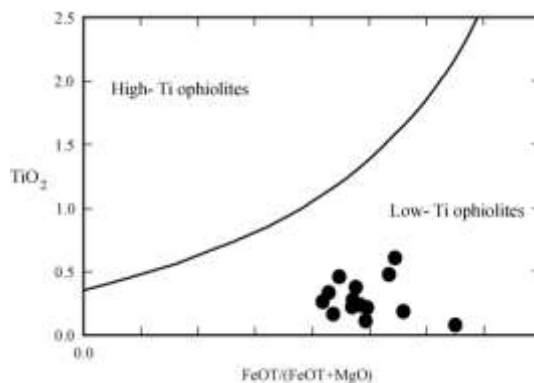
"دو زون فرورانش نئوتتیس که هم‌شیب به سمت شمال‌شرق قرار دارند، از تریاس پسین تا کرتاسه پسین در این منطقه وجود داشته‌اند. فرورانش در راستای زون فرورانش شمالی، که دارای شیب‌تندی بوده است، موجب تشکیل قوس ماگمایی تریاس بالایی سنندج- سیرجان [۱۱، ۱۲، ۱۳] و شکل‌گیری حوضه کششی پشت قوس کرتاسه پسین شهر بابک- بافت شده است (شکل ۹ الف). هنگامی که زون فرورانش جنوبی که با جزیره قوسی نیریز در ارتباط است، به گودال اقیانوسی رسید، شیب زون فرورانش شمالی کاهش یافت. فشار اعمال شده به وسیله جزیره قوسی نیریز موجب بسته شدن حوضه کششی پشت قوس شهر بابک- بافت و تشکیل همبافت افیولیتی شهر بابک- بافت و افیولیت ملانژ سیاه گوه- آبدشت- سوقان شد (شکل ۹ ب)".

با توجه به مدل زمین‌ساختی ارائه شده توسط [۱۰]، چنین می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً توده‌های مورد بحث، بخشهایی از افیولیت شهر بابک هستند، و اگر فرض را بر این مبنا قرار دهیم، قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده حوضه حاشیه کششی را می‌توان به این صورت توجیه کرد: هنگامیکه حوضه پشت قوس زیر رژیم زمین‌ساختی کششی قرار داشته باشد (که غالباً به شیب تند سطح بنیوف ارتباط دارد) ماگماتیسم حاصل از آن، به تشکیل یک حوضه جدید اقیانوسی منتهی می‌شود، به نحوی که در هر حوضه پشت قوس، یک پشته فعال

و پوسته‌ای به وجود می‌آید که ویژگیهای آن بسیار شبیه به پشته‌های بزرگ اقیانوسی است [۱۴]. توده‌های گابرویی افیولیت شهر بابک که توسط [۸] مورد بررسی قرار گرفته‌اند، ویژگیهای افیولیت‌های دارای محتوای کم Ti را نشان می‌دهند. بنابراین برای مقایسه توده‌های مورد نظر با گابروهای ذکر شده، از نمودار TiO_2 نسبت به $\text{FeOT}/(\text{FeOT}+\text{MgO})$ [۱۵] استفاده شد (شکل ۱۰) که نتایج حاصل، با گابروهای افیولیت شهر بابک همخوانی دارند و بنا به نظر [۸] این پدیده نشان دهنده فقر ماگمای مادر گابروهای افیولیت شهر بابک از Ti است.



شکل ۹ تکامل تکتونیکی منطقه بین کرمان و نیریز و نحوه تشکیل و جایگیری افیولیت‌های شهر بابک [۱۰]. اختصارات BAB، حوضه پشت قوس EMB، حوضه حاشیه‌ای کششی.



شکل ۱۰ نمودار TiO_2 - $\text{FeOT}/\text{FeOT}+\text{MgO}$ سنگهای گابرویی [۱۵].

