



شیمی کانی گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه، شواهدی بر خاستگاه زمین ساختی

فرهاد آلیانی، زینب دارایی زاده*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۶/۶/۷، نسخه نهایی: ۹۶/۱۰/۱۳)

چکیده: گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه شامل طیفی از گابرو، الیوین گابرو، گابرو نوریت، الیوین گابرو نوریت و تروکتولیت هستند که بیشتر متوسط بلور هستند و از کلینوپیروکسن، پلاژیوکلاز، ارتوپیروکسن، الیوین و به مقادیر کم آمفیبول تشکیل شده اند. کلینوپیروکسن ها با ترکیب اوژیت - دیوپسید ($En_{(45/79-50/91)}$ ، $Fs_{(31/63-74/9)}$ و $Wo_{(43/81-48/47)}$) غنی از کلسیم و فقیر از سدیم (Na_2O کمتر از ۰/۵۴ درصد وزنی)، با مقدار نسبتاً بالای $Mg^{#}$ (۸۵/۶۲ تا ۸۹/۳۵) و اندک Ti (TiO_2 کمتر از ۰/۲۸ درصد وزنی) مشخص می شوند. پلاژیوکلازها بیشتر از نوع بیتونیتی هستند و ترکیب آنها از آنورتیت غنی است ($An_{(70/51-90/15)}$ ، $Ab_{(9/62-29/02)}$ و $Or_{(0/100-63)}$). مؤلفه فورستریتی الیوین ها در گستره ۸۴/۸۲-۸۰/۰۷ تغییر می کند. اغلب ارتوپیروکسن ها ترکیب انستاتیتی دارند و گستره ترکیبی آنها ($En_{(78/27-84/94)}$ ، $Fs_{(13/0-20/07)}$ و $Wo_{(11/43-23/36)}$) است. آمفیبول ها از منیزیم غنی هستند (ترمولیت، اکتینولیت و منیزیهورنبلند) و $Mg^{#}$ آنها در گستره ۶۴/۳۵ تا ۸۴/۸۶ تغییر می کند. وجود الیوین ها و پیروکسن های با منیزیم بالا، پلاژیوکلازهای کلسیک و نیز وجود کانی آمفیبول در گابروها نشان دهنده تشکیل آنها در محیط زمین ساختی مربوط به فرورانش است. نمودارهای تعیین خاستگاه زمین ساختی کلینوپیروکسن ها، ویژگی های شاخص جزایر کمانی خاستگاه ماگما را نشان می دهند. براساس نتایج، افیولیت کرمانشاه در محیط پهنه ابرفرورانشی در شاخه جنوبی نئوتیس تشکیل شده است.

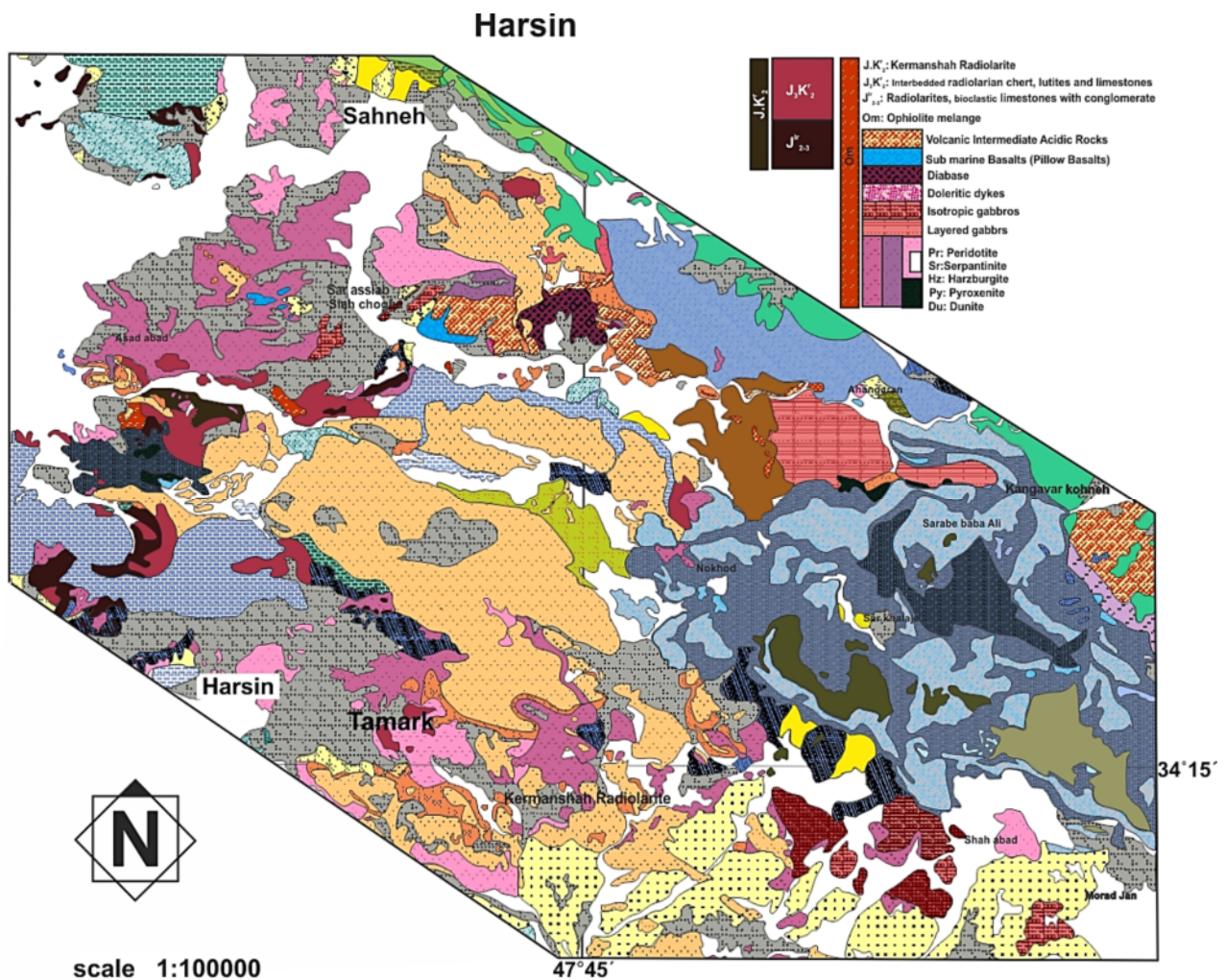
واژه های کلیدی: افیولیت کرمانشاه؛ گابروهای همسانگرد؛ شیمی کانی؛ پهنه ابرفرورانشی.

مقدمه

کربنات های بیستون پوشانده شده اند. نقشه زمین شناسی ساده - ای از منطقه مورد بررسی (برگرفته از مرجع [۲]) در شکل ۱ آمده است.

بررسی سنگ های تشکیل دهنده توالی افیولیتی از اهمیت بسیاری در تعیین جایگاه زمین ساختی ماگمایی و نیز بررسی دگرگونی های حوضه اقیانوسی برخوردار است. گابروهای انباشتی (لایه ای) و نیز انواع همسانگرد از سنگ های تشکیل دهنده توالی مافیک بسیاری از توالی های افیولیتی هستند [۳-۷]. گابروهای همسانگرد در بالای توالی انباشتی قرار دارد که معمولاً به صورت توده ای غیرانباشتی، بدون برگراری و لایه بندی هستند [۸]. گابروهای لایه ای و همسانگرد، از نظر کانی شناسی و زمین شیمی عناصر اصلی بسیار شبیه هستند و تنها

افیولیت کرمانشاه (صحنه - هرسین) در پهنه زمین ساختی - ساختاری غرب ایران، در زمین درز زاگرس قرار گرفته است و از افیولیت های کمربند خارجی زاگرس (ZOB) محسوب می شود [۱]. این مجموعه افیولیتی انواع مختلفی از سنگ ها را در بر می گیرد: پریدوتیت ها (فرامافیک های دارای بافت تکتونیت سنگی و نیز انواعی که دارای بافت انباشتی هستند)، توالی گابرویی (گابروهای یگماتوئیدی، گابروهای آمفیبول دار، لوکواگابروها، متاگابروهای لایه ای و میلونیتی، گابروهای همسانگرد و تروکتولیت ها)، ورلیت ها، دایک های صفحه ای، پیلولاواها، بازالت های اسپیلیتی، سنگ های آذرین حدواسط که به طور دگرشیب توسط نهشته های رسوبی - تخریبی و نیز



شکل ۱ نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هرسین (برگرفته از مرجع [۲] با اندکی تغییرات).

صورت توالی‌های کم ارتفاع و کشیده و گاه به صورت ارتفاعات بلند حدود ۵۰۰ تا ۷۰۰ متر در ناحیه رخنمون دارند. کشیدگی کلی این توالی در ناحیه صحنه به صورت شرقی - غربی با تمایل به شمال غرب - جنوب شرق است و به طور کلی از روند ارتفاعات زاگرس (کوه بیستون) پیروی می‌کند. ضخیم‌ترین توالی گابرویی صحنه، مربوط به حد فاصل بین روستای سیاه-چقا و روستای علی‌آباد گروس است. رنگ این سنگ‌ها در نمونه‌های دستی سیاه و خاکستری است و در نمونه‌های دگرسان شده به رنگ سبز تیره دیده می‌شوند. بیشترین دگرسانی در گابروهای شمال روستای علی‌آباد گروس دیده می‌شود. توالی گابرویی ناحیه صحنه از ساخت‌های متفاوتی برخوردارند: نخست گابروهای انباشتی قرار دارند که رخنمون آنها پس از روستای سراسیابان شروع می‌شود و تا پس از

از نظر فراوانی عناصر کمیاب ناسازگار تفاوت دارند [۹]. گابروهای لایه‌ای دارای مقادیر پایین‌تر K_2O ، P_2O_5 ، TiO_2 و عناصر کمیاب ناسازگار هستند. افیولیت کرمانشاه دارای هر دو نوع گابروهای لایه‌ای و همسانگرد است. شیمی کانی گابروهای همسانگرد نقش مهمی در درک تاریخچه زمین‌ساختی مجموعه‌های افیولیتی دارد. در این پژوهش، با توجه به نتایج برآمده از شیمی کانی گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه، ویژگی‌های سنگ‌شناسی، خاستگاه و نیز خاستگاه زمین‌ساختی این سنگ‌ها تعیین می‌شود.

