

ژئوشیمی و کانی‌شیمی توده گابرویی شاه‌آباد، شمال غرب نورآباد، استان لرستان

رضا زارعی سهامیه^{1*}، امیرعلی طبخ شعبانی²، سید وحید شاهرخی³، نسرين بارک³

(1) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد
(2) دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران
(3) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد

دریافت مقاله: 1391/4/8، پذیرش: 1391/10/10

چکیده

توده‌های گابرویی ایزوتروپ که در غرب شاه‌آباد در مرز زون‌های زاگرس و سنندج- سیرجان رخنمون دارد از الیوین گابرو، گابرو و تروکتولیت تشکیل شده است. همبری این توده‌ها با سنگهای متاولکانیک و اسلیت و آهکهای ژوراسیک، تکتونیک و گسله است ولی در جنوب با اولترامافیک‌هایی که به‌عنوان بخشی از سکانس افیولیتی معرفی شده‌اند، عادی است. پلاژیوکلاز، کلینوپروکسن و الیوین، کانیهای اصلی، و مگنتیت، تیتانومگنتیت و سرپانتین، کانیهای فرعی و ثانوی این سنگها هستند. نتایج تجزیه میکروپروب نشان می‌دهد ترکیب پلاژیوکلاز لابرادوریت، کلینوپروکسن اوژیت دیوپسید و الیوین از نوع کریزولیت است. این توده، سرشت کالک‌آلکان و متآلومین دارد و ترکیب برخی از عناصر کمیاب و همچنین کلینوپروکسن‌های آن در نمودارهای متمایزکننده محیط تکتونیک، دلالت بر تشکیل آنها در محیط کوه‌زایی مرتبط با قوس دارد. فزون بر این، الگوی عنکبوتی عناصر این توده، تهی‌شدگی Zr, Nb, Ti و P را نشان می‌دهد که از ویژگیهای شاخص محیطهای مرتبط با زون فرورانش محسوب می‌شود. بنابراین، با توجه به نشانه‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی می‌توان تشکیل گابروهای شاه‌آباد را به‌عنوان بخشی از سکانس افیولیتی در یک سیستم سوپراساداکنش توجیه نمود.

واژه‌های کلیدی: گابرو، کلینوپروکسن، الیوین، پلاژیوکلاز، زون سنندج- سیرجان، شاه‌آباد، لرستان.

مقدمه

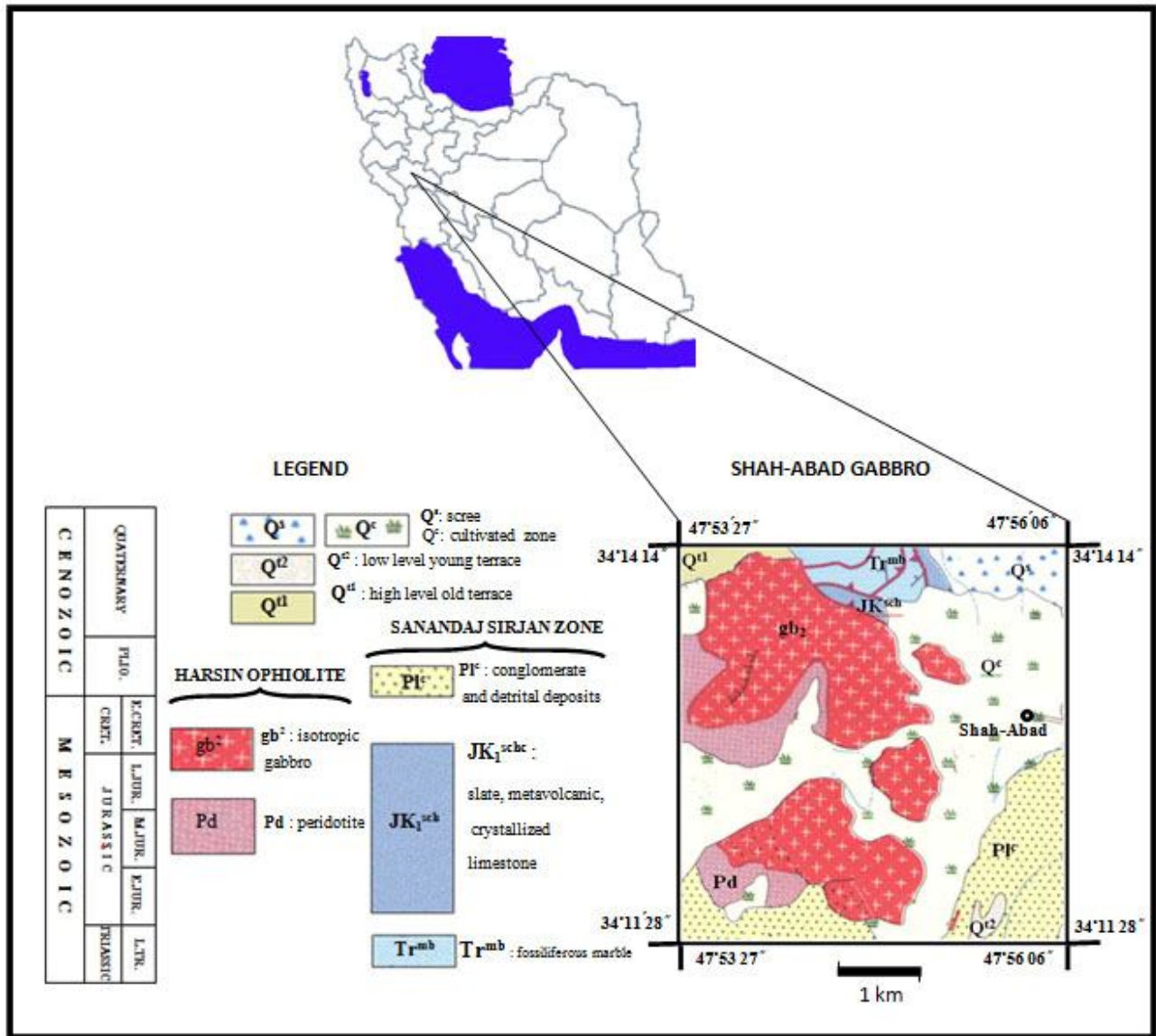
محدوده مورد مطالعه نیز شمال غرب - جنوب شرق است که از روند عمومی زون ساختاری زاگرس تبعیت می‌کند. گابروها به‌صورت چند توده با ابعاد متفاوت در بین سنگهای افیولیتی رخنمون دارند.

شواهد صحرایی حاکی از آن است که گابروها بخشی از مجموعه سنگهای افیولیتی بوده و همبری این توده‌های گابرویی با اسلیت‌های سیاه‌رنگ، فیلیت‌ها با میان‌لایه‌هایی از آهکهای متبلور، تکتونیک و گسله است. لکن در بخش جنوبی ارتباط گابروهای مورد بررسی با پریدوتیتها که به‌عنوان بخشی از سکانس افیولیتی معرفی شده‌اند، عادی است. سن این گابروها و مجموعه اولترامافیکی همراه کرتاسه بالایی (مایستریشتین) در نظر گرفته شده است [1]. در این بررسی تنها از سه رخنمون از سنگهای گابرویی که حالت توده‌ای،

در محدوده مورد مطالعه که در شمال غرب روستای شاه‌آباد از توابع شهرستان نورآباد و در شمال غرب خرم‌آباد بین طولهای جغرافیایی "47°49'45" تا "47°54'59" شرقی و عرض جغرافیایی "34°11'45" تا "34°13'54" شمالی قرار دارد (شکل 1) سنگهای آذرین درونی بازیک از نوع گابرو رخنمون دارند که موضوع این بررسی است. محدوده مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی 1:100/000 هرسین [1] قرار دارد که محدوده این ورقه از نظر موقعیت زمین‌شناسی در محدوده زون زاگرس و مرز زون سنندج سیرجان قرار گرفته است. واحدهای سنگی در این ورقه به‌طور عمده نابرجا بوده و از نظر رخساره‌ای با گستره‌های مجاور خود متفاوتند. روند عمومی ساختارهای آن از روند عمومی این زون‌ها (زاگرس و سنندج سیرجان) پیروی می‌کند. روند توده‌سنگهای آذرین نفوذی

ژئوشیمی عناصر اصلی، فرعی، کمیاب، نتایج آنالیز الکترون میکروپروب کانیهای سازنده گابروها در مجموعه افیولیتی شرایط تشکیل گابروها و محیط تکتونیکی آنها ارزیابی شود.

