

شیمی کانی ها و دمافاشارسنجی توده مافیک میشو، جنوب باختر مرند، آذربایجان شرقی

مهسا قربانی^{۱*} و محمدرضا حسین زاده^۲

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲ دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۷/۳۰

چکیده

توده مافیک- اولترامافیک میشو در جنوب باختر مرند در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این مجموعه سنگی در واحدهای قدیمی تر از جمله سازند کهر نفوذ کرده و به توسعه دگرگونی همبری در آنها انجامیده است. بخش مافیک میشو دارای طیف ترکیبی گابرونوریت، تروکتولیت و الیون گابرونوریت بوده و بخش اولترامافیک دارای ترکیب هارزبورژیت تا لرزولیت است. تجزیه میکروپروپ کانی های اصلی در نمونه های مافیک (گابروها) نشان می دهد که پلاژیوکلازها از نوع آنورتیتی تا بیتونیتی، الیون ها بیشتر از نوع کریزولیت، اورتوپروکسن ها دارای ترکیب انستاتیتی، کلینوپروکسن ها دارای ترکیب دیوپسید و آمفیبول ها در محدوده ای از چرمایت و هورنبلند چرمایتی قرار می گیرند. زمین دمافاشارسنجی با استفاده از روش های مختلف (دمافاشارسنجی بر پایه اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 کانی آمفیبول، پلاژیوکلاز- آمفیبول و $\text{OPX} - \text{CPX}$) دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد در فشار ۷ تا ۸ کیلو بار برای بخش های مافیک (گابروها) به دست داده است.

کلیدواژه ها: سنگ های مافیک - اولترامافیک، شیمی کانی، دمافاشارسنجی، میشو، مرند.

* نویسنده مسئول: مهسا قربانی

E-mail: gorbani.mahsa@yahoo.com

۱- پیش گفتار

سرخ، مارن های ژئیس دار، ماسه سنگ های دارای نمک و ژئیس) میوسن قرار گرفته است. این نهشته ها در بخش های شمالی تر توسط دسته ای از گنبد های آتشفشانی کوچک (تراکی- داسیت تا داسیت) بریده شده و با سنگ های آذر آواری (توف ها و آگلومراها) و گدازه های آندزیتی پلیوسن پوشیده شده اند. نبود چینه ای دونین و کربنفر و دگرشیمی زاویه دار بین نهشته های پیشرونده پرمین و لایه های پالئوزویک زیرین در کوه های میشو وجود دارد که به علت حرکات کوهزایی هر سینین بوده است (مؤید و مؤذن، ۱۳۸۱).

۳- روش مطالعه

۳۸ عدد مقطع نازک از سنگ های مافیک و اولترامافیک میشو مورد مطالعه سنگ نگاری قرار گرفت. برای بررسی های ژئوشیمیایی ۱۳ نمونه سالم و دگرسان نشده از سنگ های مافیک (گابرویی) منطقه، به روش اسپکترسکوپی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS)، توسط شرکت ACM کشور کانادا تجزیه شد (جدول ۱). همچنین به منظور مطالعه ترکیب شیمیایی کانی ها، ۲ نمونه سالم و غیردگرسان از نمونه های مافیک (گابرو) منطقه توسط دستگاه الکترون میکروپروپ آزمایشگاه Eugen F. Stumpf دانشگاه لوبن اتریش توسط یک سوپرپروپ مدل Jeol JXA 8200 مورد تجزیه قرار گرفت و تصاویر Back-scatter نیز با استفاده از همین دستگاه به دست آمده است. این دستگاه به روش WDS با ولتاژ شتاب دهنده ۱۵ kV، جریان پرتوالکترونی ۱۵ nA و زمان تجزیه بیشینه ۱۵ ثانیه کار می کند. برای توزیع کاتیون ها در جایگاه های بلوری از روش استیکومتری و برای تعیین حرارت و فشار تشکیل سنگ های مافیک منطقه از برنامه رایانه ای PTMAFIC استفاده شده است. جداول ۲ تا ۵ نتایج تجزیه میکروپروپ را به تفکیک کانی ها نشان می دهند.

۴- سنگ نگاری سنگ های مافیک

در نمونه های دستی، گابروها به رنگ سبز تیره تا خاکستری با بافت گرانولار بوده و بلورهای به نسبت درشت پلاژیوکلاز و پیروکسن به راحتی قابل مشاهده هستند. کانی های اصلی سنگ های مافیک (گابروها)، شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، الیون و هورنبلند بوده و بافت های چیره در این سنگ ها گرانولار، پویی کلیتیک

محدوده مورد مطالعه در فاصله ۸ کیلومتری جنوب باختری مرند در استان آذربایجان شرقی، بین طول های جغرافیایی خاوری $38^{\circ} 23' 50''$ تا $38^{\circ} 19'$ و عرض های جغرافیایی شمالی $45^{\circ} 27' 39''$ تا $45^{\circ} 44' 39''$ واقع شده است. توده مافیک میشو رخنمون اصلی این گستره را تشکیل می دهد و بخش های اولترامافیک با مرز گسل و به صورت پراکنده همراه بخش های مافیک وجود دارند. بررسی های مقدماتی روی کمپلکس مافیک و اولترامافیک میشو شامل تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ چهار گوش تبریز- پلدشت توسط افتخارنژاد و همکاران (۱۳۷۰) بوده که طی آن، این مجموعه به عنوان کمپلکس افیولیتی معرفی شده است. محجل و حاجی علیلو (۱۳۷۳) در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ چهار گوش مرند، این کمپلکس را به عنوان سنگ های آذرین درونی معمولی معرفی کرده اند. مؤید و مؤذن (۱۳۸۱) توده مافیک و اولترامافیک میشو را به عنوان بقایای پوسته اقیانوسی پالئوتتیس اول به سن هر سینین معرفی کرده اند. یک سری مطالعات نیز در مورد روابط بافتی کانی های تیره و سیلیکات ها در این سنگ ها توسط کلاگری و همکاران (۱۳۸۳) صورت گرفته است. در مطالعه حاضر با انجام تجزیه میکروپروپ روی سنگ های مافیک (گابرویی) و اولترامافیک (هارزبورژیت- لرزولیت) میشو، برای نخستین بار این توده از جنبه های ژئوشیمیایی، دمافاشارسنجی و شیمی کانی به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد.

۲- زمین شناسی منطقه

توده مافیک- اولترامافیک میشو در منطقه مورد مطالعه به طول حدود ۱۲ کیلومتر و عرض حدود ۵ کیلومتر در ۸ کیلومتری جنوب باختر مرند در آذربایجان شرقی واقع است (شکل ۱). این مجموعه سنگی در کوه های میشو، سنگ های بیشتر شیلی- مارنی (تشکیلات کهر) به سن پرمین را گسسته و باعث دگرگونی همبری در آنها شده است. از این رو سن این توده ها جوان تر از سازند کهر است. رسوبات پرمین به طور پیشرونده روی سطح فرسایش یافته گرانیت A-type به سن هر سینین (مؤید و حسین زاده، ۱۳۹۰) جای گرفته، که خود آنها نیز در این مجموعه سنگی (توده مافیک- اولترامافیک) نفوذ کرده اند. بنابراین سن این توده به زمان پس از پرمین و پیش از هر سینین نسبت داده می شود. توده گابرویی میشو در بخش شمالی در امتداد یک گسل وارون در کنار سازندهای تخریبی- تبخیری (مانند مارن های

منطقه مورد مطالعه همگی در سری کالک آلکان با پتاسیم پایین قرار گرفته‌اند (شکل ۶-الف). برای تعیین سری ماگمایی از عناصر فرعی و خاکی کمیاب نیز استفاده شده است. در نمودار (Pearce & Can 1983) که بر پایه نسبت Ce/Yb در برابر Ta/Yb طراحی شده است، گابروها سری کالک آلکان را نشان می‌دهند (شکل ۶-ب). برای تشخیص محیط زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه از نمودار Zr/Y در برابر Zr پیشنهادی (Pearce 1983) (شکل ۷-الف) و مثلث $Ti/100 - Zr - Y^*3$ پیشنهادی (Pearce & Cann 1983) (شکل ۷-ب) استفاده شده است. طبق این نمودارها نمونه‌های مافیک منطقه مورد مطالعه در محیط‌های اقیانوسی در محدوده جزایر کمانی قرار می‌گیرند.

۷- شیمی کانی‌ها

– **پلاژیوکلاز:** تجزیه نقطه‌ای از پلاژیوکلاز نمونه‌های گابرویی G.K.4، (۹ مورد) و G.K.18، (۲ مورد) انجام شده است. فرمول ساختمانی پلاژیوکلازها به‌ازای ۸ اتم اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۲). در شکل ۸ ترکیب پلاژیوکلازها در نمودار ۳ تایی $An-Ab-Or$ (Deer et al., 1992) آورده شده است. همان گونه که از این شکل نیز پیداست پلاژیوکلازها به رأس آنورتیت نزدیک‌تر بوده و در محدوده آنورتیت تا بیوتیت واقع می‌شوند.

