



سنگ‌نگاری، زمین شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی کلینوپیروکسن و آمفیبول در سنگ‌های قلیایی بازیک قاعده سازند شمشک، جنوب آزادشهر، البرز شرقی

شیرین شهابی^{۱*}، حبیب‌ا... قاسمی^۱، مهدی رضائی کهخانی^۱، ژای مینگو^۲

۱- گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- مؤسسه زمین‌شناسی و زمین‌فیزیک آکادمی علوم چین، پکن، چین

(دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۱۴، نسخه نهایی: ۹۹/۴/۷)

چکیده: در منطقه جنوب آزادشهر، در قاعده توالی‌های سازند شمشک، وجود دو رخنمون متفاوت از سنگ‌های آذرین بازیک به صورت توده‌های الیوین‌گابرویی و دایک‌های دیوریتی قلیایی پگماتوئیدی نمایان است. کانی‌های سازنده الیوین‌گابروها شامل الیوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز هستند و دیوریت‌های قلیایی نیز از آمفیبول‌های درشت بلور و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. زمین شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر این نمونه‌ها نشان دهنده ماهیت قلیایی ماگمای سازنده و برخاستن این ماگما از یک خاستگاه گوشته‌ای مشابه با خاستگاه نوع بازالت جزایر اقیانوسی (OIB) است. ترکیب شیمیایی کانی‌های الیوین و پلاژیوکلاز در الیوین‌گابروها به ترتیب کریزولیت و لابرادوریت است. کلینوپیروکسن‌های الیوین‌گابروها از نوع دیوپسید-اوژیت با ماهیت قلیایی و غیرکوهزایی هستند و در فشار حدود ۲ تا ۱۱ کیلوبار، دمای ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند. آمفیبول-های دیوریت‌های قلیایی نیز با ترکیب کرسوتیت-مگنزیوهایستینگزیت (کلسیمی) از نوع آذرین مشخص شده‌اند و دارای خاستگاه گوشته‌ای هستند. دما و فشار تبلور آمفیبول‌ها، ۹۵۰ درجه سانتیگراد و در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷ کیلوبار) تعیین شده‌است. پلاژیوکلازهای دیوریت‌های قلیایی دارای ترکیب آلبیتی دارند.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های قلیایی بازیک؛ سازند شمشک؛ شیمی کانی کلینوپیروکسن و آمفیبول؛ آزادشهر؛ البرز شرقی.

مقدمه

پیشین که شهادی بر دو رویداد سیمین پیشین و میانی هستند، در رشته کوه‌های البرز، قطعه ایران مرکزی و پهنه کپه داغ به نام سازند شمشک شناخته می‌شوند. این سازند دربردارنده رسوب‌های آواری قاره‌ای ذغال‌داری است که در یک حوضه پیش‌خشکی (foreland) نهشته شده‌است [۹]. سازند شمشک به‌ویژه در پهنه البرز در بخش‌های زیرین خود، میزبان فعالیت‌های ماگمایی مافیک بوده است که به اعتقاد بسیاری از پژوهشگران، برآمده از حرکت‌های کششی پس از فازهای فشارشی تریاس میانی هستند [۱۰]. از جمله این فعالیت‌های ماگمایی می‌توان به توده‌های گابرویی ترالیتی و تشنیتی کمرین (البرز مرکزی) در اواخر تریاس [۱۱، ۱۲]، سنگ‌های آذرین بازیک ژوراسیک پیشین-میانی در پهنه البرز شرقی، شمال