روابط صحرایی سنگ‌های مافیک

در جنوب شهر صحنه در همسایگی فرامافیک‌ها، مجموعه متنوعی از گابروها قرار دارد. گابروها فراوان‌ترین توده‌های مافیک در این ناحیه هستند [۱۰]؛ توده‌های گابرویی گاه به-

شناسی، ۱۶ نمونه از گابروها انتخاب و ترکیب شیمیایی کانی-های تشکیل دهنده آنها (پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و الیون) بر مقاطع نازک صیقلی به روش ریزپردازش الکترونی در ۱۵۰ نقطه، در آزمایشگاه زمین‌شیمی مؤسسه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی سوبولف (نوسیبیرسک) شاخه سبیری انجمن علوم زمین روسیه توسط دستگاه ریزکاو الکترونی مدل JEOL JXA-8100 با ولتاژ شتاب‌دهنده 20 kV و شدت جریان 200 nA تعیین شد. نتایج به دست آمده در جدول‌های ۱-۴ ارائه گردیده است. بررسی و پردازش داده‌ها با استفاده از نرم-افزارهای GCDKit، Iqpet و Minpet انجام شده است.

سنگ‌نگاری

گابروهای همسانگرد مورد بررسی شامل طیفی از گابرو، الیون گابرو، گابرو نوریت، الیون گابرو نوریت و تروکتولیت هستند که در ادامه توضیح داده می‌شود.

گابروها: بافت دانه‌ای، پوئی‌کیلیتیک نشان می‌دهند (شکل ۲)، ترکیب کانی‌شناسی آنها عبارت است از: پلاژیوکلاز (۶۵ تا ۷۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۰ تا ۲۵ درصد)، ارتوپیروکسن (۴ تا ۵ درصد)، الیون (۱ تا ۲ درصد) و آمفیبول (۱ تا ۲ درصد). کروم‌اسپینل کانی فرعی و کانی‌های رسی، زوئیزیت، کلریت و مگنتیت کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند.

پلاژیوکلازها به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار هستند و تا اندازه‌ای به سرسیت دگرسان شده‌اند. پلاژیوکلاز گاهی در کلینوپیروکسن به صورت میانبار وجود دارد (شکل‌های ۲ پ و ت). حضور بلورهایی از پلاژیوکلاز درون پیروکسن یا برعکس، به ویژه در گابروها، بیانگر همزمانی تبلور این دو فاز کانیایی است.

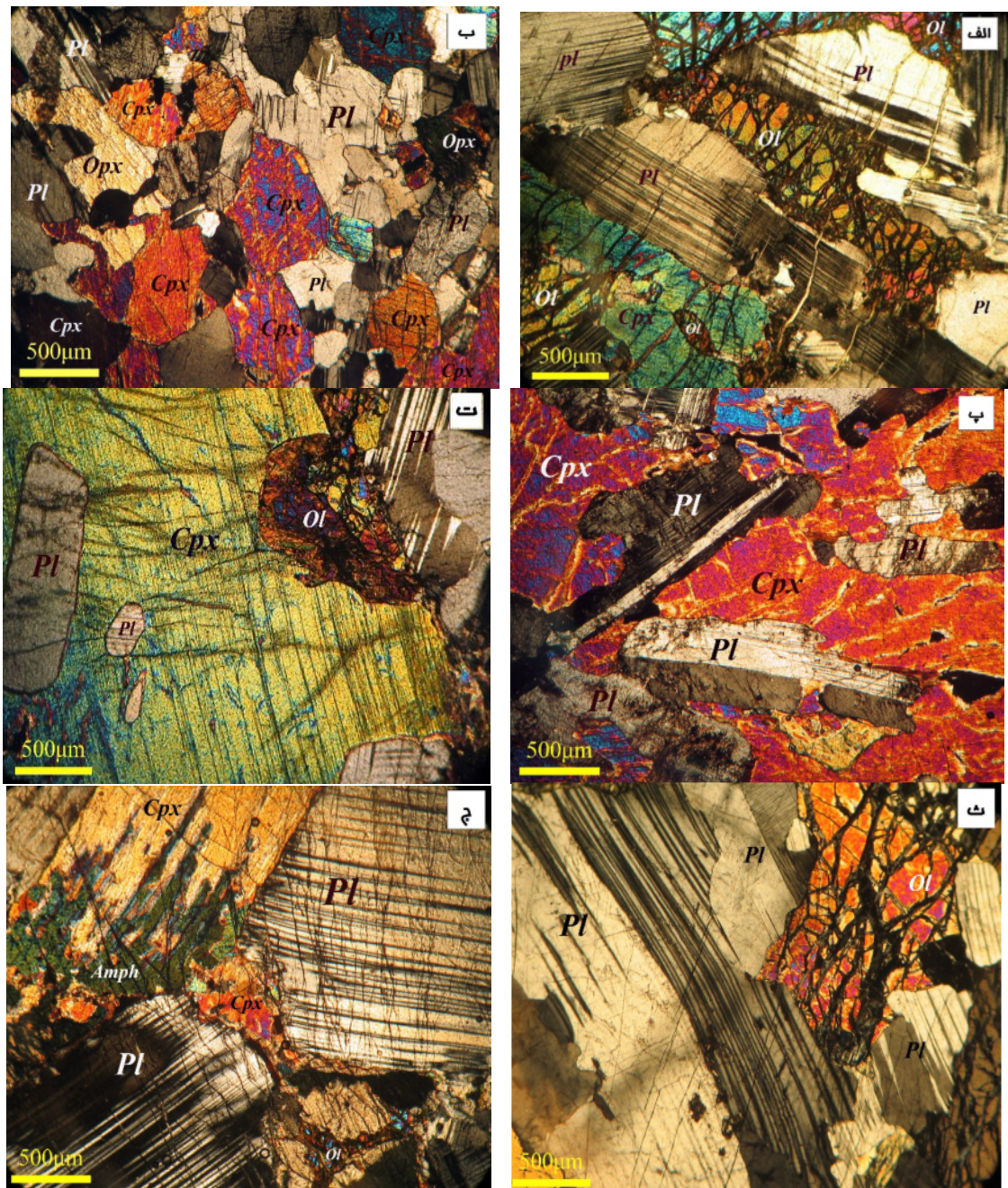
از ویژگی‌های پلاژیوکلازها می‌توان به خمیدگی سطوح ماکل و ایجاد کینک‌باند اشاره کرد (شکل ۲ ث) که بر دگرشکلی پلاستیک دلالت دارد. همچنین عدم وجود منطقه-بندی در پلاژیوکلازها نشان از تبلور تعادلی آنها دارد. کلینوپیروکسن‌ها به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شوند و با توجه به ویژگی‌های نوری از نوع اوژیت هستند و معمولاً به ترمولیت، اکتینولیت و مگنتیت دگرسان شده‌اند. این جانیشینی‌های کلینوپیروکسن، از کناره بلورهای اوژیت شروع شده و تا مرکز بلور گسترش یافته است (شکل ۲ ج).

روستای سیاه چقا و اطراف روستای علی‌آباد گروس ادامه دارد. گذر از سنگ‌های فرامافیک گوشته‌ای به سنگ‌های بازی پوسته‌ای با الیون‌گابرو و تروکتولیت دنبال شده است. تروکتولیت‌ها در شمال شرق روستای سیاه‌چقا و نیز در روستای ارگنه بالا از گسترش نسبتاً خوبی برخوردارند. تروکتولیت‌ها توسط لایه‌ای با ضخامت کم حدود ۴۰ متر شامل دونیت، هارزبورژیت و پیروکسنیت تالکی شده از هارزبورژیت‌های زمین‌ساختی مجزا می‌شوند و در بعضی از قسمت‌ها به طور مستقیم و با برخورد گسله بر هارزبورژیت‌ها قرار می‌گیرند. سنگ‌های همراه این واحد، پیروکسن‌گابروها و گابروهای الیون‌دار هستند که توسط عملکرد گسل‌های روراندگی خرد شده و با هم آمیخته‌اند.

علاوه بر گابروهای نام برده، گابروهای پگماتوئیدی نیز در منطقه وجود دارند که در صحنه گسترش محدودی دارند. همچنین در شمال‌شرق هرسین (در نزدیکی توده‌های سرپانتینی) و نیز در اطراف نورآباد (شهرستان دلفان، استان لرستان) رخنمونی از این گابروها دیده می‌شود. در این گابروها، درشت‌بلورهای کلینوپیروکسن به اندازه ۴-۵ میلی‌متری توسط پلاژیوکلازها احاطه شده یا به صورت میانبار در این بلورها قرار گرفته‌اند. گابروهای پگماتوئیدی قسمت زیرین توالی مافیک را تشکیل می‌دهند؛ به سمت بالای توالی، به تدریج اندازه و ابعاد بلورها ریزتر شده و گابروهای همسانگرد جای گابروهای پگماتوئیدی را می‌گیرند. پس از روستای گروس، به سمت شرق ناحیه، گابروها به تدریج جهت‌یافته شده و با گنیسوزیته در نمونه‌های دستی مشخص می‌شوند. سرانجام پس از روستای شوه به واسطه تأثیر روراندگی، گابروهای همسانگرد به تدریج به گابروهای میلونیتی تبدیل می‌شوند. البته چندین توده از گابروهای همسانگرد متعلق به افیولیت کرمانشاه در اطراف نورآباد و نیز در جاده نورآباد - هرسین به صورت تپه‌های منفرد رخنمون یافته‌اند، و به‌وضوح گابروهای همسانگرد در این منطقه گسترش بسیار بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.

روش کار

مرحله نخست شامل جمع‌آوری نمونه‌های متعدد از انواع گابروهای موجود در توالی افیولیتی مورد نظر، تهیه مقاطع نازک از سنگ‌ها و بررسی‌های میکروسکوپی برای سنگ‌شناسی و سنگ‌نگاری آن‌هاست. با توجه به تفکیک صحرایی و سنگ-



شکل ۲ تصاویر مقاطع میکروسکوپی گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه. علائم اختصاری به کار رفته عبارتند از Ol: الیوین؛ Opx: ارتوپيروكسن؛ Cpx: كلينوپیروكسن؛ Pl: پلاژیوکلاز [۱۱].