ایزوتروپ، همگن و تقریباً ترکیب سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی مشابه دارند، نمونه‌برداری شد (شکل 1). همچنین تلاش بر این بوده است تا با اتکا به مطالعات صحرائی، پتروگرافی،



شکل 1. موقعیت منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن در نقشه زمین‌شناسی هرسین نشان داده شده است. برگرفته از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور 1375-1376) [1]

روش مطالعه

برای بررسی توده موردنظر، نمونه‌برداری در سه مقطع با توجه به نوع رخنمون، تغییر در اندازه دانه‌ها و رنگ به‌طور جدا صورت گرفت و حدود 60 نمونه جمع‌آوری شد. از این تعداد با توجه به مشابهت ظاهری به منظور بررسی میکروسکوپی 23 نمونه مقطع نازک تهیه گردید. پس از بررسیهای سنگ‌نگاری

10 نمونه با کمترین میزان دگرسانی انتخاب شد و تجزیه شیمیایی آنها در آزمایشگاه SGS کانادا به روش ICP-AES و ICP-MS صورت گرفت که نتایج تعیین مقادیر 32 عنصر اصلی و کمیاب برای ارزیابی ویژگیهای ژئوشیمیایی در جدول 1 ارائه شده است.

پیروکسن دیده می‌شود. کلینوپیروکسن به صورت بلورهای ریز تا متوسط، نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شود و در برخی قسمت‌ها در فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز قرار گرفته که این امر می‌تواند نشانگر تبلور اولیه پلاژیوکلازها و تبلور بعدی پیروکسن باشد. پیروکسن‌ها پس از پلاژیوکلازها دومین کانی اصلی سنگ به شمار می‌آیند و حدود 25-30 درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد. الیوین حدود 15-25 درصد سنگ را شامل می‌شود. به علت واکنش بین بلورهای الیوین و مذاب باقی‌مانده بلورهای بی‌شکل (آنهدرال) آن در سنگهای گابرویی دیده می‌شود (شکل 2). تعداد اندکی از بلورهای بی‌شکل الیوین در بردارنده اذخال‌های از پلاژیوکلاز شکل‌دار هستند که تقدم تبلور این کانی را نشان می‌دهد. کانی اوپک موجود در این سنگها از نوع تیتانومگنتیت است که حاصل دگرسانی الیوین به سرپانتین در نتیجه تأثیر سیالات دوتریک می‌باشد. همراهی تیتانومگنتیت با سرپانتین در حاشیه و به صورت رگه‌های نامنظم و متقاطع در الیوین بافت مشبک یا توری را در الیوین ایجاد کرده است (شکل 2). همچنین این سنگها دگرشکلی ساب سولیدوس درجه بسیار پایین را تحمل کرده‌اند که نشانه آن پدیده‌هایی همچون ماکل کوتاه شونده یا سرنیزه ای و خمیدگی ضعیف سطوح ماکل آلبیت یا مکرر (kink band) و خاموشی موجی در پلاژیوکلازهاست (شکل 2). این شواهد دلالت بر رخداد دگرشکلی پلاستیک در دمای بالا در زمان جای‌گیری در این سنگها دارد [2]. در مواردی اورالیتیزاسیون، کلریتیزاسیون و اپیدوتیزاسیون به صورت خفیف در این سنگها مشاهده می‌شود.

ترکیب شیمی کانیها

بهره‌گیری از داده‌های شیمی کانیهای تشکیل‌دهنده سنگهای آذرین روشی متداول در شناخت تحول پتروژنز و محیط تکتونیکی آنها به‌شمار می‌رود. در ادامه، ترکیب شیمی پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین در گابروهای مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

پلاژیوکلاز

پلاژیوکلاز فراوانترین کانی در نمونه‌های گابروست. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های پلاژیوکلاز نشان می‌دهد که محتوای

برای تحلیل نتایج حاصل از تجزیه‌های شیمیایی از نرم‌افزارهای Newpet، Minpet، igpet و Excel برای رسم نمودارهای مختلف استفاده شد.

ترکیب شیمیایی کانیها بر روی مقاطع نازک صیقلی تهیه‌شده از 3 نمونه سنگ برای 11 عنصر از طریق الکترون میکروپروب مدل Cameca SX100 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تعیین شد. شرایط عملیاتی باریکه پرتو ایکس 15 کیلو ولت و جریان پروب 20 نانو آمپر بود. کانیهای سیلیکاته طبیعی به‌عنوان مواد استاندارد مرجع برای کالیبراسیون استفاده شد. خطای آنالیز برای عناصر اصلی 1٪ و برای عناصر فرعی 5٪ بود. نتایج میانگین تجزیه شیمیایی 65 نقطه از کانیها پیروکسن، الیوین، پلاژیوکلاز بر روی 3 نمونه مقطع نازک صیقلی تهیه شده از گابرو و الیوین گابرو به‌همراه فرمول ساختاری آنها در جداول 2، 3 و 4 ارائه شده است.

بحث و بررسی

پتروگرافی

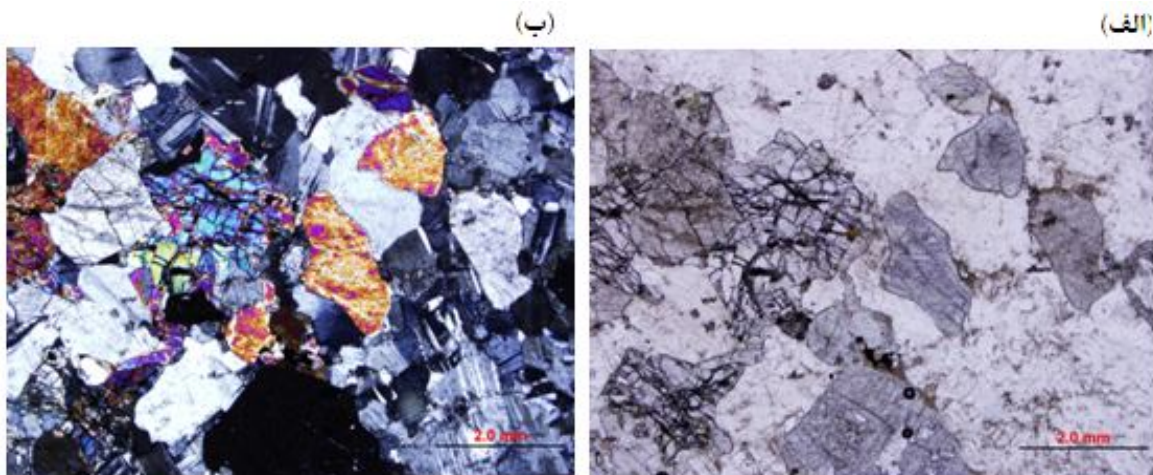
سنگهای گابرویی مورد مطالعه در نمونه دستی عمدتاً متوسط‌دانه و به رنگ خاکستری تیره تا سیاه و فاقد هوازگی‌اند. بافت غالب این سنگها گرانولار و اینتر گرانولار است، ولی بافتهای پوئی کلتیک و تجمع‌ی نیز دیده می‌شوند (شکل 2). این سنگها طیف ترکیبی متنوعی از الیوین گابرو (ملاگابرو، مزوگابرو)، تروکتولیت و گابرو را در بر می‌گیرند. ترکیب کانی‌شناسی غالب این سنگها شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیوین است. بر پایه بررسیهای سنگ‌نگاری، ترتیب تبلور به‌صورت پلاژیوکلاز-الیوین-کلینوپیروکسن-تیتانومگنتیت تعیین شد. پلاژیوکلاز را می‌توان فراوانترین کانی اصلی موجود در این سنگها محسوب کرد که به لحاظ فراوانی 50-55 درصد سنگ را شامل می‌شوند. این بلورها در مقاطع نازک عمدتاً نیمه‌شکل‌دار و ماکل مکرر یا پلی‌سنتیک و نبود دگرسانی را به‌نمایش می‌گذارند (شکل 2). نبود منطقه‌بندی شیمیایی نشانه تعادل به‌هنگام تبلور این کانی و مذاب همراه است. فزون بر این، بلورهای پلاژیوکلاز فاقد جهت‌گیری خاصی هستند و غالباً به‌صورت تصادفی در سنگ قرار گرفته‌اند. گاهی در اثر قرارگیری بلورهای اوژیت در بین آنها، بافت اینترگرانولار در سنگ پدید آمده است. همچنین گاهی بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز به‌صورت اذخال در داخل

جدول 1. نتایج آنالیز شیمیایی به روشهای ICP-AES و ICP-MS نمونه‌های گابرو شاه‌آباد
(اکسیدها بر پایه درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب ppm)