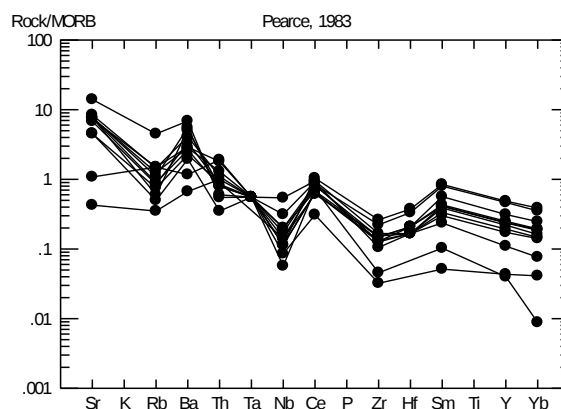
علاوه بر این با استفاده از آنالیزهای عناصر کمیاب، الگوی فراوانی این عناصر نسبت به خط مورب بهنجار شده‌اند (شکل ۱۱). روند الگوی فراوانی این عناصر دارای یک سیر نزولی از عناصر سبک به سنگین است. وجود قله‌های منفی Zr و Nb و قله‌های مثبت Sr و Ba در این نمودار در خور توجه‌اند. وجود قله‌های مثبت Sr را می‌توان به حضور کانیه‌های پلاژیوکلاز کلسیک در نمونه‌های مورد نظر نسبت داد، زیرا عنصر Sr به راحتی می‌تواند جانشین عنصر Ca در بلورهای پلاژیوکلاز شود. به همین صورت می‌توان وجود قله‌های مثبت عنصر Ba را نیز توجیه کرد.

الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی

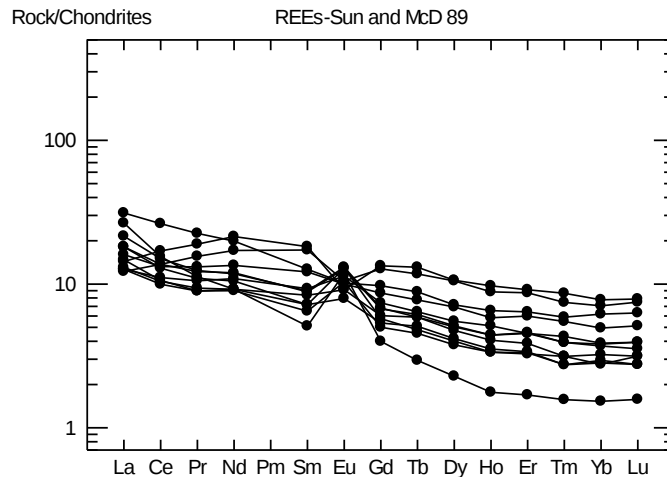
نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر نادر خاکی به روش ICP-MS (شکل ۱۲) نسبت به کندریت بهنجار شده‌اند [۱۷].

بنابراین نمودار محتوای عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت، غنی‌شدگی نشان می‌دهند و عناصر خاکی سبک غنی‌شدگی کمتری نسبت به عناصر خاکی سنگین دارند. در ضمن نسبت مجموع عناصر نادر خاکی سبک (Σ LREE) به مجموع عناصر نادر خاکی سنگین (Σ HREE) در اکثر نمونه‌ها نیز پایین است و در یک روند نزولی با شیب کم قرار می‌گیرند. از طرفی تفاوت در محتوای عناصر نادر خاکی سنگین چندان زیاد نیست و تقریباً یک روند مسطح در آنها دیده می‌شود. عنصر Eu در الگوی پراکندگی این عناصر دارای بی‌هنجاری مثبت است.

تبلور غالب در آبگونی‌های تولییتی به وسیله کانیه‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، و الیوین صورت می‌گیرد [۱۸ و ۱۹]. تبلور پلاژیوکلاز در آبگون با تبلوری در حدود ۱۵-۲۰ درصد، موجب بی‌هنجاری منفی Eu می‌شود، ولی در درجات بیشتر تبلور، بی‌هنجاریهای منفی بسیار بزرگ Eu ایجاد می‌شود.



شکل ۱۱ نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب مجموعه گابرویی که نسبت به مورب بهنجار شده‌اند [۱۶].



شکل ۱۲ الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در نمونه‌های مورد مطالعه.