کلینوپيروكسن‌ها و پلاژیوکلاز قرار گرفته‌اند. از جمله شواهد دگرسانی مؤثر بر این سنگ‌ها می‌توان به تشکیل آمفیبول (اورالیت) از پیروكسن؛ سرپانتین و مگنتیت برآمده از الیوین و نیز کلریتی شدن اشاره کرد.

الیوین گابروها بافت دانه‌ای، پوئی کیلیتیک نشان می‌دهند؛ ترکیب کانی‌شناسی آنها شامل پلاژیوکلاز (۶۰ تا ۶۵ درصد)، کلینوپيروكسن (۱۵ تا ۲۰ درصد)، ارتوپيروكسن (کمتر از ۵

کلینوپيروكسن‌ها همچنین دارای تیغه‌های جدایشی ارتوپيروكسن هستند و لبه‌های آنها توسط آمفیبول‌های جانشین شده است. آمفیبول‌ها از نوع هورنبلند و اکتینولیت (تانویه) به صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل حضور دارند و گاهی به کلریت تبدیل شده‌اند. کانی‌های تیره نظیر اکسیدهای آهن - تیتانیم (تیتانومگنتیت)، پنتلانیدیت، پیروتیت، به ندرت کوولیت، کالکوپیریت بعنوان کانی‌های فرعی در بین

درصد، الیوین (۵ تا ۱۰ درصد) و آمفیبول (۱ تا ۲ درصد) است. **گابرونوریت‌ها:** دارای بافت دانه‌ای، پوئی‌کلیتیک هستند و ترکیب کانی‌شناسی آنها شامل پلاژیوکلاز (۵۰ تا ۵۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۵ تا ۳۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۱۰ تا ۱۵ درصد)، آمفیبول (۴ تا ۵ درصد) و اکسیدهای آهن - تیتانیم است. **الیوین گابرونوریت‌ها:** بافت دانه‌ای، پوئی‌کلیتیک نشان می‌دهند؛ ترکیب کانی‌شناسی آنها پلاژیوکلاز (۴۵ تا ۵۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۳۰ تا ۳۵ درصد)، الیوین (۱۰ تا ۱۵ درصد)، ارتوپیروکسن (۷ تا ۸ درصد) و اکسیدهای آهن - تیتانیم کانی‌های رسی، سرپانتین، کلریت و اپیدوت، کانی‌های ثانویه الیوین گابروها، گابرونوریت‌ها و الیوین گابرونوریت‌ها هستند.

تروکتولیت‌ها: دارای بافت دانه‌ای و پوئی‌کلیتیک هستند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آنها عبارتند از: پلاژیوکلاز (۷۰ تا ۷۵ درصد) و الیوین (۲۰ تا ۲۵ درصد) و پیروکسن (حدود ۵ درصد). در مقاطع این سنگ‌ها بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار، مشخص و دارای ماکل چندریختی واضح در بین سایر بلورها قابل تشخیص هستند. پیروکسن‌ها دارای ماکل دوقلویی هستند. برخی بلورهای الیوین در ارتوپیروکسن‌ها به دام افتاده‌اند. کانی‌های ثانویه تروکتولیت شامل ترمولیت، اکتینولیت، سرپانتین و کانی‌های تیره‌ای مانند هماتیت است. در قسمت‌هایی که دگرسانی شدیدتر بوده است، ارتوپیروکسن‌ها به باستیت تبدیل شده‌اند. در برخی مقاطع، بلورهای الیوین از درون به سرپانتین تبدیل شده‌اند. پیروکسن‌ها نیز تا حدودی دگرسان شده‌اند که با توجه به اجزاء قابل تشخیص باقی‌مانده، می‌توان آنها را کلینوپیروکسن به حساب آورد. پلاژیوکلازها نیز تا حدی سوسوریتی شده‌اند. به‌طور کلی پدیده کلریتی و سرپانتینی شدن به‌وضوح دیده می‌شود که ناشی از دگرسانی رخ داده در منطقه است.

شیمی کانی کلینوپیروکسن شیمی کانی کلینوپیروکسن گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه (جدول ۱) با مقدار SiO_2 بین ۵۱٫۸۴ تا ۵۳٫۴۱ درصد وزنی، MgO در گستره ۱۵٫۶۵ تا ۱۷٫۳۵ درصد وزنی و غنی از کلسیم ($\text{Wo}_{(۴۳/۸۱-۴۸/۵)}$) و CaO بین ۲۰٫۷۶ تا ۲۳٫۴۹ درصد وزنی) و مقدار اندک Na_2O (کمتر از ۰٫۵۴ درصد وزنی) و Cr (Cr_2O_3) بین ۰٫۱۷ تا ۰٫۹۸ درصد وزنی) مشخص می‌شود. گابروهای مورد بررسی دارای مقدار نسبتاً بالای $\text{Mg}^\#$ ($\text{Mg}/[\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}]$)؛ در گستره ۸۵٫۶۲ تا ۸۹٫۳۵ و اندک Ti (TiO_2)؛ بین ۰٫۲۸ تا ۰٫۵۶ درصد وزنی) هستند. گستره ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها تغییرات نسبتاً کم ($\text{En}_{(۴۵/۷۹-۵۰/۹۱)}$ ، $\text{Fs}_{(۳/۶۴-۷/۴۱)}$ و $\text{Wo}_{(۴۳/۸۱-۴۸/۵)}$) و ترکیب اوژیت تا دیوپسید را بر نمودار $\text{En}-\text{Wo}-\text{Fs}$ (شکل ۳ الف [۱۲]) نشان می‌دهند. فرمول ساختاری میانگین بر مبنای ۶ اتم اکسیژن و ۴ کاتیون برای کلینوپیروکسن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی شباهت‌های بسیاری را با کلینوپیروکسن‌های مربوط به جزایر قوسی نشان می‌دهند.

ارتوپیروکسن ارتوپیروکسن‌های گابروهای همسانگرد دارای مقادیر بالای $\text{Mg}^\#$ ($\text{Mg}/[\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}]$)؛ در گستره ۵۴٫۰-۵۵٫۷۰ SiO_2 درصد وزنی) هستند اما تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مقدار Al_2O_3 (Al_2O_3 ۱٫۱۲-۲٫۷۷ درصد وزنی)، Cr_2O_3 (۰٫۱۱-۰٫۱۷ درصد وزنی) و CaO (۱٫۷۴-۰٫۷۴ درصد وزنی) نشان می‌دهند. مقادیر TiO_2 (TiO_2 ۰٫۱۹-۰٫۴۳ درصد وزنی)، MnO (۰٫۰-۰٫۴۱ درصد وزنی) و دیگر مقادیر نیز تغییرات چشمگیری دارند. بیشتر ارتوپیروکسن‌ها ترکیب انستاتیتی دارند (شکل ۳ ب) و مؤلفه‌های ترکیبی آنها در گستره‌های ($\text{En}_{(۷۸/۲۷-۸۴/۹۴)}$)، ($\text{En}_{(۷۸/۲۷-۸۴/۹۴)}$)، ($\text{Fs}_{(۱/۴۳-۲/۳۶)}$) و Wo تغییر می‌نمایند.

پلاژیوکلاز شیمی کانی پلاژیوکلاز با تجزیه ۸ نمونه از گابروها بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند مقدار متوسط SiO_2 (۴۵٫۱۸۲ تا ۵۰٫۳۶۸ درصد وزنی)، مقادیر بالای Al_2O_3 (۲۳٫۹۴۰ تا ۳۳٫۷۹۴ درصد وزنی) و CaO (۱۳٫۶۷۵ تا ۲۱٫۸۹۲)، مقادیر متفاوت Na_2O (۳٫۳۷۹-۱٫۲۵۸) و کم K_2O (۰٫۱۱۲-۰٫۰۰۰) است. نسبت $\text{Ca}/[\text{Ca} + \text{Ca}^\#]$ (Na + K) در گستره ۰٫۷۰۵ تا ۰٫۹۰۲ تغییر می‌کند. پلاژیوکلازها فاقد منطقه‌بندی شیمیایی و بیشتر از نوع بیتونیتی هستند، (شکل ۳ پ، [۱۳]) و ترکیب آنها از آنورتیت غنی است ($\text{An}_{(۷۰/۵۱-۹۰/۱۵۱)}$)، ($\text{Ab}_{(۲۹/۰۲-۹/۶۱۸)}$) و $\text{Or}_{(۰/۱۰۰-۱/۶۳۰)}$. فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر مبنای ۸ اتم اکسیژن برای پلاژیوکلازها در جدول ۲ آمده است. **الیوین** الیوین‌های گابروهای همسانگرد به‌واسطه مقادیر اندک SiO_2 (۳۹٫۴۷ تا ۴۰٫۴۷ درصد وزنی)، Cr_2O_3 (۰٫۱۰ تا ۰٫۱۰۱ درصد وزنی)، NiO (۰٫۱۲ تا ۰٫۲۳ درصد وزنی) و CaO (۰٫۰۲ تا ۰٫۰۴ درصد وزنی) و مقدار بالای MgO (۴۱٫۹۸ تا ۴۵٫۳۷)

درصد، الیوین (۵ تا ۱۰ درصد) و آمفیبول (۱ تا ۲ درصد) است. **گابرونوریت‌ها:** دارای بافت دانه‌ای، پوئی‌کلیتیک هستند و ترکیب کانی‌شناسی آنها شامل پلاژیوکلاز (۵۰ تا ۵۵ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۵ تا ۳۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۱۰ تا ۱۵ درصد)، آمفیبول (۴ تا ۵ درصد) و اکسیدهای آهن - تیتانیم است. **الیوین گابرونوریت‌ها:** بافت دانه‌ای، پوئی‌کلیتیک نشان می‌دهند؛ ترکیب کانی‌شناسی آنها پلاژیوکلاز (۴۵ تا ۵۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۳۰ تا ۳۵ درصد)، الیوین (۱۰ تا ۱۵ درصد)، ارتوپیروکسن (۷ تا ۸ درصد) و اکسیدهای آهن - تیتانیم کانی‌های رسی، سرپانتین، کلریت و اپیدوت، کانی‌های ثانویه الیوین گابروها، گابرونوریت‌ها و الیوین گابرونوریت‌ها هستند.