– **اورتوپروکسن:** نقطه ۳ از اورتوپروکسن‌های موجود در نمونه G.K.4 و ۱ نقطه در نمونه G.K.18 مورد تجزیه قرار گرفته است (نمونه‌های گابرویی). فرمول ساختمانی اورتوپروکسن بر اساس ۴ کاتیون به‌ازای ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۳). ترکیب اعضای نهایی اورتوپروکسن‌ها بین $Wo_{0.00}$ ، $En_{0.78}$ تا $Fs_{0.18}$ و $Wo_{0.01}$ ، $En_{0.80}$ تا $Fs_{0.21}$ (نوسان بوده و میانگین عدد منیزیم $[Mg\# = 100Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ این کانی‌ها ۸۰ درصد است. ترکیب اورتوپروکسن‌ها در نمودار $En-Wo-Fo$ (Morimoto, 1989) نشان می‌دهد که تمامی نقاط تجزیه‌شده در محدوده استاتیت واقع می‌شوند (شکل ۹-الف). مقدار کاتیون Cr در این کانی‌ها پایین بوده و در حد چند هزارم است که در محدوده خطای اندازه‌گیری قرار می‌گیرد.

– **کلینوپروکسن:** ۵ نقطه از کلینوپروکسن‌های موجود در نمونه G.K.4 (نمونه گابرویی) مورد تجزیه قرار گرفته است. فرمول ساختمانی کلینوپروکسن‌ها بر پایه ۴ کاتیون به‌ازای ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده است (جدول ۳). ترکیب اعضای نهایی کلینوپروکسن‌ها، در نمونه‌های مافیک به‌ترتیب بین $Wo_{0.46}$ ، $En_{0.45}$ تا $Fs_{0.02}$ و $Wo_{0.51}$ ، $En_{0.46}$ تا $Fs_{0.09}$ (نوسان بوده و میانگین عدد منیزیم $[Mg\# = 100Mg/(Mg+Fe^{2+})]$ این کانی‌ها در نمونه‌های مافیک ۸۶ درصد است. ترکیب کلینوپروکسن‌ها در نمودار $En-Wo-Fo$ (Morimoto, 1989) نشان می‌دهد که تمامی نقاط تجزیه‌شده در محدوده دیوپسید تا اوژیت واقع می‌شوند (شکل ۹-ب). با توجه به اینکه در این کانی‌ها $Na < Al$ است باید آنها را جزو پروکسن‌های کلسیک رده‌بندی کرد و مقدار Fe^{3+} در پیکره چهاروجهی آن صفر در نظر گرفته می‌شود. با افزایش مقدار $Al^{(IV)}$ در ساختمان کانی، فعالیت کلسیم چرماک افزوده می‌شود که خود تابعی از فزونی فشار هنگام تبلور کانی است (مؤید و همکاران، ۱۳۸۸).

– **آمفیبول:** تجزیه نقطه‌ای از آمفیبول‌ها در نمونه G.K.18 (مافیک)، به تعداد ۳ مورد انجام گرفته است. فرمول ساختمانی آمفیبول به‌ازای ۲۳ اتم اکسیژن و ۱۳ کاتیون محاسبه شده است (جدول ۴). از نمودارهای (Leak et al., 1997) برای تعیین نوع آمفیبول‌ها استفاده شده است. در نمودار $(Na+K) - Si$ ، نمونه‌ها در محدوده چرماکیت (شکل ۱۰-الف)، در نمودار $(Mg/Mg+Fe^{2+}) - Si$ ، در محدوده چرماکیت تا هورنبلند-چرماکیت (شکل ۱۰-ب) و در نمودار $Ti-Al^{(IV)}$ ، نمونه‌ها در محدوده چرماکیت واقع شده‌اند (شکل ۱۰-پ). برآورد فوگاسیته اکسیژن در زمان تشکیل آمفیبول‌ها (شکل ۱۱) مؤید بالا بودن نسبی فوگاسیته اکسیژن در زمان تبلور آمفیبول است (Anderson & Smith, 1995).

و شبکه‌ای نوع مش است. پلاژیوکلاز (۴۰ تا ۷۰ درصد) به‌صورت درشت‌بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 8mm$) با ماکل پلی‌سنتیک داخل گابروها حضور دارند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در بیشتر نمونه‌ها سالم هستند ولی در برخی از نمونه‌ها به‌طور بخشی به کانی‌های ثانویه همچون کلسیت، سریسیت، کلریت و کانی‌های رسی دگرسان شده‌اند (شکل‌های ۲-الف و ب). همچنین آثار تجزیه‌شدگی به پرهیت (شکل ۲-پ) و کلینوزویت (شکل ۲-ت) نیز در برخی از نمونه‌ها دیده می‌شود که از تجزیه پلاژیوکلازهای آنورتیتی حاصل شده‌اند. پلاژیوکلازها گاهی دارای ادخال‌هایی از کانی‌های پیروکسن و الیون هستند. پیروکسن (۳۰ تا ۶۰ درصد) شامل هر دو نوع کلینو و اورتو پیروکسن به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 6mm$) در این سنگ‌ها حضور دارند. در برخی از نمونه‌ها پیروکسن‌ها بیشتر به ترمولیت، کلریت و کانی‌های رسی و گاه به اورالیت (شکل ۲-ث)، بیوتیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند و ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز (شکل ۲-ت)، الیون و کانی‌های اپیک دارند. الیون (۲ تا ۴۰ درصد) به‌صورت بلورهای متوسط شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 4mm$) حضور داشته و در برخی از نمونه‌ها به کانی‌های رشته‌ای سرپانتین دگرسان شده و بافت شبکه‌ای نوع مش را ایجاد کرده است (شکل ۲-ج). درون شکستگی‌های الیون ایدینگزیت نیز دیده می‌شود (شکل ۲-چ). آمفیبول (۲ تا ۱۰ درصد) به‌صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 2mm$) با اشکال تیغه‌ای در نمونه حضور داشته (شکل ۲-الف) و گاه به بیوتیت دگرسان شده است. در برخی از نمونه‌ها آمفیبول به‌صورت اورالیت در اطراف پیروکسن وجود دارد (شکل ۲-ث). کوآرتز در چند نمونه به‌صورت رگه و رگچه‌های ثانویه دیده می‌شود (شکل ۲-ح). کلسیت بیشتر حاصل از دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های آهن-منیزیم‌دار بوده و به‌صورت سودومورف کانی‌های اولیه و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود. دیگر کانی‌های ثانویه شامل سریسیت، کلریت، اپیدوت، کانی‌های رسی، سرپانتین، تالک، آنتوفلیت، پرهیت و کلینوزویت هستند و کانی‌های کدر به‌عنوان کانی‌های فرعی در متن سنگ یا درون درشت‌بلورها حضور دارند (شکل ۲-خ).

۵- سنگ‌نگاری سنگ‌های اولترامافیک

الیون (۷۰ درصد) به‌صورت درشت‌بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 6mm$) حضور داشته و بیشتر به کانی‌های رشته‌ای مانند تالک دگرسان شده و شبکه داربستی را ایجاد کرده است (شکل ۲-د). پیروکسن به‌صورت کلینو و اورتوپروکسن در سنگ دیده می‌شود ولی میزان اورتوپروکسن بیشتر بوده و تا (۱۵ درصد) به‌صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار ($< 4mm$) حضور داشته و کلینوپروکسن حدود (۰ تا ۵ درصد) است. کانی‌های کدر (۵ درصد) به‌عنوان کانی‌های فرعی در متن سنگ دیده می‌شوند.

بنابراین از نظر کانی‌شناختی، نمونه‌های توده مافیک (گابرویی) میشو دارای ترکیب گابرونوریت، تروکتولیت، الیون گابرونوریت بوده و نمونه‌های اولترامافیک دارای ترکیب هارزبویژیت تا لرزولیت است. در شکل ۳ تصاویر Back-scatters نمونه‌های مافیک ارائه شده است. به منظور رده‌بندی نمونه‌های سنگی منطقه مورد بررسی از مثلث رده‌بندی سنگ‌های مافیک (Streckeisen 1976) استفاده شده است (شکل ۴).

۶- ژئوشیمی توده مافیک

در رده‌بندی شیمیایی در نمودار $(Na_2O+K_2O) - Si_2O$ از Cox et al. (1979) بر اساس جدول ۱، بیشتر نمونه‌های مافیک در محدوده گابرو قرار می‌گیرند (شکل ۵).