کومولاهای غنی از پلاژیوکلاز ممکن است حاوی بی‌هنجاری مثبت Eu باشند. تبلور زیاد الیوین همزمان با تفریق، به آرامی موجب افزایش محتوای عناصر نادر خاکی می‌شود، ولی تغییر زیادی در الگوی این عناصر و یا تولید بی‌هنجاری Eu نمی‌گذارد. تبلور کلینوپیروکسن در آگونیهای تولییتی در فشار کم موجب افزایش محتوای عناصر نادر خاکی در تفریق کم تولییتها خواهد شد [۲۰]، ولی تبلور کلینوپیروکسن در آگونیهای تولییتی در فشار زیاد، تفریق زیاد عناصر نادر خاکی سبک از عناصر نادر خاکی سنگین را در پی دارد و محتوای عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین افزایش می‌یابد، که چنین حالتی در نمودار شکل ۱۲ دیده نمی‌شود.

بنابر نتایج سنگ‌شناختی تجربی تولییت‌های حوضه پشت قوس می‌توانند از ذوب ۱۵ تا ۳۰ درصدی پریدوتیت گوشته بالایی حاصل شده باشند [۲۱ و ۲۲]. در درصد ذوب نسبتاً بالایی که برای تولید تولییتها نیاز است (بیش از ۱۵ درصد)، انباشت عناصر نادر خاکی در آگون، نسبت به درجه ذوب حساس نیست. بنابراین تنوعهای زیاد به ویژه در عناصر نادر خاکی سبک در تولییتها معمولاً به تنوع مقدار آنها در خاستگاه بستگی دارد.

خاستگاه پریدوتیتی تولییت‌های حوضه پشت قوس مشابه با تولییت‌های اقیانوسی‌اند، با این تفاوت که در تولییت‌های پشت قوس نسبت محتوای $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ ، K, Rb, Ba, U، بیشتر و نسبت محتوای Ti, Zr, Nb, Hf کمتر از تولییت‌های اقیانوسی است. الگوی فراوانی عناصر نادر خاکی عامل بازدارنده‌ای در پوسته اقیانوسی فرو رانده شده به عنوان خاستگاه سنگهای مورد مطالعه

است. فقط پریدوتیت گوشته بالایی، و نه پوسته اقیانوسی فرو رانده شده، می‌تواند محتوای عناصر نادر خاکی این تولیتها را بسازد. زیرا پوسته اقیانوسی فرو رانده شده چنان تهی‌شدگی را در عناصر نادر خاکی سبک به سنگین نشان می‌دهد که نمی‌تواند الگوی پراکندگی عناصر نادر را برای این تولیتها به وجود آورد [۲۳]. بنابراین نقش زون فرورانش در ایجاد توده‌های مورد مطالعه، منحصر به اثرهای فیزیکی، ایجاد حالت کشش در حوضه پشت قوس (به دلیل شیب تند زون فرورانش) و در نتیجه کاهش فشار در منطقه مورد نظر بوده است.

برداشت

بر اساس نتایج حاصل از بررسیهای سنگ‌شناختی، توده‌های نفوذی مورد مطالعه دارای تنوع سنگی گابروهای اورالیتیزه، هورنبلند گابرو، الیوین گابرو، آنورتوزیت، و دایکهای پلاژیوگرانیتهی بسیار دگرسان در سنگهای توده‌ای و تنوع سنگی دونیت، پیروکسنیت، الیوین گابرو و تراکتولیت نادگرسان در سنگهای لایه‌ای هستند. نتایج به دست آمده از تجزیه‌های شیمیایی انجام شده روی نمونه‌های گابرویی منطقه، ویژگیهای ژئوشیمیایی تولیتی و محیط زمین-ساختی حوضه حاشیه‌ای کششی را برای آنها مشخص می‌کند. توده‌های مورد بحث از نظر دارا بودن بی‌هنجاری منفی Nb و نیز محتوای پایین Ti و قرارگیری در حوضه حاشیه‌ای کششی، مشابه با گابروهای افیولیت شهر بابک‌اند. الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی، یک روند نزولی از عناصر سبک به سنگین نشان می‌دهد و در اکثر موارد قله مثبت عنصر Eu به چشم می‌خورد. همچنین مطالعه الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی، تشکیل ماگمای تولیتی را از یک پریدوتیت گوشته فوقانی پیشنهاد می‌کند.