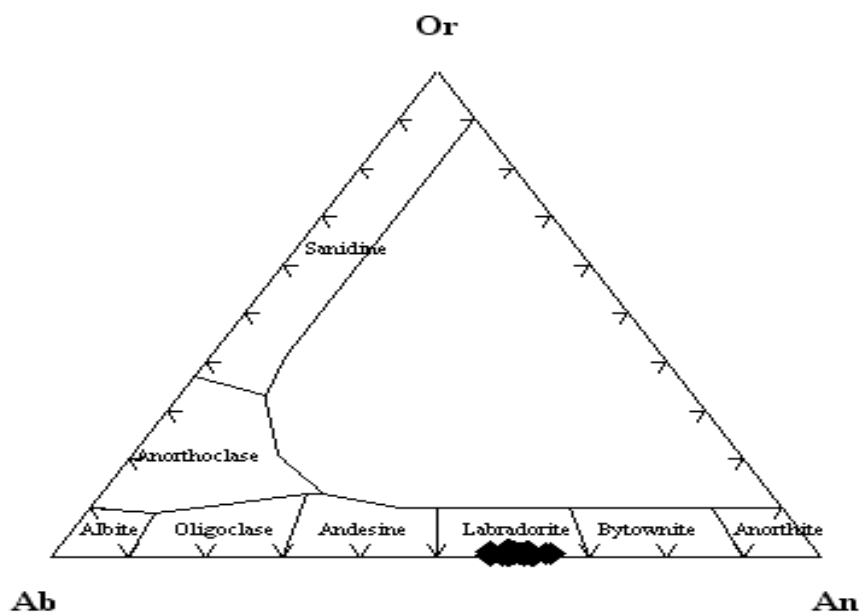
نمونه	B10	B12	B14	B19	B23	B05	B07	B09	B13	B22
SiO ₂	۴۹/۴۶	۴۸/۴۰	۴۹/۸۰	۵۰/۵۰	۴۹/۶۱	۴۹/۱	۵۰/۲۵	۴۷/۴۳	۴۸/۱۵	۴۸/۲
TiO ₂	۰/۲۶	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۱۹	۰/۲۴	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۶
Al ₂ O ₃	۱۸/۷۸	۱۷/۵۸	۱۸/۲۰	۱۶/۵۰	۲۰/۳۸	۱۸/۵۰	۱۷/۵۷	۲۱/۶۵	۲۱/۷۶	۲۳/۰۲
Fe ₂ O ₃	۱/۸۰	۱/۶۷	۱/۷۴	۱/۷۵	۱/۷۲	۱/۷۴	۱/۸۰	۱/۵۹	۱/۵۹	۱/۵۶
FeO	۲/۶۴	۳/۱۲	۳/۱۲	۲/۷۰	۲/۲۹	۲/۴۸	۲/۵۱	۳/۳۰	۳/۵۰	۲/۲
MnO	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۵
MgO	۹/۳۱	۱۲/۳۵	۹/۸۵	۱۱/۲۰	۷/۸۲	۹/۷۸	۹/۶۷	۱۰/۹۲	۱۰/۳۴	۸/۶۵
CaO	۱۴/۵۷	۱۳/۷۳	۱۲/۹۰	۱۳/۷۰	۱۳/۳۵	۱۳/۶	۱۳/۸۹	۱۱/۵۱	۱۰/۸۳	۱۰/۶
Na ₂ O	۲/۳۶	۱/۹۸	۲/۷۰	۲/۳۰	۲/۷۵	۲/۶	۲/۶۶	۲/۴۶	۲/۸۶	۳/۱
K ₂ O	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۰۲	۰/۰۱
P ₂ O ₅	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱
LOI	۰/۵۳	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۸۶	۱/۶۶	۱	۰/۵۶	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۴۱
Total	۹۹/۷۸	۹۹/۸۳	۹۹/۴۳	۹۹/۹۵	۹۹/۹۱	۹۹/۲۲	۹۹/۳۵	۹۹/۹۲	۹۹/۹۸	۹۹/۹۶
U	۰/۹۷	۰/۲۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۵۲	۱/۳۶	۰/۵۸
W	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Sn	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Ba	۲۰	۲۰	۱۰	۲۰	۱۰	۲۰	۲۰	۳۰	۱۰	۲۰
Rb	۲/۶	۰/۰۸	۱/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۵	۱/۱	۰/۵	۰/۲	۰/۰۴
Sr	۲۸۰	۲۸۰	۱۸۰	۲۰۰	۲۵۰	۲۷۰	۲۳۰	۳۱۰	۲۰۰	۳۱۰
Zr	۸/۲	۶/۸	۵/۹	۷/۵	۴/۵	۶/۶	۷/۴	۲/۶	۲	۱/۳
Nb	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Th	۰/۹	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۵	۰/۵	۰/۷	۰/۶
Ga	۱۲	۱۱	۱۱	۱۱	۱۲	۱۰	۱۱	۱۲	۱۲	۱۳
Zn	۲۴	۳۲	۳۳	۳۰	۱۸	۲۹	۱۷	۳۲	۲۹	۲۲
Cu	۵۶	۹۱	۸۹	۶۰	۳۹	۵۹	۷۰	۵۱	۶۰	۱۳
Ni	۱۲۶	۲۳۸	۱۶۲	۱۸۳	۱۷۴	۲۳۹	۱۷۶	۳۵۸	۲۰۹	۲۲۶
V	۹۳	۹۶	۱۰۹	۱۰۵	۷۱	۹۶	۱۴۸	۴۷	۲۶	۲۲
Cr	۹۵۸	۶۸۴	۲۰۵	۲۷۴	۴۷۹	۶۱۶	۶۸	۷۵۳	۳۴۲	۲۷۴
Hf	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
Cs	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
Ta	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵
Co	۲۹/۸	۴۱/۶	۳۳	۳۱/۲	۲۳/۴	۳۰/۴	۲۹/۱	۴۱	۳۹/۷	۲۹/۹
Y	۸/۳	۶/۸	۶/۷	۷/۴	۵/۱	۵/۹	۸/۵	۳/۲	۲/۹	۱/۶
La	۳/۴	۲/۴	۱/۹	۱/۴	۰/۸	۱/۳	۲/۴	۲/۴	۱/۸	۳/۸
Ce	۴	۳/۱	۱/۲	۱/۵	۰/۷	۱/۶	۲/۸	۲/۷	۱/۴	۱/۷
Pr	۰/۶۹	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۵۰	۰/۴۱	۰/۲۹	۰/۲۷
Nd	۳/۵	۲/۵	۱/۸	۱/۹	۱/۳	۲	۲/۷	۱/۸	۱/۲	۱/۱
Sm	۰/۹	۰/۷	۰/۶	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۹	۰/۵	۰/۳	۰/۲
Eu	۰/۵۲	۰/۴۵	۰/۴۸	۰/۴۳	۰/۴	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۴۲	۰/۳۵	۰/۲۹
Gd	۱/۳	۱/۵	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۷۹	۱	۱/۳۸	۰/۵۶	۰/۴۳	۰/۱۸
Tb	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۱	۰/۱۷	۰/۲۲	۸/۰۸	۰/۰۷	۰/۰۵
Dy	۱.۴۴	۱.۱۱	۱.۱۵	۱.۳۳	۰.۸۳	۱.۰۶	۱.۴۸	۰.۵۴	۰.۴۴	۰.۳۳
Ho	۰/۳۱	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۶	۰/۲۱	۰/۲۸	۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۵
Er	۰/۸۷	۰/۷۲	۰/۶۳	۰/۷۶	۰/۵۱	۰/۵۸	۰/۸۲	۰/۲۹	۰/۲۶	۰/۱۲
Tm	۰/۱۲	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Yb	۰/۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۸	۰/۳	۰/۲	۰/۱۰
Lu	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
Mg #	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۰	۰/۶۷

آنورتیت از 56/5 تا 64/6 تغییر می‌کند. بر مبنای داده‌های میکروپروب فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر پایه هشت اتم اکسیژن برای پلاژیوکلازها ($\text{Si}_{2.35} \text{Al}_{1.61} \text{O}_{8.05}$) ($\text{Ca}_{0.63}, \text{Na}_{0.41}, \text{K}_{0.01}, \text{Fe}^{2+}_{0.01}, \text{Ti}_{0.01}$) است. فزون بر این، ترکیب میانگین 3 نمونه پلاژیوکلاز سنگهای گابرویی همراه با فرمول ساختاری در جدول 2 ارائه شده است. همان گونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود در نمودار مثلثی

آنورتیت از 56/5 تا 64/6 تغییر می‌کند. بر مبنای داده‌های میکروپروب فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر پایه هشت اتم اکسیژن برای پلاژیوکلازها ($\text{Si}_{2.35} \text{Al}_{1.61} \text{O}_{8.05}$) ($\text{Ca}_{0.63}, \text{Na}_{0.41}, \text{K}_{0.01}, \text{Fe}^{2+}_{0.01}, \text{Ti}_{0.01}$) است. فزون بر این، ترکیب میانگین 3 نمونه پلاژیوکلاز سنگهای گابرویی همراه با فرمول ساختاری در جدول 2 ارائه شده است. همان گونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود در نمودار مثلثی



شکل 2. الف) در نیمه سمت چپ عکس که از مقطع نازک یک نمونه گابروی شاه‌آباد در نور پلاریزه سطحی گرفته شده بلورهای الیوین با برجستگی نسبتاً بالا و بی‌شکل با شکستگیهای نامنظم و متقاطع را نشان می‌دهد که در امتداد آنها دگرسانی به سرپانتین و اکسید آهن رخ داده است. ب) در همان موقعیت در نور پلاریزه متقاطع تهیه شده، بلورهای الیوین فوق رنگهای تداخلی سری دوم میشل-لوی را به‌نمایش می‌گذارند. بلورهای کلینوپیروکسن عمدتاً بی‌شکل و فاقد دگرسانی در فضای بین بلورهای پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. برخی از آنها در حاشیه به میزان اندک اورالیتیزه شده‌اند. بلورهای پلاژیوکلاز غالباً به‌صورت بی‌شکل و نیمه شکل‌دار با ماکل مکرر و نبود بافت منطقه‌بندی شیمیایی کانی غالب سنگ است.