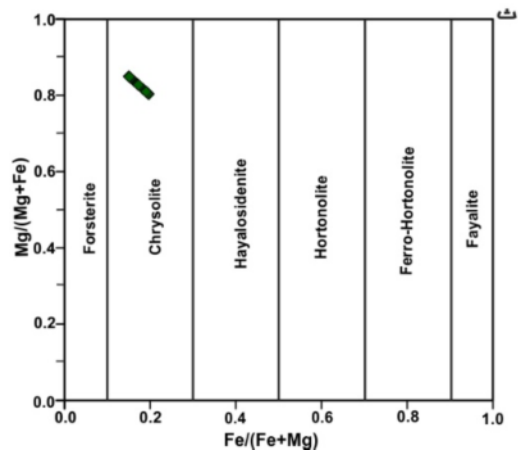
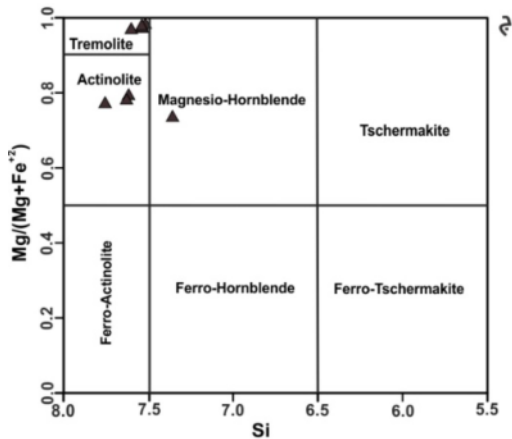
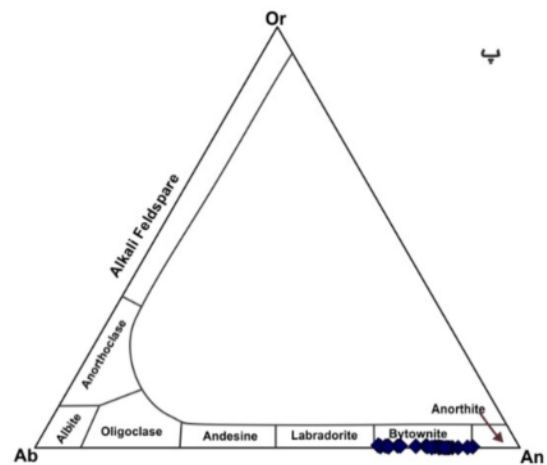
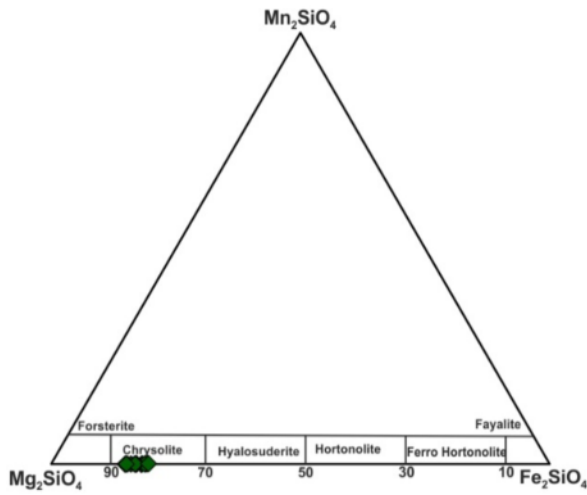
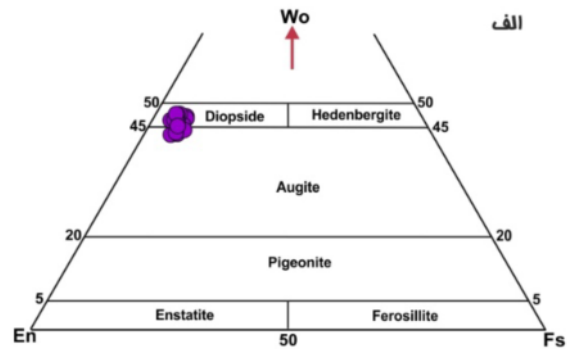
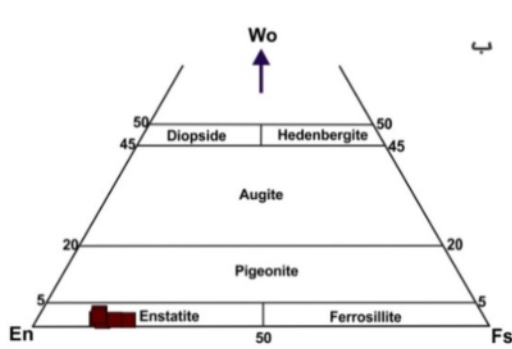
تروکتولیت‌ها: دارای بافت دانه‌ای و پوئی‌کلیتیک هستند. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده آنها عبارتند از: پلاژیوکلاز (۷۰ تا ۷۵ درصد) و الیوین (۲۰ تا ۲۵ درصد) و پیروکسن (حدود ۵ درصد). در مقاطع این سنگ‌ها بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار، مشخص و دارای ماکل چندریختی واضح در بین سایر بلورها قابل تشخیص هستند. پیروکسن‌ها دارای ماکل دوقلویی هستند. برخی بلورهای الیوین در ارتوپیروکسن‌ها به دام افتاده‌اند. کانی‌های ثانویه تروکتولیت شامل ترمولیت، اکتینولیت، سرپانتین و کانی‌های تیره‌ای مانند هماتیت است. در قسمت‌هایی که دگرسانی شدیدتر بوده است، ارتوپیروکسن‌ها به باستیت تبدیل شده‌اند. در برخی مقاطع، بلورهای الیوین از درون به سرپانتین تبدیل شده‌اند. پیروکسن‌ها نیز تا حدودی دگرسان شده‌اند که با توجه به اجزاء قابل تشخیص باقی‌مانده، می‌توان آنها را کلینوپیروکسن به حساب آورد. پلاژیوکلازها نیز تا حدی سوسوریتی شده‌اند. به‌طور کلی پدیده کلریتی و سرپانتینی شدن به‌وضوح دیده می‌شود که ناشی از دگرسانی رخ داده در منطقه است.

شیمی کانی

کلینوپیروکسن شیمی کانی کلینوپیروکسن گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه (جدول ۱) با مقدار SiO_2 بین ۵۱٫۸۴ تا ۵۳٫۴۱ درصد وزنی، MgO در گستره ۱۵٫۶۵ تا ۱۷٫۳۵ درصد وزنی و غنی از کلسیم ($\text{Wo}_{(۴۳/۸۱-۴۸/۵)}$) و CaO بین ۲۰٫۷۶ تا ۲۳٫۴۹ درصد وزنی) و مقدار اندک Na_2O (کمتر از ۰٫۵۴ درصد وزنی) و Cr (Cr_2O_3) بین ۰٫۱۷ تا ۰٫۹۸ درصد وزنی) مشخص می‌شود. گابروهای مورد بررسی دارای مقدار نسبتاً بالای $\text{Mg}^\#$ ($\text{Mg}/[\text{Mg} + \text{Fe}^{2+}]$)؛ در گستره ۸۵٫۶۲ تا ۸۹٫۳۵ و اندک Ti (TiO_2)؛ بین ۰٫۲۸ تا ۰٫۵۶ درصد وزنی) هستند. گستره ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها تغییرات نسبتاً کم ($\text{En}_{(۴۵/۷۹-۵۰/۹۱)}$ ، $\text{Fs}_{(۳/۶۴-۷/۴۱)}$ و $\text{Wo}_{(۴۳/۸۱-۴۸/۵)}$) و ترکیب اوژیت تا دیوپسید را بر نمودار $\text{En}-\text{Wo}-\text{Fs}$ (شکل ۳ الف [۱۲]) نشان می‌دهند. فرمول ساختاری میانگین بر مبنای ۶ اتم اکسیژن و ۴ کاتیون برای کلینوپیروکسن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی شباهت‌های بسیاری را با کلینوپیروکسن‌های مربوط به جزایر قوسی نشان می‌دهند.

ث). مؤلفه فورستریتی الیوین‌ها در گستره (۸۴/۸۲-۸۰/۰۷) تغییر می‌کند. فرمول ساختاری میانگین محاسبه شده بر مبنای ۴ اتم اکسیژن برای الیوین‌ها در جدول ۳ آورده شده است.

مشخص می‌شوند. الیوین‌ها بیشتر ترکیب فورستریتی دارند (شکل ۳ ت) و در نمودار $Mg/(Mg+Fe)$ نسبت به $Fe/(Fe+Mg)$ [۱۳] در گستره کریزولیت قرار دارند (شکل ۳

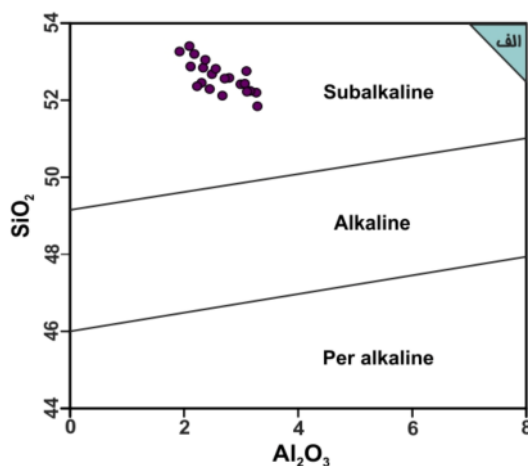
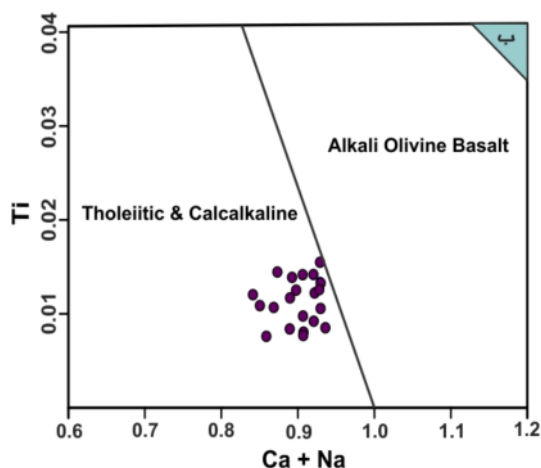


شکل ۳ نمودارهای رده‌بندی؛ الف) نمودار En-Wo-Fs برای کلینوپیروکسین‌ها [۱۲]، ب) نمودار En-Wo-Fs برای ارتوپیروکسین‌ها [۱۲]، پ) نمودار نامگذاری پلاژیوکلازها [۱۳]، ت) نمودار مثلثی Fa-Fo-Tp برای الیوین، ث) نمودار $Mg/(Mg+Fe)$ نسبت به $Fe/(Fe+Mg)$ برای الیوین [۱۳] و ج) نمودار $Mg^{#}$ نسبت به Si برای رده‌بندی آمفیبول‌ها [۱۴] برای گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه.