پهنه ساختاری البرز در مرز جنوبی دریای خزر و شمال قطعه ایران مرکزی واقع‌است و با روند شرقی-غربی از نواحی قفقاز کوچک تا افغانستان گسترش دارد [۱] و به عنوان بخشی از سرزمین‌های گندوانایی، پس از باز شدن اقیانوس نفوتتیس به سمت قطعه اوراسیا جابجا شده و با آن برخورد نموده‌است [۲، ۳]. این پهنه به عنوان یک نوار چندکوهزادی دستخوش رویدادهای زمین‌ساختی جهانی سیمین و آلی شده است [۴]. اساسی ترین بخش این رویدادهای متناوب از کوهزاد اتوسیمین آغاز شده [۵-۷] و تا فازهای انتقالی- فشارشی درون قاره‌ای ترشیری پسین-کواترنری ادامه یافته‌است [۸]. توالی‌های شیلی و ماسه سنگی با سن تریاس پسین-ژوراسیک

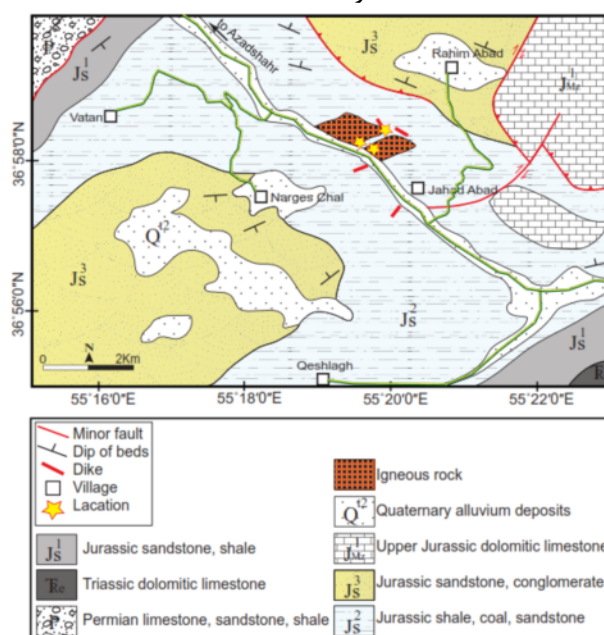
شرق شاهرود تا شمال غرب دامغان [۱۳-۱۶] اشاره نمود.

سنگ‌های آذرین موجود در سازند شمشک در جنوب آزادشهر، بر پایه داده‌های نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گرگان [۱۷] تنها به صورت روانه‌های بازالتی و یا بر اساس بررسی‌های سایر پژوهشگران [۱۳-۱۹]، به صورت گدازه‌های بازالتی و دو آذرین لایه بزرگ جدایش یافته با ترکیب گابرویی، دیوریتی، مونزودیوریتی و مونزونیتی گزارش شده‌اند. با این وجود، براساس بررسی‌های صحرایی این پژوهش، افزون بر سنگ‌های یاد شده، رخنمون‌هایی از سنگ‌های مافیک با ترکیب دیوریتی قلیایی به شکل دایک و الیون‌گابرویی به صورت توده‌ی نفوذی کوچک نیز دیده می‌شود. تاکنون، بررسی ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی روانه‌های بازالتی و آذرین لایه‌های جدایش یافته یاد شده تنها بر اساس تجزیه‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌کل بوده و هیچ پژوهشی در مورد سنگ‌نگاری، شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی دیوریت‌های قلیایی و الیون‌گابروها انجام نشده است، از این رو در این پژوهش، با در نظر گرفتن داده‌های پیشین و با تکیه بر نتایج جدید شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی‌های الیون، کلینوپروکسن، آمفیبول و پلاژیوکلاز، ماهیت کلی این سنگ‌ها، کانی‌های تشکیل دهنده و شرایط فیزیکو-شیمیایی تبلور آنها بررسی شد.

زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد بررسی در کنار روستای نرگس چال، در ۲۰ کیلومتری جنوب آزادشهر از توابع استان گلستان، در گستره طول‌های جغرافیایی شرقی $55^{\circ} 22' 00''$ - $55^{\circ} 16' 00''$ و

عرض‌های جغرافیایی شمالی $36^{\circ} 59' 00''$ - $36^{\circ} 56' 00''$ قرار دارد و برپایه تقسیم‌بندی‌های ساختاری و چین‌نگاری ایران [۲۰،۱]، در بخش شرقی پهنه البرز واقع است. زمین ریخت کلی این منطقه، از نظر ساختاری به صورت یک ناودیس بزرگ با راستای شمال شرق-جنوب غرب است که نام ناودیس نرگس چال شناخته می‌شود [۲۱]. قدیمی‌ترین سنگ‌های رسوبی قابل دیده در منطقه مورد بررسی به ترتیب شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آهکی، ماسه سنگی و شیلی دوره پرمین بوده (واحد P) و پس از آن، تناوبی از آهک‌های دولومیتی نازک لایه و ضخیم لایه به سن تریاس (واحد Tre) هستند که در دو طرف ناودیس قرار دارند (شکل ۱). از نظر چین‌نگاری، شناخته‌شده‌ترین توالی رسوبی منطقه شامل لایه-های شیل و ماسه سنگ ذغال‌دار شمشک به سن ژوراسیک هستند که در بخش میانی ناودیس واقع بوده و شامل واحدهای سنگی J_s^1 (تناوب ماسه سنگ و شیل سیاه)، J_s^2 (شیل، شیل ذغال‌دار و ماسه سنگ)، J_s^3 (ماسه سنگ و کنگلومرای ریزدانه) و J_{Mz}^1 (آهک‌های دولومیتی آذرین لایه‌یسی شده ضخیم لایه و آهک) هستند. جوان‌ترین توالی‌های دیده شده در این منطقه نیز دربردارنده رسوب‌های آبرفتی کواترنری (واحد Q^{12}) هستند که اغلب دره‌ها و مسیر رودخانه‌ها را پوشانده‌اند. سنگ‌های آذرین مورد بررسی به شکل دایک‌هایی با ضخامت ۳ تا ۵ متر و توده‌های نفوذی کوچک در واحد J_s^2 سازند شمشک نفوذ کرده-اند (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه جنوب آزادشهر و جایگاه نمونه‌های برداشت شده، برگرفته از مراجع [۱۷،۲۱] با تغییرات.