شکل 3. ترکیب فلدسپارهای پلاژیوکلاز در سنگهای گابرویی شاه‌آباد در نمودار مثلثی Ab-An-Or، [2]

جدول 2. ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای گابروی شاه‌آباد و فرمول ساختاری بر پایه 8 اتم اکسیژن

شماره نمونه میانگین تعداد آنالیزها	B7 7	B13 8	B22 8
اکسید عناصر			
SiO ₂	51/12	50/68	51/66
TiO ₂	0/23	0/69	0/41
Al ₂ O ₃	29/29	30/06	30/06
FeO	0/59	0/10	0/06
MnO	0/11	0/00	0/00
MgO	0/01	0/02	0/02
CaO	12/69	12/73	12/80
Na ₂ O	4/61	4/60	4/54
K ₂ O	0/18	0/04	0/15
Total	98/83	98/89	99/69
Si	2/36	2/34	2/36
Al	1/59	1/63	1/61
T-site	3/96	3/97	3/97
Ti	0/01	0/02	0/01
Fe ²⁺	0/02	0/00	0/00
Mn	0/00	0/00	0/00
Mg	0/00	0/00	0/00
Ca	0/63	0/63	0/62
Na	0/41	0/41	0/42
K	0/01	0/00	0/01
X site	1/08	1/04	1/04
Ab	39/26	39/29	38/76
An	59/76	60/49	60/39
Or	1/01	0/24	0/89

پيروكسن

ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها دارای بازه تغییرات نسبتاً محدود SiO₂ (48/3 - 51/9)، و زیادهاد MgO (15/4 - 18/7) و گسترده TiO₂ (0/51 - 3/31) است. بر پایه دسته‌بندی پیروکسن‌های موریمتو و همکاران [4] تمام نمونه‌های پیروکسن غنی از کلسیم (34 - 48 درصد وزنی) و فقیر از سدیم‌اند (کمتر از 0/58 درصد وزنی) ترکیب پیروکسن‌ها در محدوده En₅₄ Fs₁₂ Wo₄₈ تا En₄₅ Fs₆ Wo₃₄ تغییر می‌کند و در نمودار مثلثی ولاستونیت - انستاتیت - فروسیلیت (Wo-En-Fs) ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های مورد بررسی از نوع اوژیت دیوپسیدی است (شکل 4).

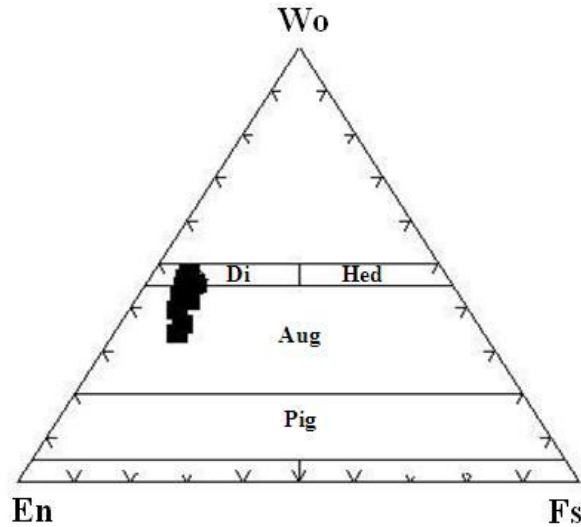
بر مبنای داده‌های میکروپروب فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر پایه شش اتم اکسیژن و چهار کاتیون برای کلینوپيروكسنها (Ca_{0.86}, Na_{0.04}, Mg_{0.93}, Fe²⁺_{0.16}, Ti_{0.04}) است. ترکیب میانگین 3 نمونه پیروکسن سنگ‌های گابرویی همراه با فرمول ساختاری در جدول 3 ارائه شده است.

الیون

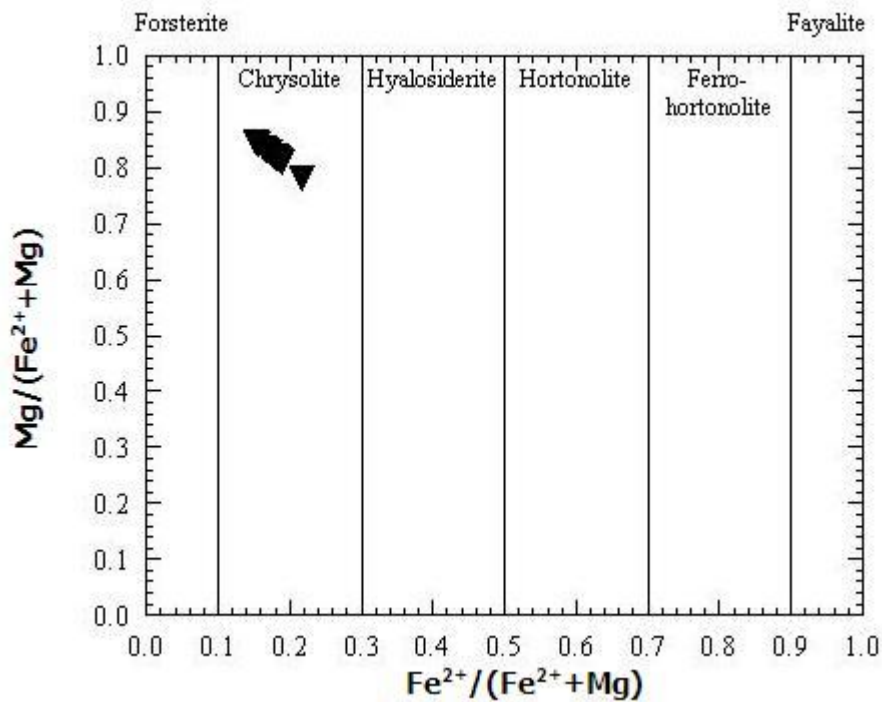
بر مبنای داده‌های میکروپروب فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر پایه چهار اتم اکسیژن برای الیون‌ها، Mg_{1.66} (Si_{0.97} O_{3.98}) (Fe²⁺_{0.36}, Ti_{0.01}) است.

چندانی با یکدیگر ندارد که البته فقدان بافت منطقه‌ای در بلورهای بیوین تأییدی بر این مطلب و همچنین تبلور تعادل شیمیایی است.

ترکیب میانگین 3 نمونه بیوین سنگهای گابرویی همراه با فرمول ساختاری در جدول 4 ارائه شده است. ترکیب بیوین برابر شکل 5 در محدوده کریزولیت تغییر می‌کند. بنابراین ترکیب بیوین در انواع سنگهای گابرویی تفاوت شیمیایی



شکل 4. ترکیب پیروکسن در سنگهای گابرویی شاه‌آباد در نمودار مثلثی Wo-En-Fs [4]. Di: diopside, Hed: hedenbergite, Aug: augite, Pigeonite



شکل 5. ترکیب بیوین در سنگهای گابرویی شاه‌آباد بر پایه نمودار $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)$ در برابر $Mg/(Fe^{2+}+Mg)$ [3].