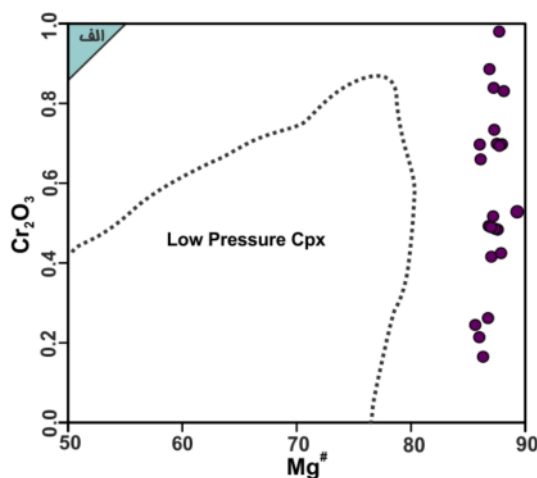
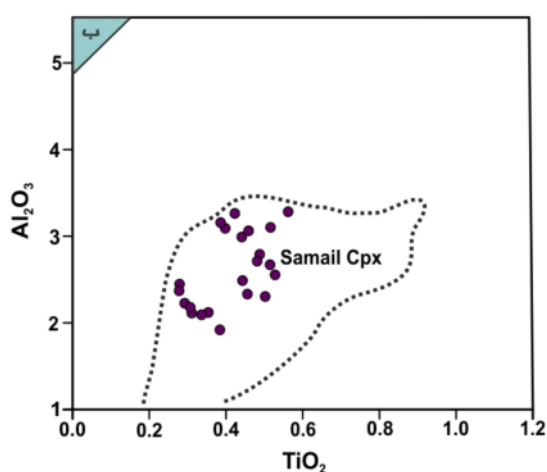
بحث

نتایج به دست آمده از شیمی کانی کلینوپیروکسن گابروهای همسانگرد بر نمودارهای SiO_2 نسبت به Al_2O_3 (شکل ۴ الف، [۱۵]) و Ti نسبت به $\text{Ca}+\text{Na}$ (شکل ۴ ب، [۱۶]) نشان دهنده ماهیت تولییتی خاستگاه ماگمایی است. کلینوپیروکسن-های مورد بررسی دارای مقادیر نسبتاً کم Al_2O_3 (۱٫۹۲ تا ۳٫۲۸ درصد وزنی) هستند. نمودارهای Cr_2O_3 نسبت به $\text{Mg}^\#$ (شکل ۵ الف) و Al_2O_3 نسبت به TiO_2 (شکل ۵ ب) نشان می‌دهند که این پیروکسن‌ها در شرایط فشار متوسط متبلور گشته‌اند [۱۷]؛ زیرا پیروکسن‌هایی که در شرایط فشار بالا متبلور می‌شوند، دارای مقادیر بالای TiO_2 ، Cr_2O_3 و نیز Al_2O_3 هستند.

آمفیبول نتایج تجزیه آمفیبول‌ها نشان از مقدار نسبتاً بالای SiO_2 (۵۵٫۲۱-۵۱٫۷۶ درصد وزنی)، CaO (۱۲٫۳۸-۱۱٫۶۵ درصد وزنی) و مقدار کم Cr_2O_3 (۰٫۳۶-۰٫۱۰ درصد وزنی)، Na_2O (۰٫۲۷-۰٫۹۴) و K_2O (۰٫۱۱-۰٫۰۳ درصد وزنی) و TiO_2 (۰٫۲۵-۰٫۰۶ درصد وزنی) دارد. آمفیبول‌های مورد بررسی از منیزیم غنی بوده و $\text{Mg}^\#$ در گستره ۶۴٫۳۴ تا ۸۴٫۸۶، $\text{Mg}^\#[\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}]$ آنها در گستره ۰٫۷۳ تا ۰٫۹۸ و $\text{Ca}^\#[\text{Ca}+\text{Na}+\text{K}]$ در گستره ۰٫۸۷ تا ۰٫۹۶ متغیر است. نمونه‌های آمفیبول افیولیت کرمانشاه در نمودار Si نسبت به $\text{Mg}^\#[\text{Mg}+\text{Fe}^{+2}]$ [۱۴] بیشتر در گستره ترمولیت، اکتینولیت و اکتینو هورنبلند واقع‌اند (شکل ۳ ج).



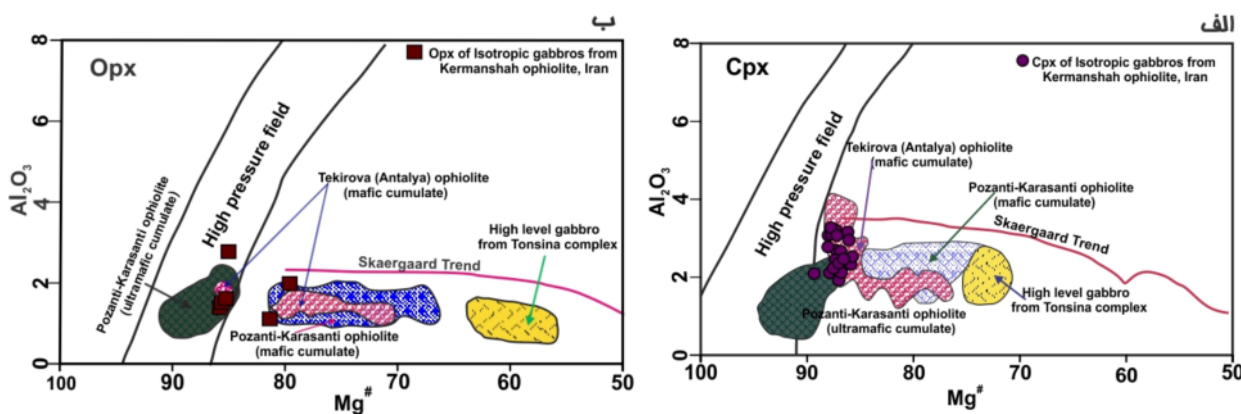
شکل ۴ الف) نمودار SiO_2 نسبت به Al_2O_3 [۱۵] و ب) نمودار Ti نسبت به $\text{Ca}+\text{Na}$ [۱۶].



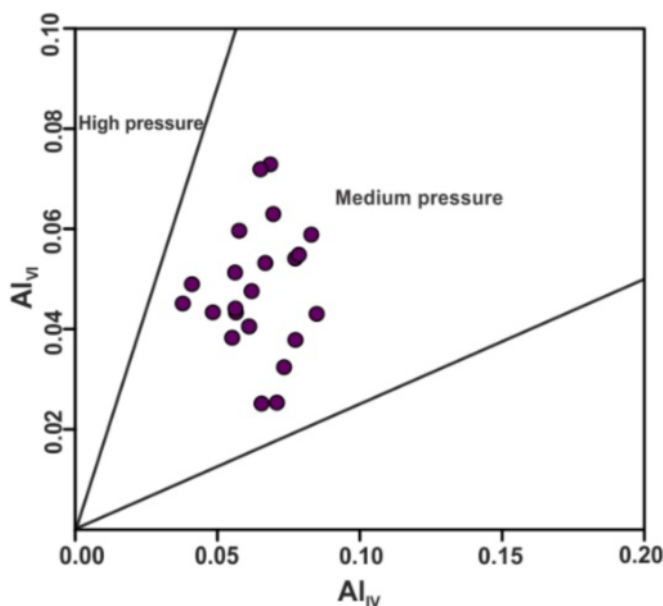
شکل ۵ الف) نمودار Cr_2O_3 نسبت به $\text{Mg}^\#$ ، گستره کلینوپیروکسن کم فشار نتیجه بررسی‌های تجربی N-MORB در فشار ۱ اتمسفر است [۱۸] و ب) نمودار Al_2O_3 نسبت به TiO_2 [۱۷]، گستره افیولیت سمایل برگرفته از مرجع [۸] است.

زمین‌ساختی، نمودار Na نسبت به Fe^{+2} (شکل‌های ۸ الف و ب، [۲۱])، گستره جزایر قوسی را نشان می‌دهند و در نمودارهای Al_{IV} نسبت به Ti (شکل ۸ پ) و Al_I نسبت به Ti (شکل ۸ ت، [۲۲])، نیز مشخصه‌های تولیت‌های جزایر قوسی را به نمایش می‌گذارند. کِلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار Ti+Cr نسبت به Ca (شکل ۹ الف، [۱۶]) و نمودار Ti نسبت به Al (شکل ۹ ب، [۱۶]) در گستره تولیت جزیره قوسی واقع می‌شوند.