۶-۱. تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی توده مافیک

به منظور تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مافیک منطقه از نمودار K_2O در برابر SiO_2 پیشنهاد شده توسط Rickwood (1989) استفاده شده و بر این اساس گابروهای

بهره‌گیری از دماسنجی پلازیو کلاز و آمفیبول (Holland & Blundy, 1994) دمایی حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد برای سنگ‌های گابرویی به‌دست آمده است. نتایج دما - فشار سنجی در جدول ۶ خلاصه شده است

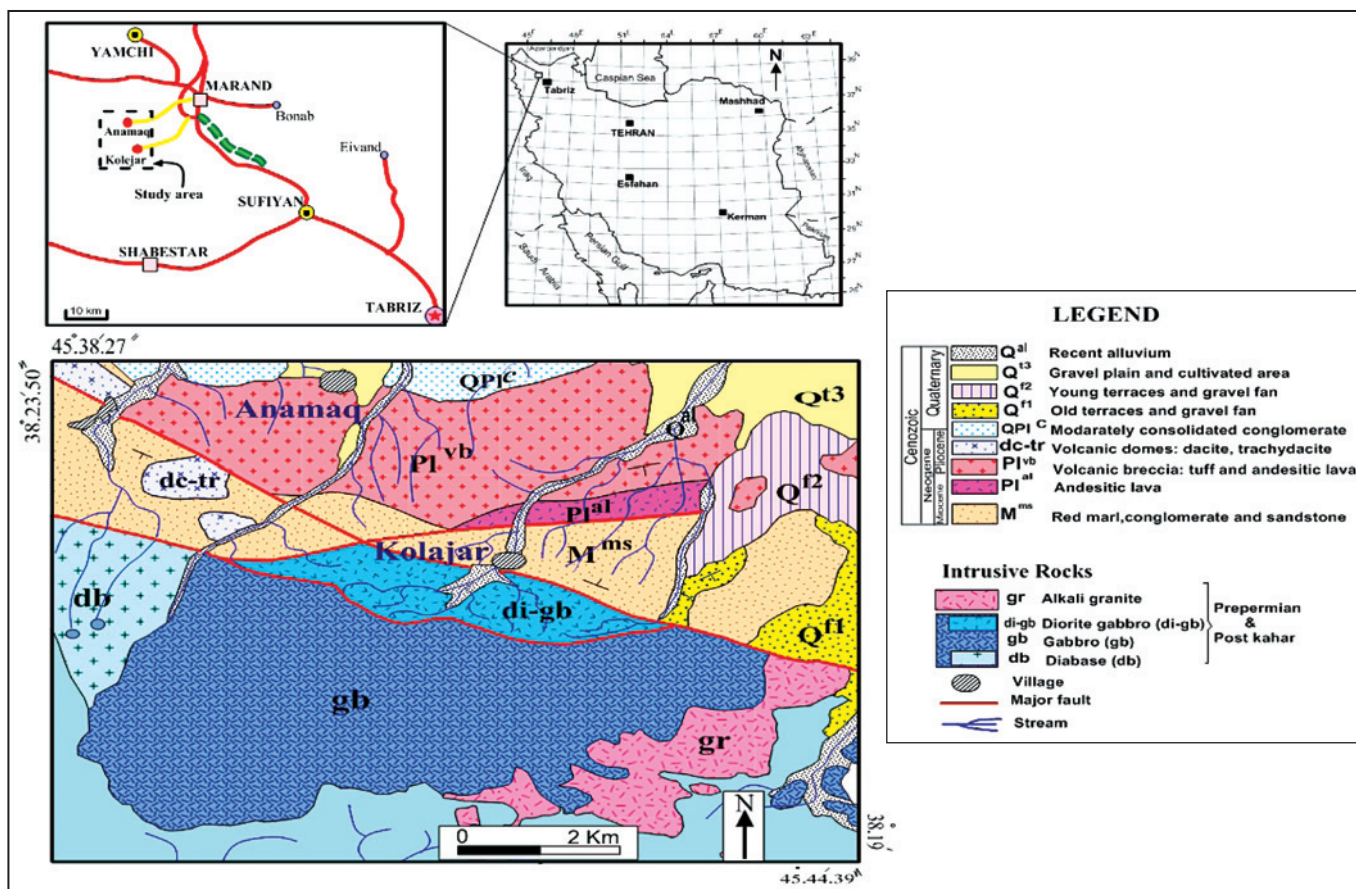
۹- نتیجہ گیری

توده مافیک می‌شود دارای طیف ترکیبی گابرنوریت، تروکتولیت و الوین گابرنوریت بوده و بخش اولترامافیک این مجموعه دارای ترکیب هارزبورژیت تا لرزولیت است. سری ماگمایی این توده مافیک کالک آلکالن با پتاسیم پایین بوده و از نظر محیط زمین‌ساختی در محدوده جزایر قوسی واقع می‌شود. تجزیه میکروپروپ کانی‌های پلاژیو کلاز، الوین، اورتوپروکسن، کلینوپروکسن و آمفیبول در نمونه‌های مافیک (گابروها) نشان می‌دهد که پلاژیو کلازها از نوع آنورتیتی تا بیتونیتی، الوین‌ها بیشتر از نوع کریزولیت و اورتوپروکسن‌ها دارای ترکیب انستاتی، کلینوپروکسن‌ها دارای ترکیب دیوپسید و آمفیبول‌ها در محدوده چرمایت تا هورنبلند چرمایتی واقع می‌شوند. با توجه به اینکه در پیروکسن‌ها $\text{Na} < \text{Al}$ است باید آنها را جزو پیروکسن‌های کلسیک رده‌بندی کرد و با افزایش مقدار $\text{Al}^{(\text{VI})}$ در ساختمان کانی، فعالیت کلسیم چرماک افزوده می‌شود که خود تابعی از فزونی فشار هنگام تبلور کانی است. با استفاده از روش‌های مختلف دما فشارسنجی مانند دما فشارسنجی بر اساس اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 کانی آمفیبول، پلاژیو کلاز- آمفیبول و اورتوپروکسن- کلینوپروکسن دمای ۷۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد در فشار ۷ تا ۸ کلو بار بر ای بخش‌های مافیک به‌دست آمده است.

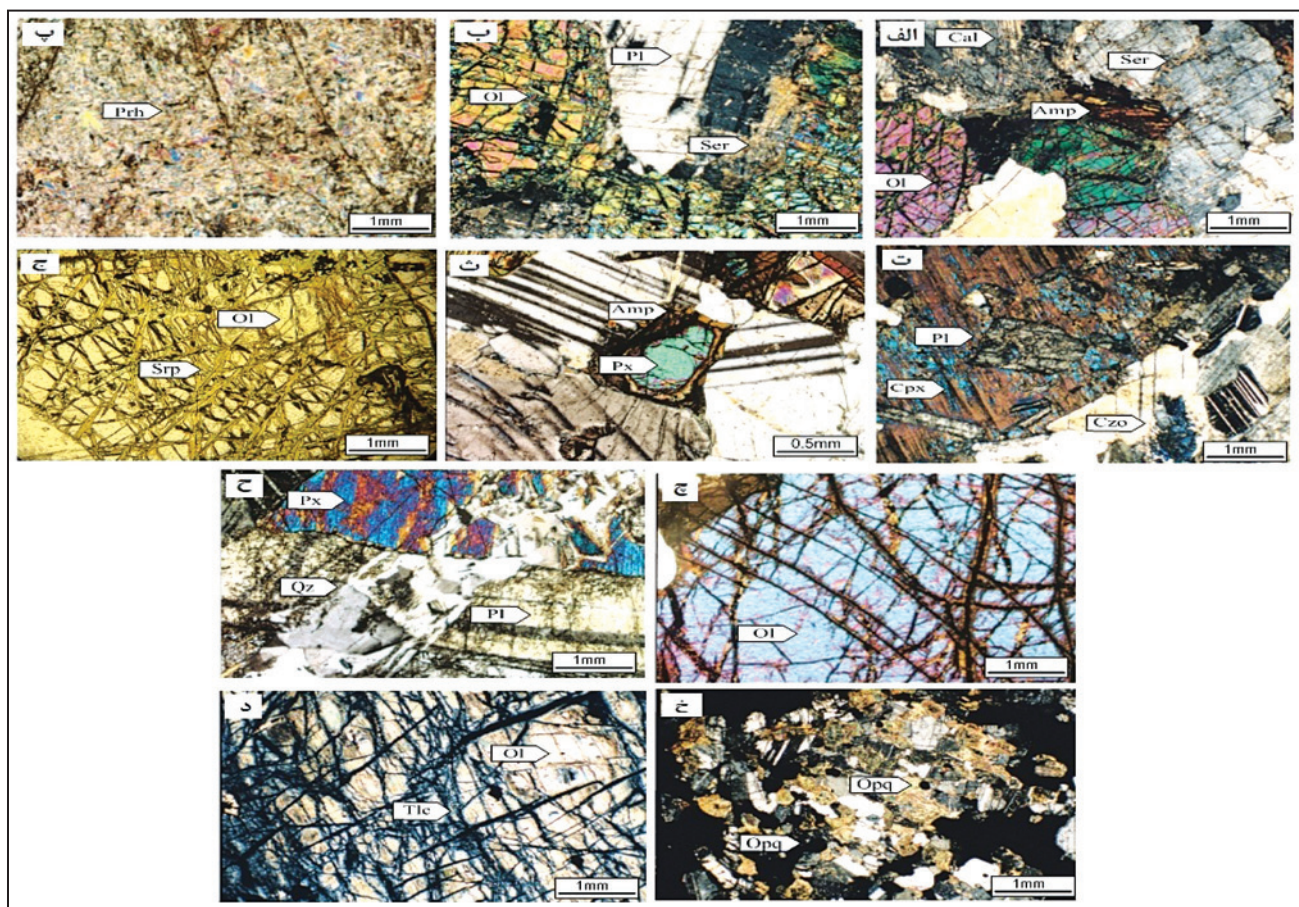
– **اليون:** ۱۱ نقطه از اليون‌های موجود در نمونه G.K.۴ (گابرو) مورد تجزيه قرار گرفت. فرمول ساختمانی اليون‌ها بر اساس ۳ کاتيون به ازای ۴ اتم اکسيژن محاسبه شده است (جدول ۵). ترکیب اليون‌ها بين $\text{Fe}_{76.73}\text{Ta}_{20.61}\text{TP}_{0.26}$ تا $\text{Fe}_{77.73}\text{Ta}_{20.61}\text{TP}_{0.26}$ ، $\text{Fo}_{79.04}$ در نوسان بوده و میانگين عدد منيزيم $[\text{Mg}\# = 100 \text{ Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})]$ نقاط تجزيه‌شده مقدار ۷۷ درصد را نشان می‌دهند. ترکیب اليون‌ها در نمودار Fo-Fa (Deer et al., 1992) نشان می‌دهد که تمامی نقاط تجزيه‌شده در محدوده کريزوليت واقع شده‌اند (شکل ۱۲).