جدول 3. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های گابروی شاه‌آباد و فرمول ساختاری بر پایه 6 اتم اکسیژن

شماره نمونه	B7	B13	B22
میانگین تعداد آنالیزها	10	4	3
اکسید عناصر			
SiO ₂	50/67	50/09	50/36
TiO ₂	0/96	1/40	0/88
Al ₂ O ₃	2/82	04,4	3/72
FeO	6/01	5/00	4/41
MnO	0/05	0/00	0/00
MgO	17/61	17/12	16/27
CaO	20/70	21/22	23/17
Na ₂ O	0/45	0/56	0/53
K ₂ O	0/02	0/01	0/01
Total	99/28	99/42	99/34
Si	1/86	1/81	1/84
Al	0/12	0/18	0/15
T-site	1/98	1/98	1/99
Al	0/00	0/00	0/01
Ti	0/03	0/05	0/02
Mg	0/96	0/92	0/90
Fe ²⁺	0/18	0/16	0/13
Mn	0/00	0/00	0/00
Ca	0/81	0/85	0/92
Na	0,03	0,04	0,04
K	0/00	0/00	0/00
M-site	2/02	2/02	2/01
Wo	41/39	44/00	47/30
En	49/22	47/91	46/22
Fs	9/40	3/09	6/48

ژئوشیمی گابروها

بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی، فرعی و کمیاب ارائه شده در جدول 1، نمونه‌های گابروی مورد بررسی دارای دامنه تغییرات محدود در محتوای SiO₂ (47/4 - 50/5 درصد)، لکن نوسانات به نسبت بیشتر در مقدار Al₂O₃ (16/5 - 23/0 درصد)، Fe₂O₃ (3/76 - 5/16 درصد)، MgO (9/21 - 12/25)، MnO (0/07 - 0/08 درصد)، P₂O₅ (کمتر از 0/01 درصد در همه نمونه‌ها) و TiO₂ (0/06 - 0/27

درصد) می‌باشد. از عناصر کمیاب Sr، CO، Ni و V قابل توجه بوده و بقیه عناصر مقادیر بسیار کمی را نشان می‌دهند (جدول 1). همچنین محتوای کم TiO₂ نشان‌دهنده فقر ماگمای گابرویی شاه‌آباد از Ti است. محاسبه نرم CIPW نمونه‌های مورد بررسی دلالت بر تحت اشباع بودن گابروها از سیلیس با حضور الیوین و نفلین نورماتئو در ترکیبشان دارد (جدول 5). ترکیب نورماتئو این سنگها نشان می‌دهد که برخی از نمونه‌ها محتوای الیوین نورماتئو

برابر محتوای سیلیس [5] سنگهای مورد بررسی به تمامی در قلمرو گابرو و در عین حال در گستره سری ساب آلکالن (کالک آلکالن و تولئیتی) قرار می‌گیرند (شکل 6). خط متمایزکننده سری ساب آلکالن از سری آلکالن در این نمودار از میاشیرو [6] است.

بالتری دارند که با ترکیب کانی‌شناسی آنها همخوانی دارد. این دسته از سنگها بر پایه بررسی پتروگرافی الیوین گابرو و تروکتولیت و بقیه نمونه‌ها که محتوی پیروکسن نورماتیوشان نسبت به الیوین پیشی دارد گابرو نامیده می‌شوند. بر پایه نمودار مجموع مقادیر اکسید عناصر قلیایی ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) در

جدول 4. ترکیب شیمیایی میانگین نمونه‌های الیوین در توده گابرویی شاه‌آباد و فرمول ساختاری بر پایه 4 اتم اکسیژن

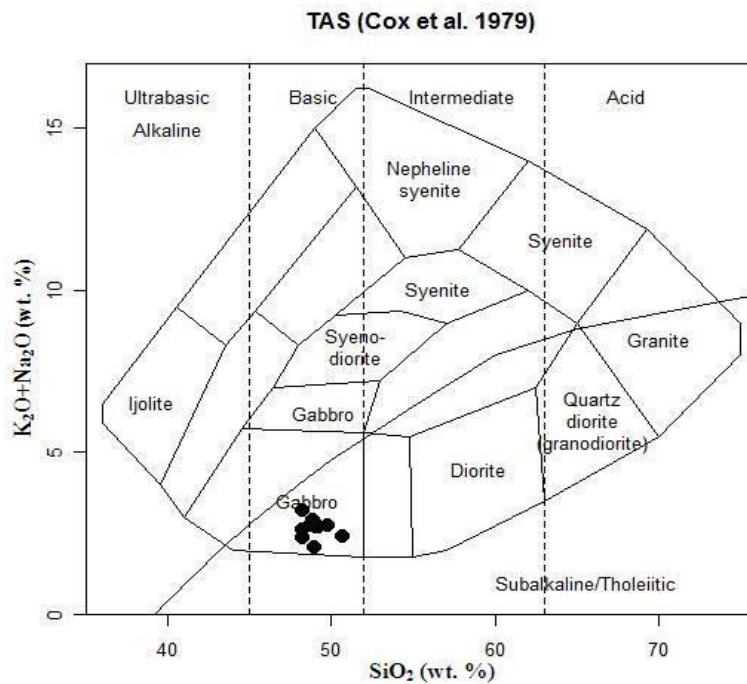
شماره نمونه میانگین تعداد آنالیزها	B7	B13	B22
آنالیزها	2	9	6
اکسید عناصر			
SiO ₂	37/55	38/96	37/00
TiO ₂	1/03	0/10	0/75
Al ₂ O ₃	0/02	0/02	0/03
FeO	16/68	17/15	16/68
MnO	0/27	-/00	0/07
MgO	43/42	42,55	44/47
CaO	0/05	0/04	0/05
Na ₂ O	0/08	0/05	0/03
K ₂ O	0/03	0/02	0/01
Total	99/12	98/89	99/08
Si	0/96	1/00	0/95
Al	0/00	0/00	0/00
T-site	0/96	1/00	0/95
Ti	0/02	0/00	0/01
Fe ²⁺	0/36	0/37	0/36
Mn	0/01	0/00	0/00
Mg	1/66	1/63	1/70
Ca	0/00	0/00	0/00
Na	0/00	0/00	0/00
K	0/00	0/00	0/00
Cations	2/05	2/00	2/07
Mg/Fe+Mg	0/83	0/82	0/83

عامل ژئوشیمیایی دیگر درجه اشباع‌شدگی از آلومینیوم سنگهای مورد بررسی است که بدین منظور نمودار A/NK در مقابل A/CNK [9] به کار گرفته شد. همان‌گونه که در شکل 8 ملاحظه می‌شود، همه نمونه سنگهای گابرویی منطقه شاه‌آباد در محدوده متآلومین پلات شده‌اند.

به‌منظور تفکیک سری تولئیتی از کالک آلکالن نمودار نسبت $\text{FeO}_{\text{total}}/\text{MgO}$ در برابر محتوای سیلیس به کار گرفته شد [7] که در این نمودار تمام نمونه‌های مورد بررسی در گستره کالک آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل 7- الف). همچنین در نمودار مثلثی AFM، [8] همه نمونه‌ها در قلمرو کالکو آلکالن قرار گرفته‌اند (شکل 7- ب).

جدول 5. نتایج محاسبه نرم CIPW نمونه‌های گابروی شاه‌آباد

نمونه	گابرو							الیون گابرو		
	B10	B12	B14	B19	B23	B05	B07	B09	B13	B22
کانیهای نورماتیو										
پلاژیوکلاز	46/66	43/34	49/12	44/52	53/64	46/15	45/30	54/56	57/38	60/84
ارتوکلاز	0/41	0/41	0/18	0/53	0/30	0/53	0/53	0/53	0/12	0/53
نفلین	4/63	4/16	3/51	2/58	3/96	5/17	14/34	4/54	4/09	4/43
دیوپسید	24/01	21/90	20/13	25/16	17/63	21/92	25/03	7/04	5/39	2/97
الیون	21/69	27/68	24/47	24/62	21/98	23/63	22/17	30/96	30/65	28/95
ایلمنیت	0/44	0/32	0/42	0/44	0/34	0/42	0/46	0/21	0/19	0/11
مگنتیت	2/13	2/15	2/15	2/13	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15	2/15
آپاتیت	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02	0/02



شکل 6. طبقه‌بندی سنگهای آذرین درونی بر پایه نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 . [5] خط متمایزکننده سریهای ماگمایی از [6]. همان‌گونه که مشاهده می‌شود تمام سنگهای بازیک درونی شاه‌آباد در محدوده گابرو و در قلمرو ساب‌آلکالین قرار گرفته‌اند.