مراجع

- [۱] "نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کر سفید"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۹۹۵.
- [2] Shelly D., "Igneous and metamorphic rocks under the microscope", Chapman and hall, 445 pp. 1993.
- [3] Zarasvandi A., Liaghat S., "Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits", Central Iran. International Geology Review, vol, 47, p. 620-646. 2005.
- [4] Mason D. R., "Evolution of porphyry copper mineralization in an oceanic island arc", Economical Geology, v. 73; pp. 982-985. 1978.
- [5] Rickwood P. C., "Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements", Lithos, 22; pp. 247-263. 1989.
- [6] Middelmost E. A. K., "The basalt clan", Earth Sci. Rev., 11, 337-364. 1975.

- [7] Pearce T. h., Garman B. F., Birkett T. C., "*The TiO₂- K₂O- P₂O₅ diagram; a method of discriminating between oceanic and non oceanic basalts*", Earth planet. Sci. lett, 24; pp. 419-426. 1975.
- [۸] ابراهیمی شاه آبادی م، "بررسی ژئوشیمی و پترولوژی توده های نفوذی بخش دهج - خمروود واقع در نوار افیولیت - ملانژ خمروود - شهر بابک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۸۴، ۱۸۵ صفحه.
- [9] Hanan B. B., Sinha A. K., "*Petrology and tectonic affinity of the Baltimore mafic complex, Maryland*", Geological Society of America Special Paper 231, 1-18. 1975.
- [10] Shahabpour J., "*Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz*", J. of Asian Earth Sciences, vol. 24, issue 4, pp.405-417. 1975.
- [11] Sabzehei M., "*Geological Quadrangle map of Iran*", No. 12, hajiabad, 1:250,000, First Compilation by Berberian, M., and Final compilation and revision by Sabzehei, M., Geological survey of Iran. 1975.
- [12] Berberian F., Berberian M., "*Tectono-plutonic episodes in Iran*", In: Gupta, H.K., Delany, F.M. (Eds.), Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution, American Geophysical Union, Washington, DC, pp. 5-32. 1981.
- [۱۳] مالکی زاده الف، "ژئوشیمی و پتروزنز باتولیت گرانیتی کمپلکس نفوذی سیاه کوه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۱۳۷۸، ۲۰۸ صفحه.
- [۱۴] درویش زاده ع، "زمین شناسی پوسته اقیانوسی؛ پترولوژی و دینامیک درونی"، (ترجمه) انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۱)، ۵۶۹ صفحه.
- [15] Serri M., "*Petrochemistry of ophiolite gabbroic complex: A key for classification of ophiolites into low-Ti and high-Ti types*", Earth and Planetary Sci, Lett. V. 52, pp. 203-212. 1981.
- [16] Pearce J. A., "*Role of the sub- continental lithosphere in magma genesis at active continental margins*", In: Hawkesworth C.J. and Norry M.J. (eds.), continental basalts & mantle xenoliths. Shiva, Nantwich, pp.230-249. 1983.
- [17] Sun S. S., McDonough W.F., "*Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*", In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds.), Magmatism in ocean basin. Geol. Soc. London. Spec. Pub. 42, pp. 313-345. 1989.
- [18] Haskin L. A., Haskin M. A., "*Rare-earth elements in the Skaergaard intrusion*", Geochim. Cosmochim. Acta, 32: 433-447. 1968.

- [19] Jakeš P., White A. J. R., "Major and trace element abundances in volcanic rocks or orogenic areas", Geol. Soc. Am. Bull., 83: 29-40. 1972.
- [20] Tanaka T., "Geological significance of rare earth elements in Japanese geosynclinal basalts", Contrib. mineral. Petrol., 52: 233-246. 1975.
- [21] Green T. H., Ringwood A. E., "Genesis of the calc – alkaline igneous rock suite", Contributions Mineralogy petrology 18, 105-162. 1968.
- [22] Green D. H., "Experimental melting studies on a model of upper mantle composition under water – saturated and water –undersaturated condition", Earth Planet. Sci. lett., 19: 37-53. 1973.
- [23] Henderson P., "rare Earth Element Geochemistry", Elsevier Science Publishers B.V., 510 p. 1984.