۸- دما فشار سنجی سنگ های مافیک

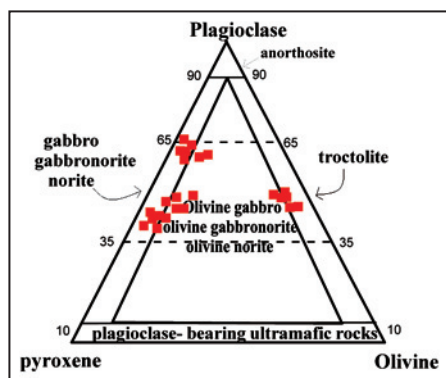
به منظور برآورد شرایط دما و فشار تبلور سنگ‌های گابرویی توده مافیک میشو از روش‌های متعدد تبادل کاتیونی بهره گرفته شده است. با استفاده از زمین‌فشارسنج نیمه‌کمی و با در دست داشتن مقدار اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 کانی آمفیبول، می‌توان به برآورد شرایط T و P تشکیل سنگ پرداخت (Ernest & Liu, 1998) با استفاده از این روش حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در فشار معادل ۷ تا ۸ کیلو بار برای سنگ‌های گابرویی (G.K.4) ارزیابی می‌شود (شکل ۱۳). با استفاده از مقدار کاتیونی آلومینیم کل موجود در ساختمان آمفیبول از کالیبراسیون‌های مختلف، فشاری بین ± 1 - ۷ - ۶ کیلو بار برای گابروها برآورد شده است (Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister et al., 1987; Johnson & Rutherford, 1989). با دماسنجی OPX-CPX (Wood & Banno, 1973)، دمای حدود ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد و با



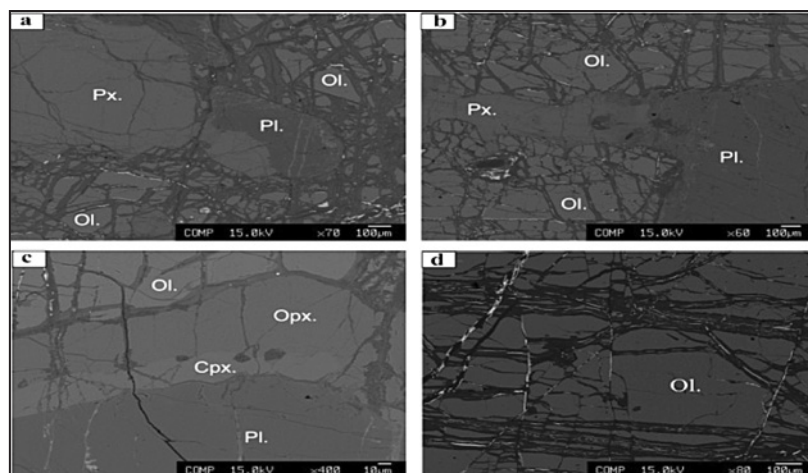
شکل ۱- نقشه ساده شده توزیع واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی (برگرفته از محجل و حاجی علیلو، ۱۳۷۳) با تغییرات) همراه با نقشه راه های دسترسی به منطقه.



شکل ۲- تصاویر سنگ نگاری نمونه‌های مافیک (گابرو) و اولترامافیک مورد بررسی (XPL) به استثنای تصویر (ج، PPL)؛ الف) کلسیت و سریسیت حاصل از دگرسانی پلاژیو کلازها؛ ب) درشت‌بلور پلاژیو کلاز که از حاشیه سریسیتی شده است؛ پ) پره‌نیت حاصل از دگرسانی پلاژیو کلاز آنورتیت؛ ت) بلورهای پلاژیو کلاز که با جهت یافتگی اتفاقی به وسیله کانی‌های پیروکسن احاطه شده‌اند و کلاینوزونیزیت‌هایی که از دگرسانی پلاژیو کلازها حاصل شده‌اند؛ ث) بلور پیروکسن که از حاشیه به اورالیت دگرسان شده است؛ ج) درشت‌بلور الیون دگرسان‌شده به کانی‌های رشته‌ای مانند سرپانتین؛ چ) درشت‌بلور الیون که درون شکستگی‌های آن ایدنگزیت دیده می‌شود؛ ح) رگه ثانویه کوارتز که از پیروکسن و پلاژیو کلاز عبور کرده است؛ خ) کانی‌های کدر موجود درون بلورها و متن سنگ؛ د) درشت‌بلور الیون دگرسان‌شده به کانی‌های رشته‌ای مانند تالک. نشانه‌ها: پلاژیو کلاز = Pl؛ پیروکسن = Px؛ کلاینوپیروکسن = Opq؛ کلسیت = Cal؛ سریسیت = Ser؛ تالک = Tlc؛ پره‌نیت = Prh؛ کلاینوزونیزیت = Czo؛ کوارتز = Qz؛ کدر = Opq.

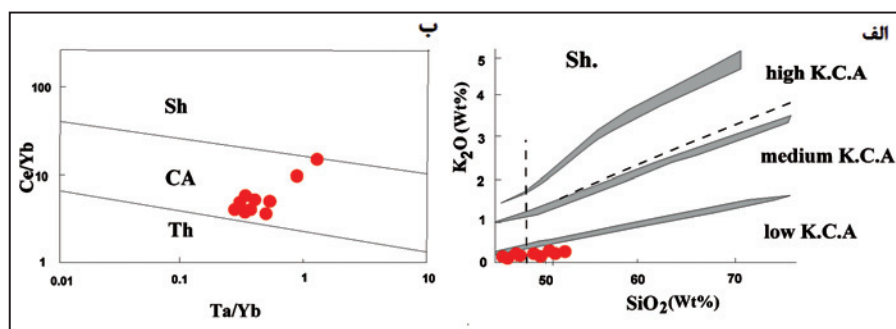
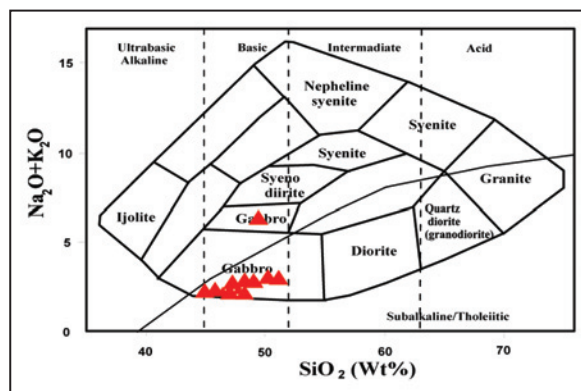


شکل ۴- موقعیت نمونه‌های سنگی منطقه مورد بررسی در مثلث رده‌بندی مودال سنگ‌های مافیک (گابروها)، (Streckeisen, 1976).



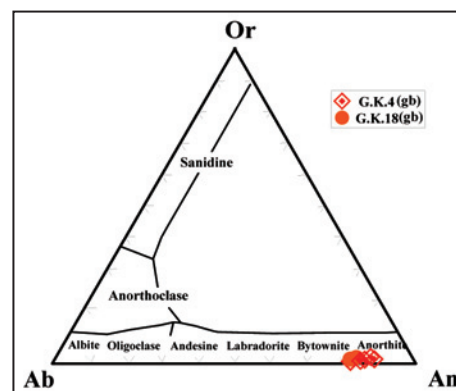
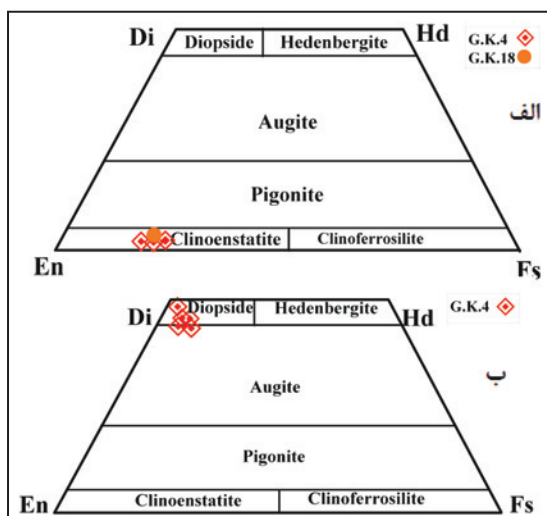
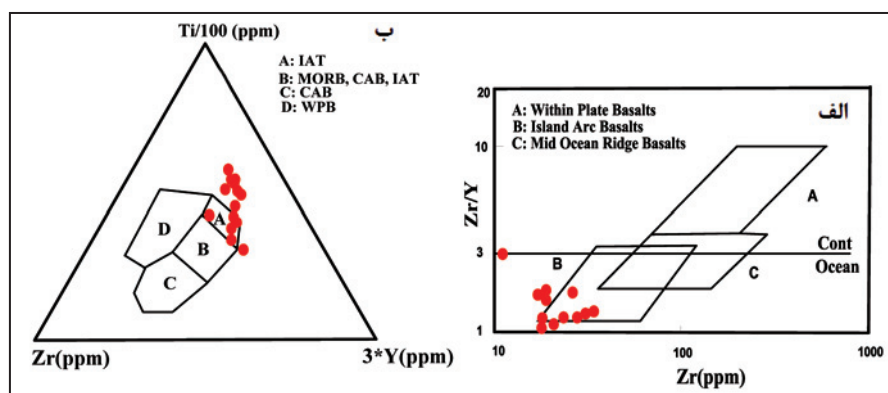
شکل ۳- تصاویر Back-scatters از نمونه‌های گابرویی منطقه. در تصاویر a, b, d بافت شبکه‌ای حاصل از تجزیه شدن الیون قابل مشاهده است.