نمونه‌های گابروی مورد بررسی عدد منیزیم از 0/70 تا 0/76، محتوی نیکل از 126 تا 358، کرم از 68-958 ppm و محتوی سیلیس از 47/43 تا 50/50 درصد وزنی تغییر می‌کنند. بنابراین، تنها مقادیر نیکل و کرم نمونه‌های مورد مطالعه نشانه‌های ماگمای اولیه را رد می‌کند و این می‌تواند دلالت بر تحول ماگما به‌واسطه فرآیندهای پتروژنتیک پس از

بحث

به‌طور کلی ماگماهای اولیه در تعادل با کانی‌شناسی گوشته فوقانی (الیون + ارتوپروکسن + کلینوپروکسن \pm گارنت \pm اسپینل) مقادیر عدد منیزیم ($\text{Mg}\# = \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}^{2+})$) Ni بالا (400-500 ppm)، Cr بالا (بیشتر از 0/70)، Ni بالا (400-500 ppm)، Cr بالا (بیشتر از 0/70) و SiO_2 کمتر از 50 درصد وزنی دارند [10]. در

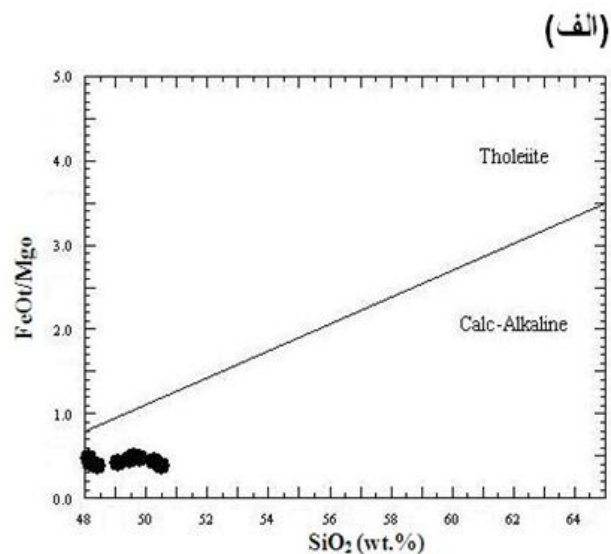
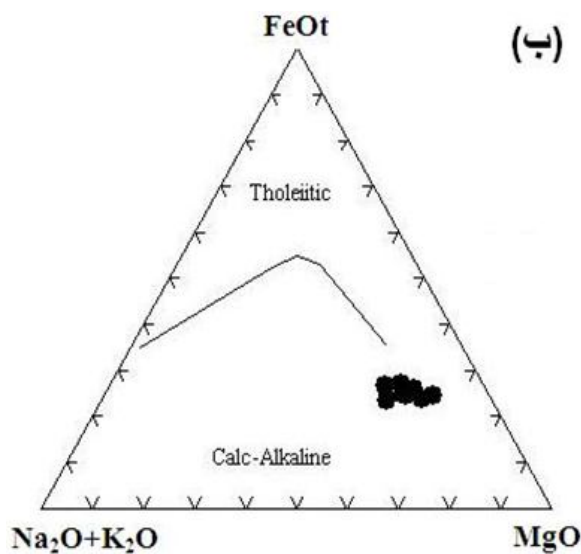
نمونه‌های کلینوپیروکسن این بررسی محدوده‌ای بین 82 تا 87 با میانگین 85 دارند که نشانه تشکیل آنها در فشار پایین است. از طرف دیگر فشار بالای بخار آب سبب تشکیل پلاژیوکلازهای غنی از آنورتیت (An80-An94) می‌شود [16]. بنابراین پایین بودن آنورتیت پلاژیوکلازهای مورد مطالعه (An56-An64) نشان می‌دهد که این کانی نمی‌توانسته حاصل تبلور در یک مذاب آبدار در فشار بالا باشد. به عبارت دیگر پلاژیوکلازها همانند پیروکسن‌ها از یک ماگمای بی‌آب در فشار پایین ایجاد شده‌اند.

برای بررسی محیط ژئودینامیک توده گابروی مورد بررسی از یک سری نمودارهای متمایزکننده استفاده شد. در نمودار $\text{TiO}_2\text{-Y/20-K}_2\text{O}$ [17] به استثنای نمونه B22 که در قلمرو گابروهای کمان قاره‌ای قرار دارد، گابروهای منطقه مورد مطالعه همه در میدان گابروهای جزایر کمانی و یا در مرز با آن واقع شده‌اند (شکل 9).

تشکیل و یا این‌که از یک گوشته متاسوماتیزه به ارث برده‌باشد.

غنی‌شدگی از LILE (شکل 11) می‌تواند در نتیجه درجات پایین ذوب‌بخشی از منشأ گوشته‌ای، تحرک عناصر طی دگرسانی، نقش گوشته متاسوماتیزه، آلودگی به‌وسیله مواد پوسته‌ای و یا دخالت پوسته در تولید سنگهای منطقه باشد. آنومالی منفی Ti و Nb به عوامل گوناگونی نسبت داده می‌شود که فهرست‌وار عبارتند از: 1- مشخصه ماگماتیسیم مرتبط با فرآیند فرورانش است [11 و 12]. 2- وجه مشخصه سنگهای پوسته قاره‌ای و شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی است [11 و 13]. 3- نشانه فقر این عناصر در منشأ، پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب‌بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق است [14].

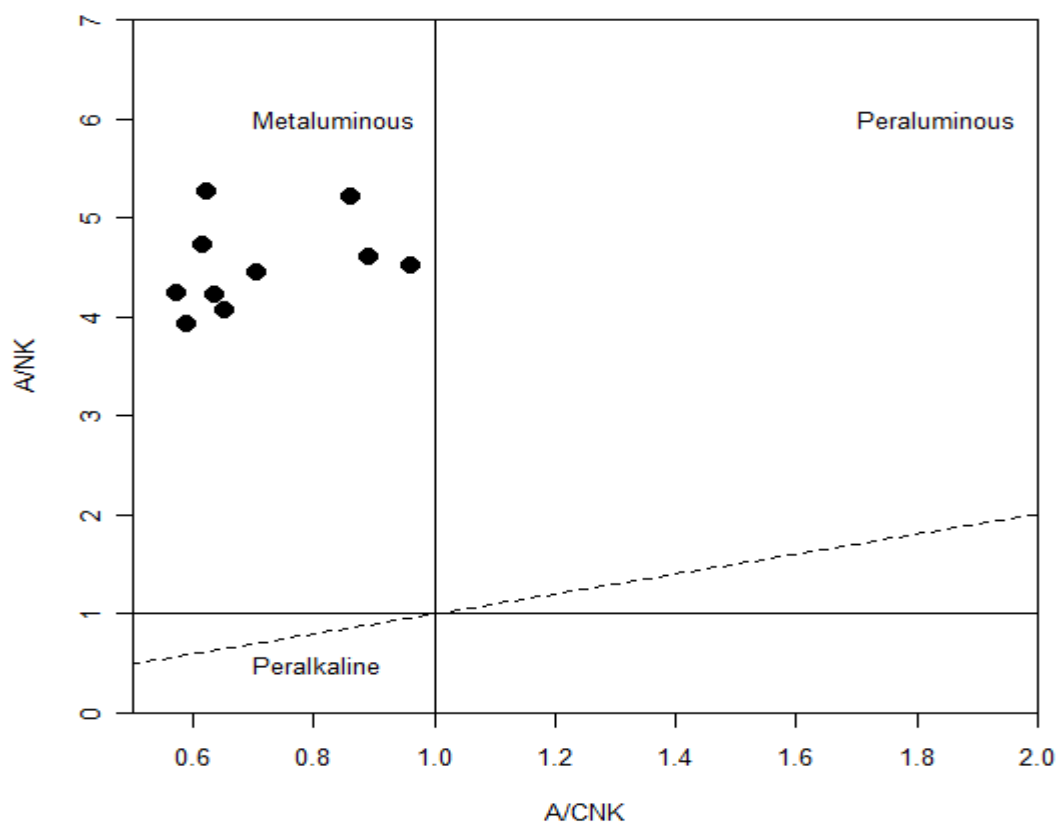
پارلاک و همکاران [15] نشان داده‌اند که کلینوپیروکسن‌های اولیه‌ای که از یک ماگمای بازیک در فشار پایین متبلور می‌شوند عموماً عدد منیزیم کمتر از 84 دارند. عدد منیزیم