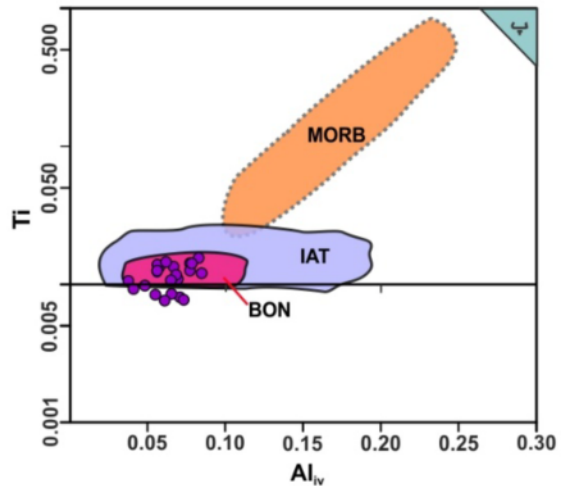
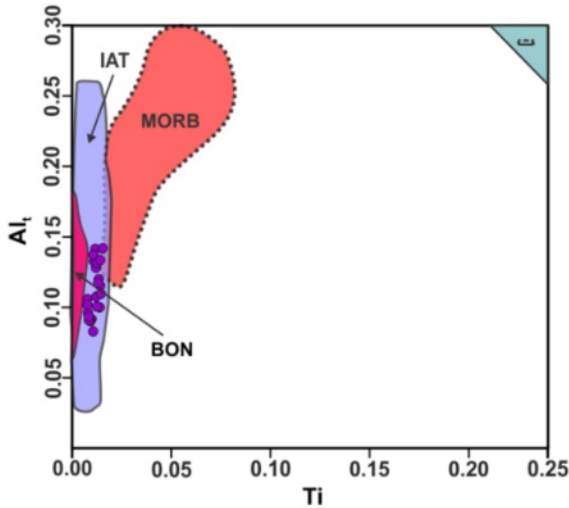
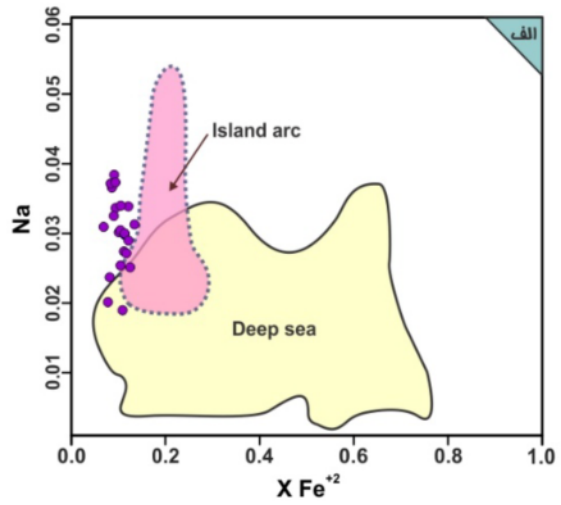
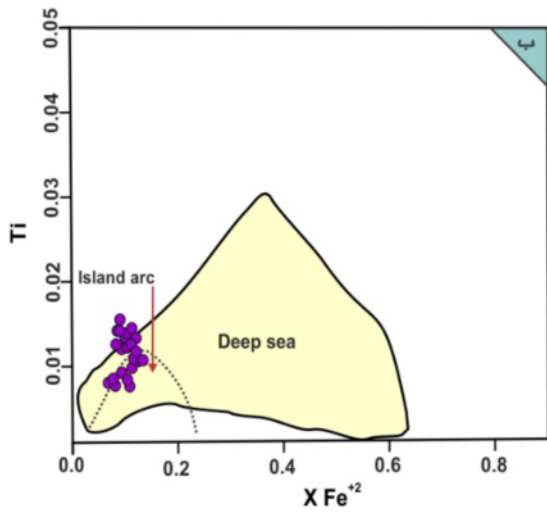
کِلینوپیروکسن‌هایی که از یک ماگمای بازی در فشار پایین متبلور می‌شوند، $Mg^{\#}$ کمتر از ۸۴ دارند [۱۹]. کِلینوپیروکسن‌ها و ارتوپیروکسن‌های گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه در نمودار Al_2O_3 نسبت به $Mg^{\#}$ در گستره فشار متوسط واقع می‌شوند (شکل ۶). در نمودار توزیع آلومینیم هشت‌وجهی و چهاروجهی [۲۰] نیز گابروهای افیولیت کرمانشاه در گستره فشار متوسط رسم می‌شوند (شکل ۷). داده‌های مربوط به شیمی کانی کِلینوپیروکسن گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه بر نمودارهای تفکیک محیط



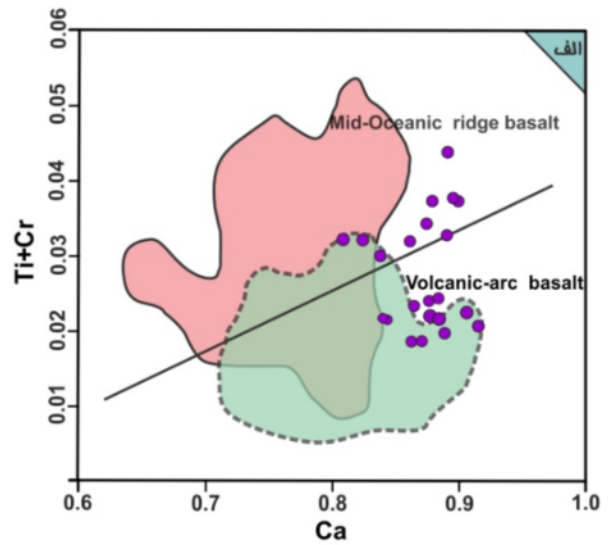
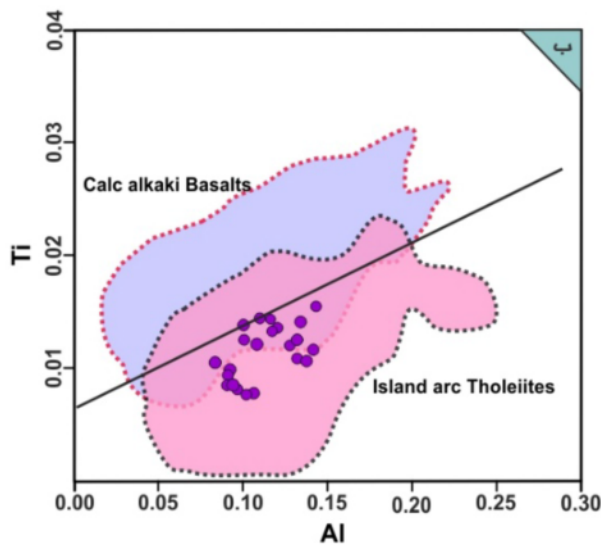
شکل ۶ نمودار Al_2O_3 نسبت به $Mg^{\#}$ در الف) کِلینوپیروکسن‌ها و ب) ارتوپیروکسن‌های گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه. (گستره فشار بالا از مرجع [۲۳]؛ گستره‌های افیولیت پوزانتی و کارزانتی از [۷، ۱۹]؛ گستره‌های افیولیت تکیروا (Antalya، Tekirova) از مرجع [۲۴]. و داده‌های همبافت تونزینا (Tonsina) از مرجع [۲۵].



شکل ۷ نمودار Al_{VI} نسبت به Al_{IV} [۲۰] برای تعیین فشار کلی تبلور کِلینوپیروکسن‌های گابروهای افیولیت کرمانشاه.



شکل ۸ نمودارهای تعیین کننده محیط زمین‌ساختی؛ (الف) Na نسبت به $X Fe^{+2}$ [۲۱]، (ب) Ti نسبت به $X Fe^{+2}$ [۲۱]، (پ) Al_{iv} نسبت به Ti [۲۲] و (ت) نمودار Al_t نسبت به Ti [۲۲].



شکل ۹ نمودار $Ti+Cr$ نسبت به Ca [۱۶] و (ب) نمودار Ti نسبت به Al [۱۶] برای کلیت‌پورکسن‌های گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه.

جزیره قوسی هستند. مؤلفه آنورتیتی پلاژیوکلازهای موجود در گابروهای همسانگرد مورد بررسی بالاست (An) (۹۰/۱۵۱-۷۰/۵۱)؛ وجود پلاژیوکلاز کلسیمی در گابروها ممکن است خاستگاه جزیره قوسی آنها را به ذهن آورد سنگ‌های گابرویی محیط قوس به سبب مقدار بالای کلسیک موجود در پلاژیوکلازهای آنها از گابروهای اقیانوسی متمایز هستند [۶، ۳۹، ۴۰]. بعبارتی پلاژیوکلازهای موجود در گابروهای با خاستگاه جزیره قوسی دارای مقدار مؤلفه آنورتیتی بالاتری نسبت به انواع تشکیل شده در محیط پشته میان اقیانوسی هستند.

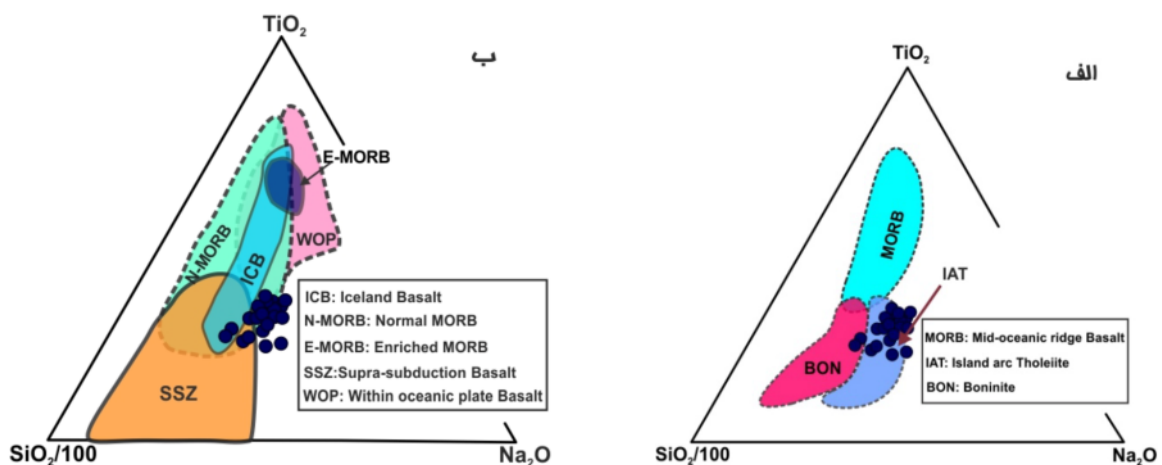
تغییرات مقدار آنورتیت پلاژیوکلاز نسبت به انستاتیت پیروکسن برای سنگ‌های گابرویی همراه با جایگاه جزیره قوسی و همچنین برای بسیاری از افیولیت‌های مدیترانه‌ای شامل ترودوس [۴۱]، پوزانتی - کارزانتی [۷]، قزل داغ [۲۴] و کومورهان (Kömürhan) [۴۲] در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در نمودار An, -En، گابروهای مورد بررسی شباهت‌های بسیاری با سنگ‌های مربوط به محیط فرورانش نشان می‌دهند. تغییرات مقدار آنورتیت پلاژیوکلازها نسبت به $Mg^{\#}$ کلینوپیروکسن‌ها، گابروهای تشکیل شده در پشته میان اقیانوسی (MOR) و محیط جزایر قوسی را از هم تفکیک می‌کند. کلینوپیروکسن‌های سازنده سنگ‌های گابرویی افیولیت کرمانشاه بر نمودار $Mg^{\#}$ -An، مشخصه‌های انتقالی بین گابروهای پشته میان اقیانوسی و محیط مربوط به قوس را نشان می‌دهند (شکل ۱۲)، بنابراین ممکن است در محیط پشت قوس یا پهنه ابرفرورانشی تشکیل شده باشند.