شکل ۵- موقعیت نمونه‌های مافیک میشو در نمودار TAS (Cox et al., 1979).



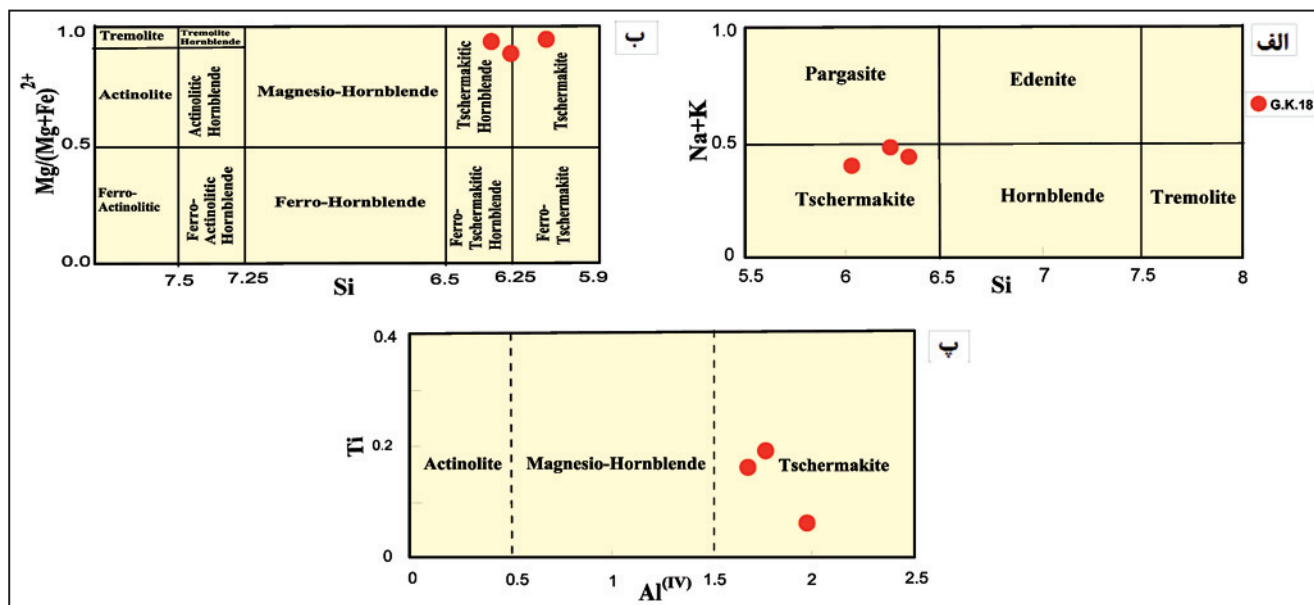
شکل ۶- نمودارهای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های مافیک. الف) نمودار (Rickwood 1989)؛ ب) نمودار (Pearce & Can 1983) بر اساس این نمودارها سنگ‌های مافیک منطقه مورد مطالعه دارای سری ماگمایی کالک آلکالن با پتاسیم پایین هستند.

شکل ۷- نمودارهای مشخص کننده محیط زمین‌ساختی تشکیل گابروهای میشو. الف) نمودار (Pearce 1983)؛ ب) نمودار (Pearce & Can 1983)؛ طبق این نمودار نمونه‌های گابرویی منطقه در محیط اقیانوسی قرار می‌گیرند؛ ب) نمودار (Pearce & Can 1983)؛ طبق این نمودار گابروهای میشو در محدوده جزایر کماتی قرار می‌گیرند.

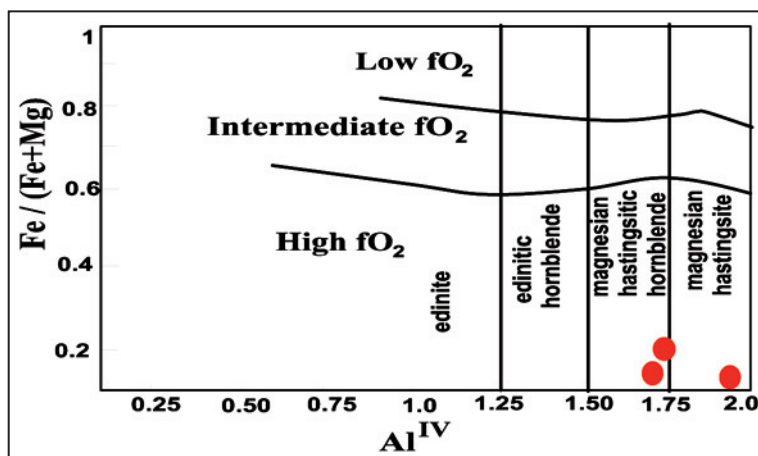


شکل ۸- ترکیب شیمیایی پلاژیوکلازهای نمونه‌های مافیک {گابروها، (G.K.4) و (G.K.18)} در نمودار سه‌تایی Ab-An-Or (Deer et al., 1992). پلاژیوکلازها دارای ترکیب آنورتیت تا بیوتیت هستند.

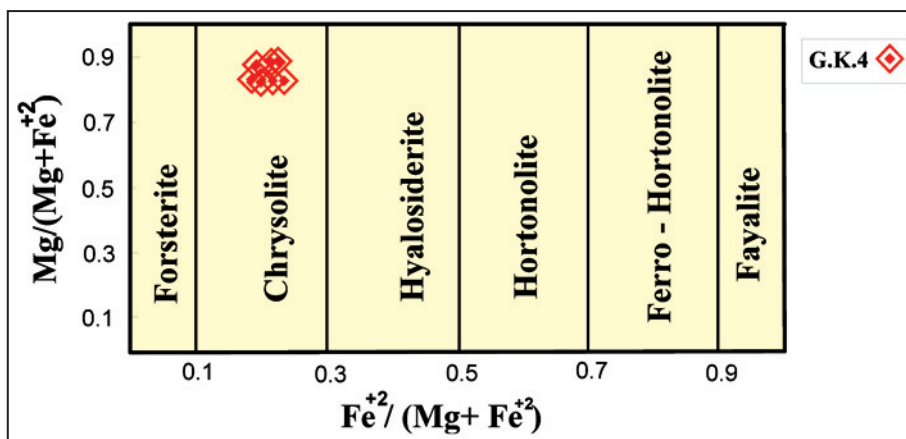
شکل ۹- ترکیب شیمیایی پروکسن‌ها در نمودار Di-Hd-En-Fs (Morimoto, 1989)؛ الف) اورتوپروکسن‌های تجزیه‌شده نمونه‌های مافیک (G.K.18, G.K.4)، ترکیب انستاتیت را نشان می‌دهند؛ ب) کلینوپروکسن‌های تجزیه‌شده نمونه مافیک (G.K.4)، ترکیب دیوپسید را نشان می‌دهد.



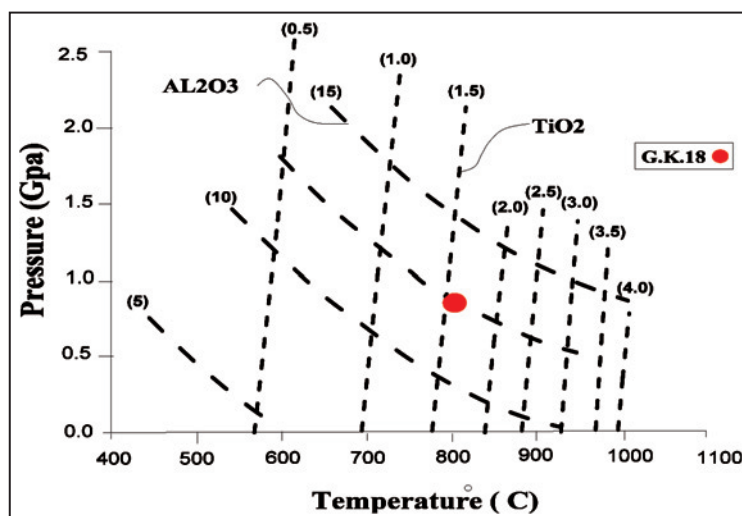
شکل ۱۰- الف) آمفیبول‌های تجزیه شده نمونه مافیک (G.K.18) در نمودار (Na+K)-Si (Leak et al., 1997) از نوع چرمایت است؛ ب) این کانی‌ها با در نظر گرفتن نسبت کاتیونی $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ در برابر Si در محدوده چرمایت و هورنبلند چرمایتی قرار گرفته‌اند؛ پ) ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها در نمودار مقادیر کاتیونی Ti در برابر Al تراهدرال سایت نیز از نوع چرمایت مشخص می‌شوند.



شکل ۱۱- نمودار تعیین فوگاسیته اکسیژن بر پایه ترکیب آمفیبول‌ها (Anderson & Smith, 1995) که نشان‌دهنده بالا بودن نسبی فوگاسیته اکسیژن در زمان تبلور آمفیبول است.