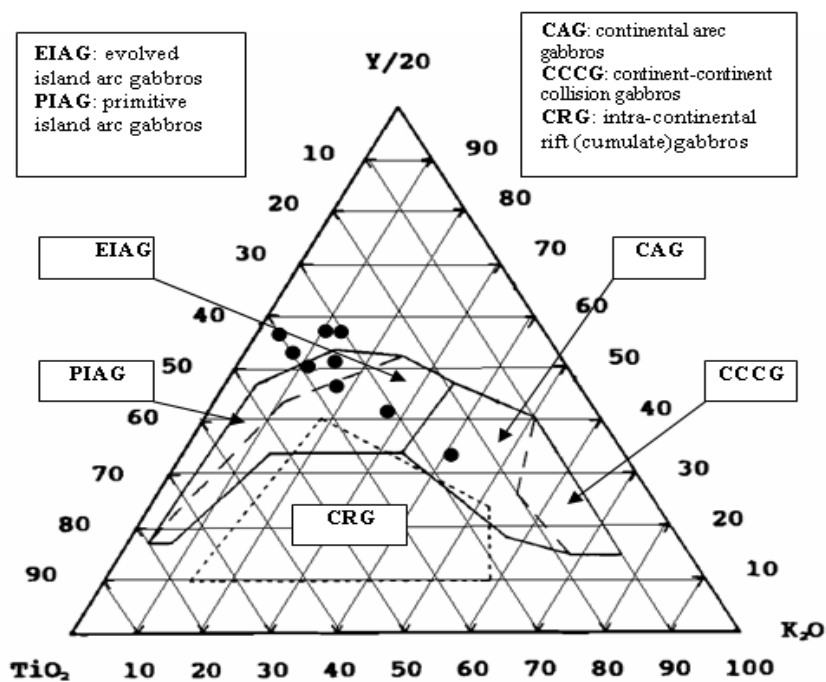
شکل 7. تعیین سری ماگمایی سنگهای گابرویی بر پایه الف) نمودار FeO/MgO در برابر SiO_2 [7] و ب) نمودار مثلثی AFM [8]، چنان‌که مشاهده می‌شود تمام نمونه‌های گابروی شاه‌آباد در قلمرو کالک‌آلکالن و در نمودار مثلثی AFM نزدیک قطب منیزیم و روند کالک‌آلکالن را به‌نمایش گذاشته‌اند.

محیطهای تکتونیکی مختلف نظیر VAB (بازالت‌های کمان آتشفشانی)، OFB (بازالت‌های بستر اقیانوسی)، WPT (بازالت‌های تولییتی میان‌صفحه‌ای) و WPA (بازالت‌های آلکالن میان‌صفحه‌ای) است.

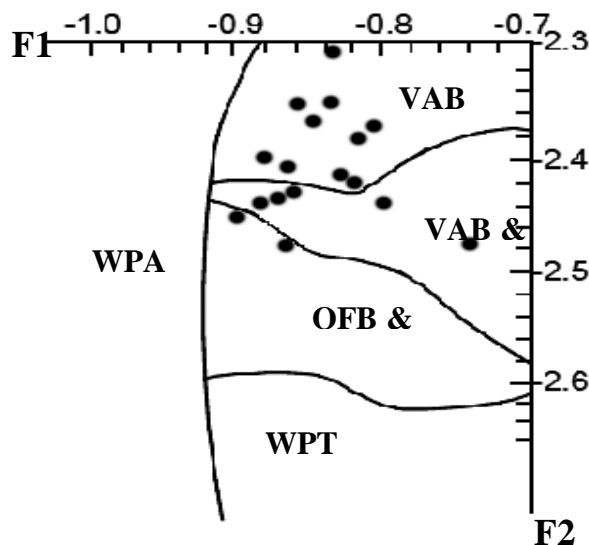
در نمودار F1-F2 که بر پایه ترکیب تمام اکسید عناصر اصلی و فرعی کلینوپیروکسن جهت تمایز محیطهای تکتونیکی بازالت‌ها طراحی شده [18] ترکیب کلینوپیروکسن‌های توده گابرویی شاه‌آباد در قلمرو بازالت‌های کمان آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل 10). این نمودار قادر به تمایز بازالت‌های



شکل 8. موقعیت نمونه های گابروی شاه آباد در نمودار A/NK در مقابل A/CNK [9].



شکل 9. موقعیت نمونه های گابروی شاه آباد در نمودار TiO_2 -Y/20-K₂O به منظور تمایز محیط تکتونیکی گابروها، برگرفته از [15].



شکل 10. موقعیت ترکیب کلینوپیروکسن گابروهای شاه‌آباد در نمودار F1-F2 برگرفته از [16] به منظور تمایز محیط‌های تکتونیکی بازالت‌ها: VAB (بازالت‌های کمان آتشفشانی)، OFB (بازالت‌های بستر اقیانوسی)، WPT (بازالت‌های تولیتی میان‌صفحه‌ای)، WPA (بازالت‌های آلکان میان‌صفحه‌ای).

$$F1 = -(0.012 * SiO_2) - (0.0807 * TiO_2) + (0.0026 * Al_2O_3) - (0.0012 * FeO) - (0.0026 * MnO) + (0.0087 * MgO) - (0.0128 * CaO) - (0.0419 * Na_2O)$$

$$F2 = -(0.0469 * SiO_2) - (0.0818 * TiO_2) + (0.0212 * Al_2O_3) - (0.0041 * FeO) - (0.1435 * MnO) + (0.0029 * MgO) + (0.0085 * CaO) - (0.016 * Na_2O)$$

می‌رود [18] در حالی که میزان TiO_2 در نمونه‌های مورد بررسی کمتر از 0/3 درصد وزنی است. حضور گابروهای مورد بررسی در مجموعه سنگ‌های افیولیتی چهارگوش هرسین را می‌توان تنها با انواع مشابه آن در سکانس‌های افیولیتی مقایسه نمود. از این‌رو گابروهای افیولیت ده‌شیر که ویژگی‌های تکتونیکی، کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی مشابهی دارد انتخاب شد [19]. مقایسه نمودار عنکبوتی عناصر نشان می‌دهد ویژگی‌های ژئوشیمیایی گابروهای افیولیت ده‌شیر نظیر تهی‌شدگی از Nb و Ta و غنی‌شدگی از Sr نسبت به N-MORB [17] با ویژگی‌های ژئوشیمیایی گابروهای این بررسی همخوانی دارد (شکل 11).

مطالعات اخیر نشان داده است افیولیت‌های کرتاسه بالایی در کمربند کوه‌زایی زاگرس شامل افیولیت‌های خوی، نایین-بافت (ده‌شیر)، نیریز و شهرباک در محیط سوپراساداکنش تشکیل شده‌اند [29، 28، 27، 26، 25، 24، 23، 19 و 20]. بنابراین با توجه به حضور گابروهای شاه‌آباد در مجموعه سنگ‌های افیولیتی هم‌سن، همچنین نشانه‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و

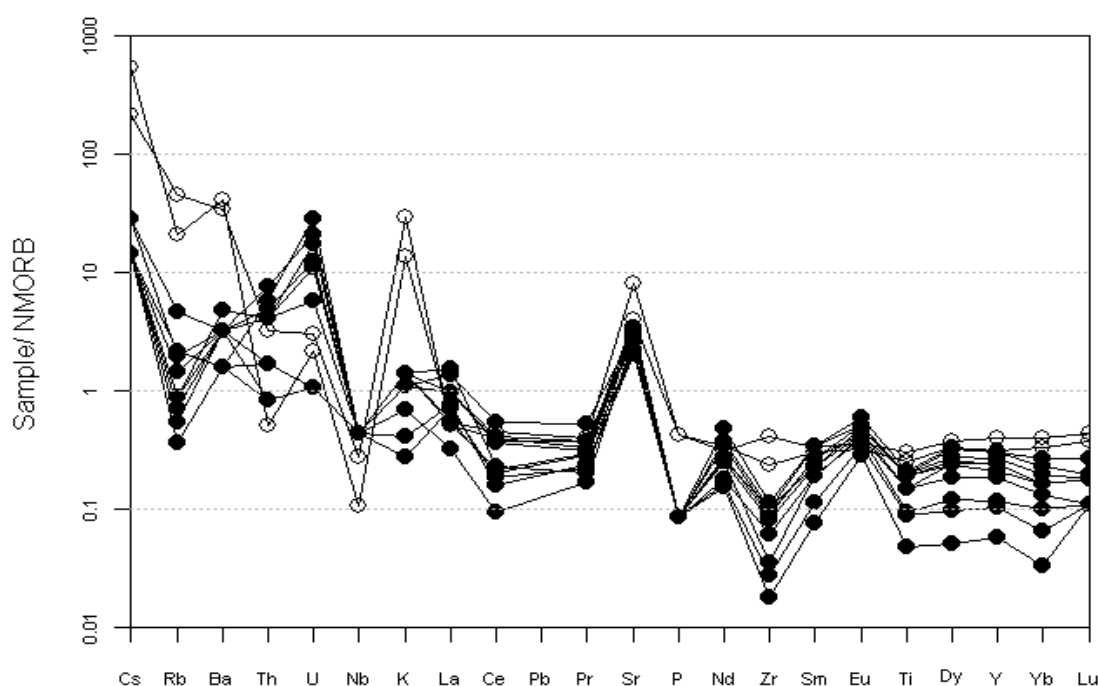
همچنین نمودار عنکبوتی عناصر سنگ‌های گابرویی شاه‌آباد که نسبت به فراوانی همین عناصر در پوسته اقیانوسی معمول (N-MORB) [23] عادی‌سازی شده در شکل 11 نشان داده شده است. الگوی کلی نمودار عنکبوتی سنگ‌های گابرویی شاه‌آباد بسیار مشابه با الگوی عنکبوتی گابروهای افیولیت ده‌شیر است [19]. آنومالی منفی Nb، Zr و Ce در برابر آنومالی مثبت Sr و La در الگوی هر یک از نمونه‌ها مشاهده می‌شود (شکل 11). بررسی الگوی عناصر کمیاب در نمودار عنکبوتی تقریباً سیری نزولی از عناصر سبک به سنگین را نشان می‌دهد. غنی‌شدگی از Sr را می‌توان به حضور فراوان پلاژیوکلازهای کلسیک در نمونه‌های گابرو نسبت داد زیرا Sr به سهولت جانشین Ca در ساختار بلوری پلاژیوکلاز می‌شود. در مقابل تهی‌شدگی یا آنومالی منفی Nb، Ti، Hf و Zr مشخص‌ترین ویژگی ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین مناطق فرورانش است [20 و 21]. همچنین در سنگ‌های مربوط به محیط کششی فراوانی میزان TiO_2 بیشتر از 2/4 درصد وزنی است که یکی از ویژگی‌های سامانه‌های ریف‌ت قاره‌ای به شمار