کلینوپیروکسن‌های گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه بر نمودار تعیین محیط زمین‌ساختی $SiO_2/100-TiO_2-Na_2O$ (شکل ۱۰ الف، [۲۲])، مشخصه‌های تولیت‌های جزایر قوسی را به نمایش می‌گذارند و در محیط پهنه ابرفرورانشی زون تشکیل شده‌اند (شکل ۱۰ ب، [۲۲، ۲۶، ۲۷]).

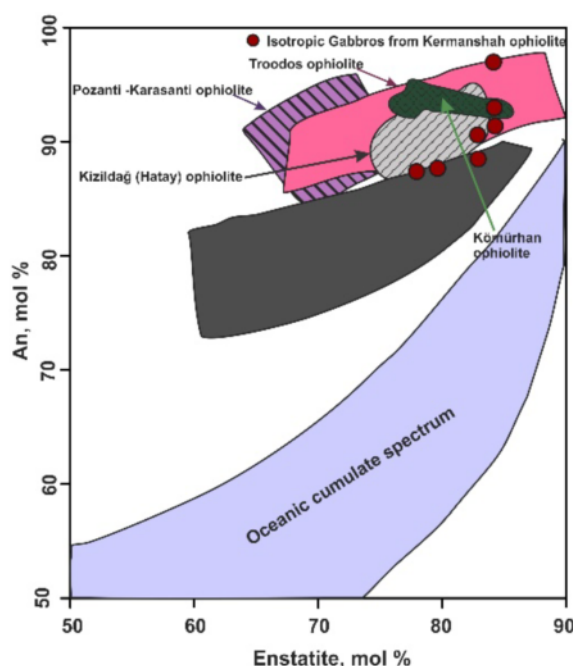
به طور کلی، نتایج برآمده از بررسی‌های انجام شده بر کلینوپیروکسن‌های موجود در گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه مشخصه‌های جزایر قوسی را نشان می‌دهند و می‌توان با توجه به شواهد مستدل، خاستگاه پهنه ابرفرورانشی را برای افیولیت کرمانشاه در زمین‌درز زاگرس در نظر گرفت. این نتایج و تفسیرهای انجام شده با نتایج پژوهش‌های پیشین از جمله ماهیت تولیت جزیره قوسی دایک‌های منفرد [۲۸]، وجود پریدوتیت‌های گوشته‌ای، گابروها و سنگ‌های آتشفشانی با ویژگی تولیت جزیره قوسی و نیز بازالت‌های قلیایی درون صفحه‌ای [۲۹]، گابروهای بازالت پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) و هارزبورژیت‌های ابرفرورانشی [۳۰]، خاستگاه پهنه ابرفرورانشی برای دایک‌های ورقه‌ای [۳۱] همخوانی دارد.

افیولیت‌های تشکیل شده در جایگاه پهنه ابرفرورانشی به سه محیط مختلف تعلق دارند: جزایر قوسی، حوضه‌های پشت قوس و پیش قوس. در محیط پهنه ابرفرورانشی، ماگماهای تولیت جزایر قوسی (IAT) و نیز بونینیتی ممکن است دیده شوند [۲۴، ۳۲-۳۸].

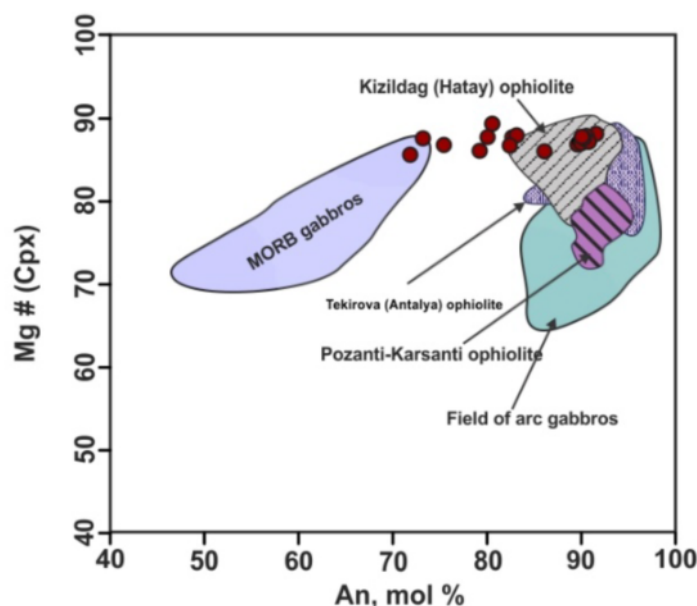
نسبت FeO_t/MgO (کمتر از ۰.۵) و K_2O/Na_2O (کمتر ۰.۱) آمفیبول‌های مورد بررسی مشابه آمفیبول‌های محیط



شکل ۱۰ (الف و ب) نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی $SiO_2/100-TiO_2-Na_2O$ [۲۲].



شکل ۱۱ نمودار An-En برای کلینوپیروکسن‌های گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه. گستره افیولیت ترودوس [۴۱]؛ پوزانتی - کارزانتی [۷]، قزل داغ [۲۴] و کومورهان [۴۲] نیز برای مقایسه نشان داده شده است.



شکل ۱۲ مقدار آنورتیت پلاژیوکلازها نسبت به $Mg^{\#}$ کلینوپیروکسن‌های تشکیل دهنده گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه. گستره‌های MORB و گابروهای مربوط به قوس [۳۹]؛ گستره افیولیت پوزانتی - کارزانتی [۷]؛ قزل داغ و تکیروا [۲۴].

چنان که از بررسی‌های تجربی نیز مشخص شده است فشار بالای بخار آب در یک سیستم آل بیت - آنورتیت - آب، سبب تبلور پلاژیوکلازهای غنی از آنورتیت می‌شود [۴۳]. علاوه بر این گفته می‌شود که مذاب‌های بازالتی آبدار در مقایسه با

شرایط فشار بالای آب در ماگما را می‌توان با توجه به وجود پیروکسن غنی از کلسیم به جای الیون نتیجه گرفت [۴۳]، زیرا پیروکسن‌های دارای مقادیر کم کلسیم از مذاب‌های بازالتی و آندزیت بازالتی آبدار متبلور نمی‌شوند [۴۴، ۴۵]. پلاژیوکلازهای غنی از کلسیم این موضوع را تأیید می‌کنند،

پلاژیوکلازهای کلسیک ($An_{(70/51-90/15)}$) در گابروها نشان از تشکیل آنها در محیط زمین‌ساختی مربوط به فرورانش دارد.

• وجود کانی آمفیبول در گابروها نشان دهنده شرایط آبدار بودن محیط در زمان جدایش ماگمایی آنهاست و خاستگاه مربوط به فرورانش را برای آنها تأیید می‌کند.

شیمی کانی کلینوپیروکسن گابروهای همسانگرد نشان می‌دهد که ماگمای سازنده آنها وابسته به تولیت‌های جزایر قوسی است که شاخص افیولیت‌های تشکیل شده در محیط پهنه ابرفرورانشی است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از پروفسور فیلیکس پتروویچ لسنوف (پژوهشگر ارشد آزمایشگاه زمین‌دینامیک و فعالیت ماگمایی مؤسسه زمین‌شناسی و کانی‌شناسی سوپولف شاخه سیبری، عضو فرهنگستان علوم طبیعی روسیه، متخصص در زمینه فعالیت ماگمایی مافیک - فرامافیک نواحی چین خورده) برای انجام تجزیه‌های ریزپردازش الکترونی قدردانی می‌کنند.

مراجع

- [1] Shafaii Moghadam H., Stern, R. J., "Late Cretaceous fore arc ophiolites of Iran", *Island Arc* 20 (2011) 1-4.
- [2] Shahidi M., Nazari, H., "Geological map of Harsin, 1/100.000 scale", Geological survey of Iran, Tehran, 1997.
- [3] Bağcı U., "The geochemistry and petrology of the ophiolitic rocks from the Kahramanmaraş region, southern Turkey", *Turkish Journal. Earth Science* 22 (2013) 1-27.
- [4] Arvin M., Babaei A., Ghadmi G., Dargahi S., Ardekani A.S., "The origin of the Kahnuj ophiolitic complex, SE of Iran: Constraints from whole rock and mineral chemistry of the Bande-Zeyarat gabbroic complex", *Ophioliti* 30 (2005) 1-14.
- [5] Boudier F., Godard M., Armbruster C., "Significance of gabbroite occurrence in the crustal section of the Semail ophiolite", *Marine Geophysical Research* 21 (2000) 307-326.
- [6] Parlak O., Delaloye M., Bingöl E., "Mineral chemistry of ultramafic and mafic cumulates as an indicator of the arc-related origin of the Mersin ophiolite (southern Turkey)", *Geologische Rundschau* 85 (1996) 647-661.
- [7] Parlak O., Höck V., Delaloye M., "Suprasubduction zone origin of the Pozanti-Karsanti ophiolite (southern Turkey) deduced from

مذاب‌های بی‌آب، پلاژیوکلازهای آنورتیتی بیشتری را متبلور می‌کنند [۴۶].

در مجموع نتایج زمین‌شیمیایی سنگ کل دایک‌ها [۳۱]، زمین‌شیمی گابروهای همسانگرد، سنگ‌های آتشفشانی و نیز داده‌های مربوط به شیمی کانی گابروهای همسانگرد شواهد مستدلی در تأیید خاستگاه پشت قوس برای مجموعه افیولیتی کرمانشاه و نسبت دادن آن به محیط پهنه ابرفرورانشی فراهم می‌آورد.

برداشت

• افیولیت کرمانشاه دارای هر دو نوع گابرو (گابروهای لایه‌ای و همسانگرد) است. گابروهای همسانگرد افیولیت کرمانشاه شامل طیفی از گابرو، الیوین‌گابرو، گابرونوریت، الیوین‌گابرو نوریت و تروکتولیت هستند.

• گابروهای همسانگرد بیشتر بافت دانه‌ای، پوئی‌کیلیتیک نشان می‌دهند، ترکیب کانی‌شناسی آنها عبارت است از پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن، الیوین و آمفیبول. کروم‌اسپینل و زونیزیت کانی‌های فرعی و کانی‌های رسی، کلریت و مگنتیت کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند.