شکل ۱۲- الیون‌های نمونه‌های مافیک تجزیه شده در نمودار Deer et al. (1992) دارای ترکیب کریزولیت هستند.



شکل ۱۳- با استفاده از دما فشارسنجی بر اساس اکسیدهای آلومینیم و تیتانیم موجود در تکت کانی آمفیبول (Ernest & Liu, 1998)، دمایی حدود ۸۰۰ درجه سانتی گراد در فشاری معادل ۷ تا ۸ کیلو بار برای سنگ های گابرویی ارزیابی می شود.

جدول ۱- نتایج به دست آمده از تجزیه ICP-MS نمونه های مربوط به توده مافیک (گابروها) میشو.

Sample (wt%)	G.A.1	G.A.2	G.A.6	G.k.1	G.K.2	G.K.3	G.K.4	G.K.5	G.K.6	G.K.7	G.K.8	G.K.9	G.K.14
SiO ₂	۴۹/۶	۴۶/۲	۴۸	۴۷/۷۸	۴۷/۸۲	۴۶/۷۸	۳۹/۹	۴۹/۸۱	۴۴/۸۲	۴۶/۲۲	۵۰/۹۸	۴۵/۷۱	۴۶/۵
TiO ₂	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۸۷	۰/۸۹	۰/۹۱	۱/۰۸	۰/۲۶	۰/۷۸	۱/۲۱	۱/۱۳	۰/۷۵	۱/۰۲	۰/۶۱
Al ₂ O ₃	۱۸/۱	۱۵/۷	۱۳/۷	۱۸/۰۷	۱۷/۹۶	۱۹/۰۶	۱۳/۱	۱۷/۷۲	۱۹/۰۶	۱۸/۷۱	۱۶/۹۶	۱۸/۸۵	۲۰/۶
Cr ₂ O ₃	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳
Fe ₂ O ₃	۵/۲۶	۸/۵۴	۸/۳۶	۵/۳۸	۶/۶۸	۷/۳۸	۱۲/۴	۶/۲۱	۸/۲۱	۷/۳۸	۵/۴۸	۸/۱۳۶	۷/۷۶
MnO	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۱۲
MgO	۷/۰۲	۹/۵۲	۹/۷۵	۷/۱۳	۷/۳۶	۸/۰۸	۲/۰۳	۷/۰۲	۹/۴۴	۸/۳۴	۶/۹۷	۸/۳۶	۹/۱۳
CaO	۱۵/۴	۱۳/۲	۱۴/۷	۱۵/۶۱	۱۵/۳۴	۱۵/۰۴	۷/۳۱	۱۳/۰۶	۱۴/۹۸	۱۵/۳۶	۱۳/۱۴	۱۵/۸۱	۱۳/۲
Na ₂ O	۲/۶	۱/۹	۲/۲	۲/۶۲	۱/۹۶	۱/۸۶	۱	۲/۷۱	۱/۶۲	۲/۷۱	۱/۵۱	۱/۵۱	۱/۶
K ₂ O	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۱۰	۰/۱۲	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۹
P ₂ O ₅	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲
LOI	۱/۳۳	۱/۴۴	۲/۴۶	۱/۲۸	۱/۳۷	۰/۹۸	۳/۱	۱/۶۸	۰/۶۱	۱/۹۸	۰/۶۸	۰/۰۷	۰/۰۷
Ba (ppm)	۵۰	۴۰	۴۰	۵۳	۴۷	۴۳	۱۳۰	۴۸	۴۰	۴۲	۵۵	۴۱	۸۰
Sr	۳۵۰	۲۴۰	۲۳۰	۳۵۶	۲۴۲	۳۲۶	۱۹۰	۲۳۱	۳۴۲	۳۱۴	۲۹۰	۳۶۲	۳۰۰
Zn	۲۴	۵۱	۵۰	۲۳	۴۸	۴۹	۶۸	۲۶	۵۲	۵۰	۲۴	۴۴	۳۹
Ag	۱<	۱<	۱<	۱	۱	۱	۱<	۱	۱	۱	۱	۱	۱<
Ce	۷/۲	۴/۷	۴/۱	۷/۳۴	۵/۲۶	۴/۷۷	۶/۱	۷/۷۶	۴/۲۱	۴/۶۸	۸/۱۳	۴/۳۲	۵/۶
Co	۴۲/۱	۵۵/۷	۴۴/۵	۴۳/۴	۴۸/۲	۵۰/۲	۱۰۱	۴۱/۴	۴۹/۲	۴۷/۶	۳۹/۷	۴۹/۳	۴۴/۱
Cs	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲۴	۰/۱۶	۰/۱۱	۰/۱<	۰/۱۷	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱<
Cu	۲۷۴	۵۵	۷۷	۲۴۸	۱۲۴	۸۶	۱۹	۵۸	۴۶	۳۸	۱۹	۴۲	۴۱
Dy	۳/۰۲	۲/۰۳	۲/۱۳	۳/۱۲	۲/۶۸	۲/۱۳	۰/۶۵	۳/۲۶	۲/۰۳	۲/۱۶	۳/۳۷	۱/۹۶	۱/۱۲
Er	۱/۵۷	۱/۰۹	۱/۳۶	۱/۵۶	۱/۱۶	۱/۰۸	۰/۳۸	۱/۶۲	۰/۹۲	۱/۱۲	۱/۶۳	۰/۸۶	۰/۶۲
Eu	۱/۱۵	۰/۷۴	۰/۶۶	۱/۱۷	۱/۰۲	۰/۹۲	۰/۳	۱/۲۶	۰/۷۲	۰/۸۱	۱/۳۱	۰/۶۷	۰/۵۲
Ga	۲۷	۱۷	۱۴	۲۹	۲۲	۱۸	۹	۲۶	۱۶	۱۷	۳۱	۱۲	۱۵
Gd	۲/۶۴	۱/۷۸	۲/۰۴	۲/۶۶	۲/۲۱	۱/۹۶	۰/۶۲	۲/۷۸	۱/۶۸	۱/۸۵	۲/۸۹	۱/۰۲	۰/۹۷
Hf	۱<	۱<	۱<	۰/۶۸	۰/۶۱	۰/۵۸	۱<	۰/۷۷	۰/۵۱	۰/۵۶	۰/۹۸	۰/۴۸	۱<
Ho	۰/۵۹	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۵۲	۰/۴۸	۰/۱۳	۰/۶۱	۰/۴۱	۰/۵۲	۰/۶۶	۰/۴۱	۰/۲
La	۲/۹	۱/۹	۱/۳	۲/۹۶	۱/۹۶	۱/۸۴	۴/۱	۲/۹۷	۱/۶۲	۱/۷۲	۳/۱۲	۱/۴۸	۳/۱
Lu	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۰۸	۰/۰۷
Mo	۲<	۲<	۲<	۱/۸	۱/۲	۱/۳	۲<	۱/۶	۱/۱	۱/۶	۲/۱	۱/۲	۲<
Nb	۱	۱<	۱<	۱/۱۶	۱/۱۷	۰/۹۸	۱	۱/۲	۰/۹۶	۱/۲	۱/۶	۰/۸۲	۱
Nd	۵/۹	۴	۴	۵/۹۶	۵/۲۴	۵/۴۴	۲/۴	۵/۸۸	۴/۶۸	۴/۹۲	۶/۱۶	۴/۲۶	۳/۱
Ni	۲۶	۶۰	۵۶	۲۷	۴۱	۶۱	۲۷۹	۶۱	۷۹	۷۷	۴۸	۱۶۲	۷۹
Pr	۲/۰۸	۱/۱	۰/۷۵	۲/۱۸	۱/۸۶	۱/۱۲	۰/۶۹	۲/۲۱	۰/۹۶	۱/۰۸	۲/۳۲	۰/۶۸	۰/۷۹
Rb	۲/۶	۱/۲	۱	۲/۷۶	۲/۱۳	۲/۰۲	۱/۳	۲/۸۲	۱/۰۸	۱/۹۶	۲/۷	۰/۸۶	۰/۸
Sm	۱/۸	۱/۳	۱/۶	۱/۸۶	۱/۶۲	۱/۴۲	۰/۵	۱/۹۴	۰/۹۸	۰/۹۶	۲/۱۶	۰/۵۸	۰/۸
Sn	۲	۱	۱<	۲	۱	۱	۱<	۲	۱	۱	۳	۱	۱<
Ta	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۳۶	۰/۴۱	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۴۰	۰/۴۱	۰/۶۲	۰/۳۶	۰/۵۰
Tb	۰/۴۹	۰/۳	۰/۳۶	۰/۵۸	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۱۱	۰/۵۶	۰/۴۱	۰/۴۶	۰/۵۷	۰/۳۷	۰/۱۸
Th	۰/۶	۰/۴	۰/۲	۰/۶۱	۰/۴۸	۰/۳۲	۰/۲	۰/۵۲	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۸۶	۰/۳۷	۰/۱<
Tl	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۴۸	۰/۴۲	۰/۳۸	۰/۵۰	۰/۵۱	۰/۳۲	۰/۳۸	۰/۵۶	۰/۳۱	۰/۵۰
Tm	۰/۲۳	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۴	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۰۶	۰/۲۶	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۲۹	۰/۱۲	۰/۰۸
U	۰/۱۴	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۲۱	۰/۰۷	۰/۰۷
V	۴۵۵	۲۹۳	۳۵۶	۴۶۸	۳۳۷	۵۲۱	۴۷	۳۷۶	۴۸۸	۳۹۶	۲۳۴	۴۸۲	۱۲۸
W	۱<	۱<	۱<	۱	۱	۱	۱<	۱	۱	۱	۱	۱	۱<
Y	۱۵/۱	۹/۹	۱۱/۳	۱۵/۷۱	۱۳/۸۱	۱۳/۲۶	۳/۴	۱۵/۸۲	۱۳/۴۴	۱۲/۸۲	۱۶/۳۸	۱۱/۰۸	۵/۸
Yb	۱/۳	۱	۱/۱	۱/۳۶	۱/۳۱	۱/۲۲	۰/۴	۱/۶۱	۱/۰۲	۱/۶۶	۱/۶۴	۰/۹۶	۰/۶
Zr	۲۵/۴	۱۵/۸	۱۶	۲۶/۲	۲۱/۷	۲۲/۶	۱۰/۳	۲۹/۳	۱۸/۶	۱۹/۲	۳۱/۷	۱۷/۲	۹/۱

جدول ۲- نتایج تجزیه کانی پلاژیوکلاز به روش میکروپروب الکترونی.