از نوع ساب‌آلکان، متآلومین و در محدوده کالکوالکان قرار می‌گیرد. محتوای Ti این سنگها در مقایسه با سنگهای مناطق ریفت بسیار پایین است. ترکیب شیمی پیروکسن‌ها و همچنین نمودارهای عنکبوتی این توده از عناصر Sr, Ba, Gنی و از Zr, Nb و Ti تهی شده، به عبارتی ویژگیهای سنگهای کمان ماگمایی را نشان می‌دهد. بنابراین با توجه به همراهی گابروها با مجموعه سنگهای افیولیتی هم‌سن، می‌توان تشکیل گابروهای شاه‌آباد را در یک محیط سوپراسابداکشن توجیه نمود.

کانی‌شناسی مرتبط با فرورانش، می‌توان تشکیل گابروهای شاه‌آباد را به یک سیستم سوپراسابداکشن نسبت داد.

برداشت

بر اساس نتایج حاصل از بررسیهای صحرایی، سنگ‌شناختی و مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی، توده گابروی شاه‌آباد دارای طیف ترکیبی از گابرو، الیوین گابرو تا تروکتولیت است. کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده این گابروها پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین هستند. براساس نتایج تجزیه‌های شیمیایی این توده‌ها



شکل 11. نمودار عنکبوتی عادی‌سازی شده عناصر کمیاب سنگهای گابرویی شاه‌آباد نسبت به مورب عادی [22]. الگوی عنکبوتی گابروهای افیولیت ده‌شیر (دوایر توخالی [19]) جهت مقایسه در این نمودار لحاظ شده است.

مراجع

- pyroxenes*", American Mineralogist 73 (1988) 1123–1133.
- [5] Cox K. G., Bell J. D., Pankhurst R. J., "The Interpretation of Igneous Rocks", George Allen & Unwin (1979).
- [6] Miyashiro A., "Nature of alkalic volcanic rock series", Contributions to Mineralogy and Petrology 66 (1978) 91- 104.
- [7] Miyashiro A., "Volcanic rock series in island arcs and active continental margins", American Journal of Sciences 274 (1974) 321-355.
- [8] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal Earth Science 8 (1971) 523 -548.

- [1] سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور "نقشه زمین‌شناسی هرسین، مقیاس 1:100/000"، وزارت صنعت، معدن و تجارت، (1375-1376).
- [2] Shelley D., "Igneous and Metamorphic rocks under the microscope", Chapman and Hall (1993) 445p.
- [3] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An Introduction to the Rock Forming Minerals" 2nd ed., Longman, London (1992) 696p.
- [4] Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G. "Nomenclature of

- tectonic setting of gabbroic plutons and for andesitic genesis*", *Geology*. v. 14 n. 10 (1986) 848-851.
- [21] Gioncada A., Mazzuoli R., Bisson M., Pareschi M T., "Petrology of volcanic products younger than 42 ka on the Lipari-Vulcano complex (Aeolian Islands, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics", *Journal Volcanology Geotherm. Research* 122 (2003) 191-220.
- [22] Sun S. S., McDonough W. F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes", In: *Magmatism in the ocean basins*. Saunders A.D. and Norry M. J. (Editors). *Geology Society, London* 42 (1989) 313-345.
- [23] Arvin, M., "Petrology and Geochemistry of Ophiolites and Associated Rocks from the Zagros Suture, Neyriz, Iran", [Ph.D. thesis]: London, London University (1982) 299 p.
- [24] Babaie, H.A., Ghazi, A.M., Babaei, A., La Tour, T.E., and Hassanipak, A.A., "Geochemistry of arc volcanic rocks of the Zagros crush zone, Neyriz, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 19 (2001) 61-76.
- [25] Babaie A., Babaie H.A., Arvin M., "Tectonic evolution of the Neyriz ophiolite, Iran: An accretionary model", *Ophioliti* 30 (2005) 65-74.
- [26] Babaie H.A., Babaei A., Ghazi A.M., Arvin M., "Geochemical, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age, and isotopic data for crustal rocks of the Neyriz ophiolite, Iran", *Canadian Journal of Earth Sciences* 43 (2006) 57-70.
- [27] Ghazi A.M., Hassanipak A.A., "Petrology and geochemistry of the Shahr-Babak ophiolite, Central Iran", in Dilek, Y., Moores, E.M., Elthon, D., and Nicolas, A., eds., *Ophiolites and Oceanic Crust: New insight from field and the Ocean Drilling Program: Geological Society of America Special Paper* 349 (2000) 485-497.
- [28] Ghazi A.M., Pessagno E.A., Hassanipak A.A., Kariminia S.M., Duncan R.A., Babaie H.A., "Biostratigraphic zonation and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages for the Neo-Tethyan Khoy ophiolite of NW Iran", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 193 (2003) 311-323.
- [29] M., Khalatbari-Jafari T., Juteau J., Cotton., "Petrological and geochemical study of the Late Cretaceous ophiolite of Khoy (NW Iran), and related geological formations", *Journal of Asian Earth Sciences* 27 (2006) 465-502.
- [9] Maniar P.D., Piccoli P.M. "Tectonic discrimination of granitoids", *Geology, Society American Bulletin* 101 (1989) 635-643.
- [10] Wilson M., "Igneous Petrogenesis – A Global tectonic approach", *Kluwer Academic Publishers* (1989) 466 p.
- [11] Kuster D., Harms U. "Post-collisional potassic granitoids from the southern and northwestern parts of the Late Neoproterozoic East African Orogen: a review", *Lithos* 45 (1998) 177-195.
- [12] Saunders A.D., Tarney J., Weaver S.D. "Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula: implications for the genesis of calc-alkaline magmas", *Earth Planet Science Letters* 46 (1980) 344-360.
- [13] Rollinson H. R., "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation Interpretation", Longman Scientific & Technical Ltd., Harlow, United Kingdom (1993) 352 p.
- [14] Wu F-Y., Jahn B.M., Wilde S.A., Lo C.H., Yui T.Z., Lin Q., Ge W.C., Sun D.Y. "Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis", *Lithos* 66 (2003) 241-273.
- [15] Parlak O., Hock V., Delaloye M., "The supra-subduction zone Pozanti-Karsanti ophiolite, southern Turkey: evidence for high-pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates", *Lithos* 65 (2002) 205-224.
- [16] Bağcı U., Parlak O., Hock V., "Geochemical character and tectonic environment of ultramafic to mafic cumulate rocks from the Tekirova (Antalya) ophiolite (southern Turkey)", *Geology. Journal* 41 (2006) 193-219.
- [17] Kocak K., Isik F., Arslan M., Zedef V., "Petrological and source region characteristics of ophiolitic hornblende gabbros from the Aksaray and Kayseri regions, central Anatolian crystalline complex, Turkey", *Journal of Asian Earth Science* 25 (2005) 883-891.
- [18] Nisbet E.G., Pearce J. A., "Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings", *Contribution to Mineralogy and Petrology* 63 (1977) 149-160.
- [19] Shafaii Moghadam H., Stern R. J., Rahgoshay M., "The Dehshir ophiolite (Central Iran): Geochemical constraints on the origin and evolution of the inner Zagros ophiolite belt", *Geological Society of America Bulletin* 122 (2010) 1516-1547.
- [20] Beard J.S., "Characteristic mineralogy of arc-related cumulate gabbros: Implication for the