• شیمی کانی گابروهای همسانگرد نشان می‌دهد که کلینوپیروکسن‌ها با ترکیب اوژیت - دیوپسیدی و گستره ترکیبی ($En_{(45/79-50/91)}$ ، $Fs_{(2/46-7/41)}$ و $Wo_{(43/81-48/5)}$)، غنی از کلسیم و فقیر از سدیم (Na_2O کمتر از ۰/۵۴ درصد وزنی) با مقدار نسبتاً بالای $Mg^{\#}$ (۸۵/۶۲ تا ۸۹/۳۵) و اندکی Ti (TiO_2 کمتر از ۰/۲۸ درصد وزنی) مشخص می‌شود و شباهت‌های بسیاری را با کلینوپیروکسن‌های مربوط به جزایر قوسی نشان می‌دهند.

• پلاژیوکلازها از آنورتیت غنی بوده و بیشتر از نوع بیتونیتی هستند ($An_{(70/51-90/15)}$)، $Ab_{(9/62-29/02)}$ و $Or_{(0/1-1/63)}$.

• الیوین‌ها بیشتر ترکیب فورستریتی دارند و مؤلفه فورستریتی آنها در گستره ۸۴/۸۱۸-۸۰/۰۶۵ تغییر می‌کند.

• ارتوپیروکسن‌ها ترکیب انستاتیتی دارند و گستره ترکیبی آنها: $En_{(78/271-84/94)}$ ، $Fs_{(13/1-20/07)}$ و $Wo_{(1/43-3/36)}$ است.

• آمفیبول‌ها از منیزیم غنی هستند و $Mg^{\#}$ آنها در گستره ۶۴/۳۴ تا ۸۴/۸۶ تغییر می‌کند.

• وجود الیوین‌های با منیزیم بالا ($Fo_{(80/107-84/82)}$) و پیروکسن‌های غنی از منیزیم ($Mg^{\#}$ از ۸۵/۶۲ تا ۸۹/۳۵) و نیز

- [18] Elthon D., "Petrology of gabbroic rocks from the Mid - Cayman Rise spreading center", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 92 (1987) 658-682.
- [19] Parlak O., Hoeck V., Delaloye M., "The suprasubduction zone Pozanti-Karsanti ophiolite, southern Turkey: evidence for high-pressure crystal fractionation of ultramafic cumulates", *Lithos* 65 (2002) 205-224.
- [20] Wass, S. Y., "Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks", *Lithos* 12 (1979) 115-132.
- [21] Asthana D., "Relict clinopyroxenes from within-plate metadolerites of the Petroi Metabasalt, the New England fold belt, Australia", *Mineralogy Magazine* 55 (1991) 549-651.
- [22] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G.B.O., "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator", *Chemical Geology* 77 (1989) 165-182.
- [23] Medaris L.G., "High-pressure peridotites in south-western Oregon", *Geological Society of America Bulletin*. 83(1972) 41-58.
- [24] Bağcı U., Parlak O., Höck V., "Geochemical character and tectonic environment of ultramafic to mafic cumulate rocks from the Tekirova (Antalya) ophiolite (southern Turkey)", *Geological Journal* 41 (2006) 193-219.
- [25] DeBari S.M., Coleman R., "Examination of the deep levels of an island arc: Evidence from the Tonsina Ultramafic - Mafic Assemblage, Tonsina, Alaska", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 94(1989) 4373-4391.
- [26] Saccani E., Allahyari Kh., Beccaluva L., Bianchini G., "Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): Implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and OIB-type components in the Southern Neo-Tethys Ocean", *Gondwana Research* 24 (2013) 392-411.
- [27] Saccani E., Azimzadeh Z., Dilek Y., Jahangiri A., "Geochronology and petrology of the Early Carboniferous Misho Mafic Complex (NW Iran), and implications for the melt evolution of Paleo-Tethyan rifting in Western Cimmeria", *Lithos* 162 (2013) 264-278.
- [28] Desmons, J., Beccaluva, L., "Mid-ocean ridge and island-arc affinities in ophiolites from Iran: palaeographic implications: complementary reference", *Chemical Geology* 39(1-2) (1983):39-63.
- whole-rock and mineral chemistry of the gabbroic cumulates", *Geological Society, London, Special Publications* 173 (2000) 219-234.
- [8] Pallister J.S., Hopson C.A., "Samail ophiolite plutonic suite: field relations, phase variation, cryptic variation and layering, and a model of a spreading ridge magma chamber", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* 86 (1981) 2593-2644.
- [9] Yellappa T., Tsungogae T., Chetty T.R.K., Santosh M., "Mineral chemistry of isotropic gabbros from the Manamedu Ophiolite Complex, Cauvery Suture Zone, southern India: Evidence for neoproterozoic suprasubduction zone tectonics", *Journal of Asian Earth Sciences* 130 (2016).
- [10] Amini S., Moradpour R., Zareii Sahamieh R., "Petrography, geochemistry and petrology of the South Sahneh Ophiolite Complex (NE Kermanshah)", *Journal of Crystallography and mineralogy of Iran* 13 (2) (2007) 225-246 (in Persian).
- [11] Kertz R., "Symbols for rock-forming minerals", *American Mineralogist*, 68 (1983) 277-279.
- [12] Morimoto N., Fabries J., Ferguson A.K., Ginzburg I.V., Ross M., Seifert F.A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of pyroxenes", *American Mineralogist* 73 (1988) 1123-1133.
- [13] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals" Longman London 696 (1992).
- [14] Leake E.B., Wooley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird, J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickhel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., "Nomenclature of Amphiboles", *European Journal of Mineralogy* 9 (1997) 623-651.
- [15] Le Bas M.J., "The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", *American Journal of Science* 260(1962) 267-288.
- [16] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marehal M., "Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series", *Earth and Planetary Science Letters* 59(1982) 139-154.
- [17] Green T.H. Ringwood A., "Genesis of the calc-alkaline igneous rock suite", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 18 (1968) 105-162.

- [38] Tanirli M., Rizaoglu T., "Whole-rock and mineral chemistry of mafic cumulates from the Low-Ti ophiolite in the southern part of Kahramanmaras, Turkey", Russian Geology and Geophysics 57 (2016) 1398-1418.
- [39] Burns L.E., "The Border Ranges ultramafic and mafic complex, south-central Alaska: cumulate fractionates of island-arc volcanics", Canadian Journal of Earth Sciences 22 (1985) 1020-1038.
- [40] Hebert R., Laurent R., "Mineral chemistry of ultramafic and mafic plutonic rocks of the Appalachian ophiolites, Quebec, Canada", Chemical Geology 77 (1989) 265-285.
- [41] Hebert, R., Laurent, R., "Mineral chemistry of the plutonic section of the Troodos ophiolite: New constraints for genesis of arc-related ophiolites, in: Malpas, J., Moores, E., Panayiotou, A., Xenophontos, C. (Eds.), Ophiolites—Oceanic Crustal Analogues", Proc. Troodos Ophiolite Symposium—1987. Cyprus (1990) 149–163.
- [42] Rizaoglu T., Parlak O., Hoeck V., Isler F., "Nature and significance of Late Cretaceous ophiolitic rocks and its relation to the Baskil granitoid in Elazig region, SE Turkey, in: Robertson, A.H.F., Mountrakis, D. (Eds.), Tectonic Development of the Eastern Mediterranean Region. Geological Society, London, Special Publication 260 (2006) 327–350.
- [43] Johannes W., "Melting of plagioclase in the system Ab-An- and Qz-Ab-An at $P_{H_2O}=5$ kbars, an equilibrium problem", Contributions to mineralogy and petrology 66 (1978) 295-303.
- [44] Kushiro I., "The system forsterite-diopside-silica with and without water at high pressures", American Journal Science 267 (1969) 269-294.
- [45] Sisson T.W., Grove T.L., "Experimental investigations of the role of H_2O in calc-alkaline differentiation and subduction zone magmatism", Contributions to mineralogy and petrology 113 (1993) 143-166.
- [46] Arculus R.J., Wills K.J., "The petrology of plutonic blocks and inclusions from the Lesser Antilles island arc", Journal of Petrology 21(1980) 743-799.
- [29] Ghazi A.M., Hassanipak A. A., "Geochemistry of subalkaline and alkaline extrusives from the Kermanshah ophiolite, Zagros Suture Zone, Western Iran: Implications for Tethyan plate tectonics", Asian Journal of Earth Sciences 17 (1999): 319-332.
- [30] Allahyari K., Saccani, E., Pourmoafi, M., Beccaluva L., Masoudi F., "Petrology of mantle peridotites and intrusive mafic rocks from the Kermanshah ophiolitic complex (Zagros belt, Iran): implications for the geodynamic evolution of the Neo-Tethyan oceanic branch between Arabia and Iran", Ofioliti 35(2010): 71–90.
- [31] Torkian A., Daraee zadeh Z., Aliani F., "Application of geochemical data for determining tectonic setting of diabasic dykes in the Kermanshah ophiolite; Sahneh-Harsin area", Journal of Crystallography and mineralogy of Iran 21(2) (2012) 331-342 (in Persian).
- [32] Bağcı U., Parlak O., Höck V., "Geochemistry and tectonic environment of diverse magma generations forming the crustal units of the Kızıldağ (Hatay) ophiolite, Southern Turkey", Turkish Journal of Earth Sciences 17 (2008) 43-71.
- [33] Bağcı U., Parlak O., "Petrology of the Tekirova (Antalya) ophiolite (Southern Turkey): evidence for diverse magma generations and their tectonic implications during Neotethyan-subduction", International Journal of Earth Sciences 98 (2009) 387-405.
- [34] Beccaluva L., Coltorti M., Giunta G., Siena F., "Tethyan vs Cordilleran ophiolites: a reappraisal of distinctive tectono-magmatic features of suprasubduction complexes in relation to the subduction mode", Tectonophysics 393 (2004) 163–174.
- [35] Beccaluva L., Coltorti M., Saccani E., Siena F., "Magma generation and crustal accretion as evidenced by supra - subduction ophiolites of the Albanide–Hellenide Subpelagonian zone", Island Arc 14 (2005) 551-563.
- [36] Saccani E., Photiades A., "Mid-ocean ridge and supra-subduction affinities in the Pindos ophiolites (Greece): implications for magma genesis in a forearc setting", Lithos 73 (2004) 229-253.
- [37] Saccani E., Photiades A., "Petrogenesis and tectonomagmatic significance of volcanic and subvolcanic rocks in the Albanide–Hellenide ophiolitic mélanges", Island Arc 14 (2005) 494-516.