پلاژیوکلاز											
کاپرو (G.K.4)										کاپرو (G.K.18)	
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱	۲
SiO ₂	۵۰/۳۸	۴۸/۲۴	۴۹/۱۶	۴۸/۱۶	۴۷/۸۸	۴۸/۳۸	۴۷/۹۳	۴۸/۱۸	۴۹/۴۲	۴۷/۴۰	۴۹/۵۶
TiO ₂	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۳
Al ₂ O ₃	۳۱/۹۲	۳۳/۳۳	۳۳/۴۵	۳۳/۵۳	۳۳/۸۴	۳۳/۳۷	۳۳/۰۰۸	۳۳/۳۸	۳۲/۸۵	۳۰/۸۶	۳۲/۵۴
Cr ₂ O ₃	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۱
FeO	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۶	۱/۳۷	۰/۲۱
MnO	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۱
MgO	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۹	۰/۰۰
CaO	۱۴/۸۷	۱۶/۲۲	۱۶/۵۹	۱۶/۳۹	۱۶/۲۵	۱۶/۳	۱۶/۴۴	۱۶/۲۱	۱۵/۶۶	۱۴/۳۲	۱۵/۱۴
Na ₂ O	۱/۸۶	۱/۳۵	۱/۳۶	۱/۳۶	۱/۳	۱/۳۸	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۵۹	۱/۶۲	۱/۶۶
K ₂ O	۰/۰۷	۰/۰۳۱	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۳
Total	۹۹/۰۹	۹۹/۳۴	۱۰۰/۷۷	۹۹/۶۶	۹۹/۴۵	۹۹/۶۵	۹۹/۰۹	۹۹/۳۷	۹۹/۷۴	۹۶/۴۴	۹۹/۱۹
کاتیون‌ها بر اساس ۸ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند											
Si	۲/۳۰	۲/۲۱	۲/۲۲	۲/۲۰	۲/۱۹	۲/۲۱	۲/۲۱	۲/۲۱	۲/۲۵	۲/۲۴	۲/۲۷
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۱/۷۲	۱/۸۰	۱/۷۸	۱/۸۱	۱/۸۲	۱/۸۰	۱/۷۹	۱/۸۰	۱/۷۶	۱/۷۲	۱/۷۶
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe ²⁺	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۱
Mn	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰
Ca	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۷۹	۰/۷۶	۰/۷۲	۰/۷۴
Na	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۵
K	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Total	۴/۹۰	۴/۹۲	۴/۹۱	۴/۹۳	۴/۹۱	۴/۹۳	۴/۹۴	۴/۹۱	۴/۹۱	۴/۹۱	۴/۹۳
Na/(Na+Ca+K)	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۱۷
K/(Na+Ca+K)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ca/(Na+Ca+K)	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۸۳	۰/۸۳

جدول ۳- نتایج تجزیه کانی پیروکسن به روش میکروپروب الکترونی.

اورتوپروکسن										کاپرو (G.K.18)	
کاپرو (G.K.4)					کاپرو (G.K.4)					کاپرو (G.K.18)	
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	
SiO ₂	۵۰/۴۳	۴۸/۳۷	۵۱/۴۷	۵۱/۸۹	۵۲/۵۵		۵۶/۰۷	۵۶/۰۸	۵۵/۰۹	۵۳/۱۷	
TiO ₂	۱/۴۸	۰/۷۸	۰/۹	۰/۸۷	۰/۷۷		۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۲۲	۰/۴۶	
Al ₂ O ₃	۴/۱۷	۳/۷۲	۴/۲	۳/۸۰	۲/۸۵		۱/۲۳	۳/۶۱	۱/۳۲	۱/۲۷	
Cr ₂ O ₃	۰/۱۸	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۲۹	۰/۰۸		۰/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰	
FeO	۵/۵۸	۵/۲۳	۵/۸۹	۵/۵۷	۴/۹۸		۱۳/۱۲	۱۳/۹۰	۱۳/۳۶	۱۹/۲۶	
MnO	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۱۶		۰/۳۰	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۴۶	
MgO	۱۵/۲۸	۱۴/۸۵	۱۵/۷	۱۵/۴۹	۱۶/۰۷		۳۰/۰۶	۲۹/۳۰	۲۹/۸	۲۴/۰۱	
CaO	۲۲/۰۸	۲۲/۹۶	۲۱/۷۴	۲۲/۳۲	۲۲/۷۳		۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۶۲	۲/۱۵	
Na ₂ O	۰/۲۷	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۱		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۲	
K ₂ O	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	
Total	۹۹/۶۵	۹۷/۱۹	۱۰۰/۶۷	۱۰۰/۶۳	۱۰۰/۴۰		۱۰۱/۴۷	۱۰۳/۳۹	۱۰۰/۷۷	۱۰۰/۸۱	
کاتیون‌ها بر اساس ۶ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند											
Si	۱/۸۶	۱/۸۳	۱/۸۸	۱/۸۹	۱/۹۲		۱/۹۶	۱/۹۳	۱/۹۴	۱/۹۴	
Ti	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	
Al	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۱۶	۰/۱۲		۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
Fe ³⁺	۰/۰۳	۰/۱۴	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱		۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۴	
Fe ²⁺	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۴		۰/۳۷	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۵	
Mn	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	
Mg	۰/۸۴	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۷		۱/۵۷	۱/۵۰	۱/۵۷	۱/۵۷	
Ca	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۸۹		۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۲	
Na	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
K	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰		۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	
Total	۳/۹۹	۴/۰۰	۳/۹۹	۳/۹۸	۳/۹۸		۳/۹۹	۴/۰۰۰	۳/۹۹	۳/۹۹	
En	۰/۴۵	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۵	۰/۴۶		۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۰	
Fs	۰/۰۸	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۰۷		۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۱۹	
Wo	۰/۴۷	۰/۵۱	۰/۴۶	۰/۴۶	۰/۴۷		۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	
Ac	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
Mg#	۸۵	۹۵	۸۴	۸۴	۸۶		۸۰	۷۸	۸۱	۸۱	

جدول ۴- نتایج تجزیه کانی آمفیبول به روش میکروپروب الکترونی.

آمفیبول			
گابرو G.K.18			
	۱	۲	۳
SiO ₂	۴۴/۳۵	۴۳/۶۳	۴۲/۹۸
TiO ₂	۱/۴۸	۱/۶۹	۰/۵۳
Al ₂ O ₃	۱۲/۳۸	۱۳/۰۰	۱۳/۳۵
Cr ₂ O ₃	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۴
FeO	۱۰/۵۶	۱۰/۵۷	۱۱/۶۸
MnO	۰/۲۹	۰/۲	۰/۲۹
MgO	۱۴/۸۱	۱۴/۳۳	۱۵/۶۱
CaO	۱۱/۱۹	۱۱/۴۴	۹/۷
Na ₂ O	۱/۲	۱/۳۱	۱/۳۸
K ₂ O	۰/۵۶	۰/۶۳	۰/۱۳
Total	۹۶/۹۰	۹۶/۹	۹۵/۷
کاتیون‌ها بر اساس ۲۳ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند			
Si	۶/۳۲	۶/۲۶	۶/۰۴
Ti	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۰۶
Al	۲/۰۸	۲/۲۰	۲/۲۱
Cr	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰
Fe ^{۳+}	۱/۱۱	۰/۹۲	۱/۳۷
Fe ^{۲+}	۰/۱۴	۰/۳۵	۰/۰۰
Mn	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۳
Mg	۳/۱۴	۳/۰۶	۳/۲۷
Ca	۱/۷۱	۱/۷۶	۱/۴۶
Na	۰/۳۳	۰/۳۶	۰/۳۸
K	۰/۱۰	۰/۱۱	۰/۰۲
Total	۱۵/۱۳	۱۵/۲۳	۱۴/۸۴

جدول ۵- نتایج تجزیه کانی الیون به روش میکروپروب الکترونی.

الیون											
گابرو G.K.4											
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
SiO ₂	۳۹/۵۸	۳۹/۹۵	۳۹/۱۸	۳۹/۸۵	۳۹/۶۷	۳۸/۶۷	۳۹/۶۱	۳۸/۴۶	۳۹/۸	۳۹/۵۳	۳۹/۹۶
TiO ₂	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
Al ₂ O ₃	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱
Cr ₂ O ₃	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰
FeO	۲۰/۸۶	۲۰/۷۳	۲۰/۸۴	۲۱/۱۴	۲۰/۹۱	۱۹/۸۴	۰/۹۰	۲۰/۷۸	۲۰/۹۷	۲۰/۸۳	۲۰/۶۰
MnO	۰/۳۳	۰/۳۲	۰/۳۳۳	۰/۲۹	۰/۴	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۹	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۳۵
MgO	۳۹/۸۸	۳۹/۵۸	۳۹/۹۷	۳۹/۶۳	۳۹/۹۲	۴۲/۶۷	۳۹/۹۰	۴۱/۰۱	۳۹/۸۸	۳۹/۸۸	۳۹/۷۴
CaO	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۰
Na ₂ O	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۰
K ₂ O	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
NiO	۰/۱۲	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۰۸
Total	۱۰۰/۷۹	۱۰۰/۷۴	۱۰۰/۴۰	۱۰۰/۹۶	۱۰۰/۰۳	۱۰۰/۵۶	۱۰۰/۸۳	۱۰۰/۷۹	۱۰۱/۰۹	۱۰۰/۷۲	۱۰۰/۷۶
کاتیون‌ها بر اساس ۴ اتم اکسیژن محاسبه شده‌اند											
Si	۱/۰۱	۱/۰۲	۱/۰۰	۱/۰۱	۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۰۱	۰/۹۸	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۲
Ti	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Al	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Cr	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Fe ^{۲+}	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴
Mn	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Mg	۱/۵۲	۱/۵۰	۱/۵۳	۱/۵۰	۱/۵۱	۱/۶۱	۱/۵۲	۱/۵۶	۱/۵۱	۱/۵۲	۱/۵۱
Ni	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ca	۰/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Total	۲/۹۷	۲/۹۶	۲/۹۷	۲/۹۶	۲/۹۶	۳/۰۱	۲/۹۷	۲/۹۸	۲/۹۶	۲/۹۷	۲/۹۷
Fe	۷۷/۰۴	۷۷/۰۲	۷۷/۰۹	۷۷/۶۳	۷۷/۹۶	۷۹/۰۴	۷۷/۰۳	۷۷/۵۴	۷۷/۹۱	۷۷/۰۶	۷۷/۱۷
Fa	۲۲/۶۰	۲۲/۶۳	۲۲/۵۴	۲۲/۹۵	۲۲/۶۱	۲۰/۶۲	۲۲/۶۳	۲۲/۰۴	۲۲/۶۸	۲۲/۵۸	۲۲/۴۴
Tp	۰/۲۶	۰/۳۵	۰/۳۶	۰/۳۲	۰/۴۲	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۳۷	۰/۳۹
Mg#	۷۷	۷۷	۷۷	۷۶	۷۷	۷۹	۷۷	۷۷	۷۷	۷۷	۷۷

جدول ۶- نتایج برآورد دما و فشار برای تبلور سنگ‌های مافیک منطقه مورد بررسی.

فشارسنجی از طریق محتوای آلومینیوم موجود در آمفیبول (مافیک) (Hammarstrom & Zen, 1986; Hollister & Grissom, 1987; Johnson & Rutherford, 1989)	دما-فشارسنجی اکسیدهای آلومینیوم و تیتانیم موجود در آمفیبول (Ernest & Liu, 1998)		دماسنجی آمفیبول-پلاژیوکلاز (Holland & Blundy, 1994)		دماسنجی کلینوپروکسن-اورتوپروکسن (Wood et al., 1973)
فشار ۱ ±	فشار ۳ ±	فشار ۱ ±	فشار ۷ تا ۸ کیلو بار	فشار ۷ کیلو بار	دما = ۹۰۰ درجه
۵/۸۴-۶/۳۷	۶/۹۷-۷/۶۴	۵/۸۴-۶/۳۷	دما = ۸۰۰ درجه	دما = ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه	دما = ۹۰۰ درجه
تعداد=۳	تعداد=۳	تعداد=۳	تعداد=۲	تعداد=۵	تعداد=۵

کتابنگاری

افتخارنژاد، ج.، قرشی، م.، مهرپرتو، م.، ارشدی، س. و زهره‌بخش، ا.، ۱۳۷۰- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ تبریز - پلدشت، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کلاگری، ع.، مؤذن، م.، مجتهدی، م. و عامری، ع.، ۱۳۸۳- بررسی کانی‌های مات (سولفیدها و اکسیدها) در کمپلکس آذرین مافیک-اولترامافیک میشو، جنوب غرب مرنند، شمال غرب ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۲، صفحات ۵۶-۶۷.

محجل، م. و حاجی‌علیلو، ب.، ۱۳۷۳- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مرنند، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

مؤید، م.، مجرد، م. و حسین‌زاده، ق.، ۱۳۸۸- برآورد دما-فشار و گزیدگی اکسیژن در گابرو-پروکسیت‌های تازه کند کلیبر، با تمرکز بر شیمی بلورها و فعالیت کانی‌ها، مجموعه مقالات هجدهمین انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.

مؤید، م. و حسین‌زاده، ق.، ۱۳۹۰- سنگ‌نگاری و سنگ‌شناسی گرانیتوئیدهای A-Type شرق کوه‌های میشو با نگرشی بر اهمیت ژئودینامیکی آن‌ها، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۹، (۳)، صفحات ۵۲۹-۵۴۴.

مؤید، م. و مؤذن، م.، ۱۳۸۱- نگرشی نو بر موقعیت خط درز پالتوتیس در ایران، فشرده مقالات ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

References

- Anderson, J. L. & Smith, D. R., 1995- The effect of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer. *American Mineralogist*. No.80, pp.549-559.
- Cox, K. G., Bell, J. D. & Pakhurst, R. J., 1979- The interpretation of igneous rock, London, Allen and Unwin, 450P.
- Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J., 1992- An introduction to the Rock Forming Minerals, England: Longman Scientific & Technical ; New York.
- Ernst, W. G. & Liu, J., 1998- Experimental phase-equilibrium study of Al-and Ti-content of calcic amphibole in MORB-a semiquantitative thermobarometer, *American Mineralogist* V. 83, P. 925-969.
- Hammarstrom, J. M. & Zen, E. A., 1986- Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer, *American Mineralogists* V.71, P. 1297-1313.
- Holland, T. J. B. & Blundy, j., 1994- Non-ideal interaction in calcic amphiboles and their bearing on amphibole- plagioclase thermometry, *Contribution to Mineralogy and Petrology* V.116, P. 433-447.
- Hollister, L. S., Grissom, G. C., Peters, E. K., Stowell, H. H. & Sisson, V. B., 1987- Confirmation of the empirical correlation of aluminum in hornblende with pressure of solidification of calcalcalin plutons, *American Mineralogist* V.72, P. 231-239.
- Johnson, M. C. & Rutherford, M. J., 1989- Experimental calibration of the aluminium-in hornblende geobarometer with application to Long Vally Caldera (California) volcanic rocks, *Geology* V.17, P.837-841.
- Leake, B. E., Woolleny, 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. A., Maresch, W. V., Nickel, E. H., Rock, N. M. S., Schumacher, J. C., Smith, D. C., Stephenson, N. C. N., Ungaretti, L., Whittaker, E. J. W. & Youzhi, G., 1997- Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names. *American Mineralogist* V.82, P. 1019-1037.
- Morimoto, N., 1989- Nomenclature of pyroxenes, *Canadian Mineralogist* V.27, P. 143-156.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental Lithosphere in magma genesis at active continental margins In: Hawkesworth, C.J, Norry, M.J., (eds) continental Basalts and mantle xenoliths, Nantwich UK Shira P.230-249.
- Pearce, J. A. & Cann, J. R., 1983- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses, *Earth planet Sci Lett* V.19, P. 290-300.
- Rickwood, P. C., 1989- Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements, *Lithos* V.22, P.247-363.
- Streckeisen, A., 1976- To each plutonic rock its proper name, *Earth Sciences Review* P.12:1-33.
- Wood, B. J. & Banno, S., 1973- Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems., *Contributions to Mineralogy and Petrology* V.42, P. 109-124.

Mineral Chemistry and Thermo-Barometry of Misho Mafic Complex, Southwestern of Marand Town, East Azarbaijan Province

M. Ghorbani ^{1*} & M. R. Hosseinzadeh ²

¹ M.Sc., Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 2012 July 09

Accepted: 2012 October 21

Abstract

The mafic-ultramafic complex of Misho is exposed in the northwestern part of Iran, in the East Azarbaijan province (southwest of Marand). This complex intruded in the older rock units including the Kahar formation and resulted in developing of contact metamorphic rocks. Compositionally, the mafic portion is gabbro, troctolite and olivine-gabbro; and the ultramafics are harzburgite to lherzolite. The EPMA analyses of main minerals in mafic rocks (gabbro) show that plagioclases are anorthite to bytownite, Olivines are mainly chrysolite, orthopyroxenes have enstatitic composition, clinopyroxenes are diopsidic and amphiboles are tschermakite, to tschermakitic hornblende. Geothermobarometry of gabbros based on various methods (Al_2O_3 and TiO_2 in amphibole, plagioclase - amphibole and orthopyroxene - clinopyroxene) yield 700- 900°C in pressure of 7-8 kbar.

Keywords: Mafic – ultramafic rocks, Mineral-chemistry, Thermo-barometry, Misho, Marand.

For Persian Version see pages 225 to 234

*Corresponding author: M. Ghorbani; E-mail: gorbani.mahsa@yahoo.com