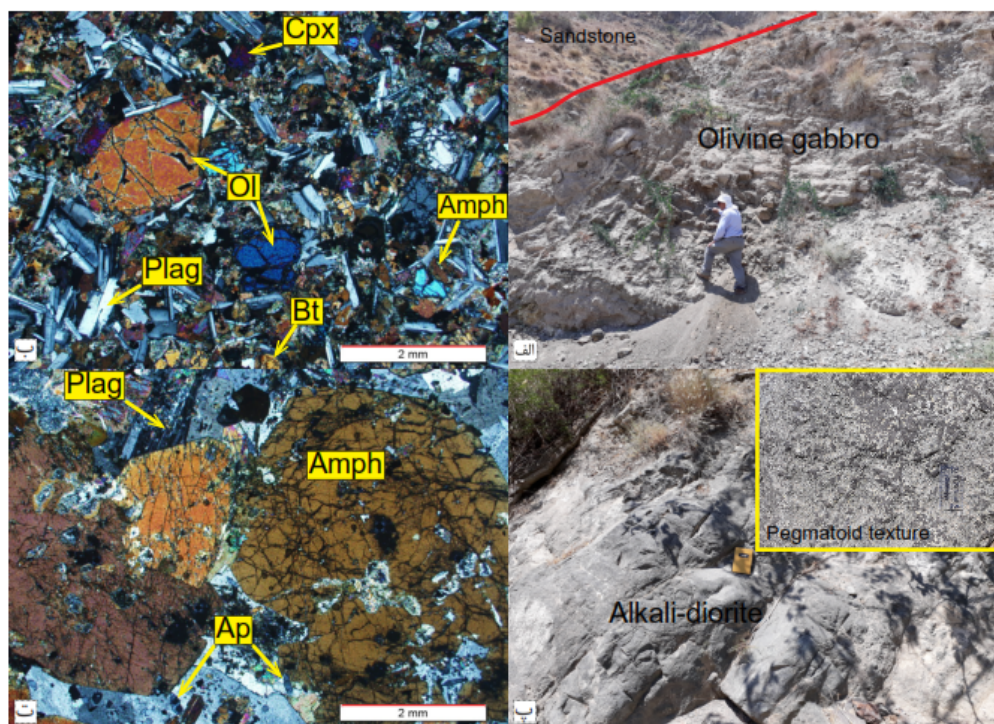
روابط صحرایی و سنگ‌نگاری

چنان که اشاره شد، بر اساس پیمایش‌ها و مشاهدات صحرایی دقیق در این پژوهش، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه‌های گابرویی، وجود دو رخمون متفاوت از مجموعه سنگ‌های مافیک به صورت توده‌های کوچک الیوین‌گابرویی و دایک‌های دیوریتی قلیایی آشکار شد. گروه نخست سنگ‌های مافیک این منطقه، الیوین‌گابروها هستند که به صورت توده‌های کوچک با سیمای تیره رنگ و گاهی با سطوح فرسایشی به نسبت کروی شکل (فرسایش پوست پیزی) در توالی‌های شیل و ماسه سنگی سازند شمشک برونزد دارند (شکل ۲ الف). گروه دوم شامل دایک‌های دیوریتی قلیایی با ضخامتی حدود ۳ الی ۵ متر و درازای بیش از ۱۰ متر با راستای شمال-شمال غربی هستند که به صورت تقریباً عمودی و مایل نسبت به لایه‌های سازند شمشک قرار دارند. این سنگ‌ها به علت وجود کانی‌های سنگ ساز مافیک تیره چون آمفیبول‌های درشت بلور که حالت پگماتوئیدی نشان می‌دهند، دارای سیمای تیره رنگ بوده و نسبت به میزبان خود به خوبی قابل تمایز هستند. بافت پگماتوئیدی موجود در این دایک‌ها در تصویر ۲-پ قابل دیده است. شواهد لبه انجماد سریع و اثر دمایی ناشی از نفوذ سنگ-های مافیک در سنگ میزبان، در هر دو گروه سنگی یعنی الیوین‌گابروها و دیوریت‌های قلیایی دیده می‌شود.

الیوین‌گابروها به شکل توده‌های نفوذی کوچک با ترکیب کانی شناسی یکنواخت در سازند شمشک نفوذ کرده‌اند. اندازه کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها در مرکز توده، درشت تر بوده و در لبه به علت سریع‌تر سرد شدن به صورت ریزبلور است. کانی‌های اصلی تشکیل دهنده الیوین‌گابروها شامل پلاژیوکلاز (۳۰ تا ۴۰ درصد)، کلینوپیروکسن (۲۰ تا ۳۰ درصد) و الیوین (۱۰ تا ۲۰ درصد)، آمفیبول‌ها حدود ۱۰ درصد و بیوتیت‌ها حدود ۵ درصد هستند. کانی‌های مگنتیت و آپاتیت نیز به عنوان کانی‌های فرعی آن‌ها شناخته می‌شوند. بافت‌های غالب دیده شده در این گروه از سنگ‌های مافیک انباشتی و در برخی موارد آفیتیک و ساب‌آفیتیک هستند. الیوین‌ها اغلب شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با اندازه ۰/۱ تا ۲ میلیمتر هستند و کلینوپیروکسن‌ها نیز به صورت نیمه شکل‌دار

تا بی شکل با اندازه ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر دیده می‌شوند. اندازه پلاژیوکلازها در نمونه‌های ریزبلور تا ۰/۲ میلیمتر و در نمونه‌های درشت بلورتر گاهی به ۲ تا ۳ میلیمتر نیز می‌رسد. بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی شکل پلاژیوکلاز اغلب همراه با ماکل چندریخت دیده می‌شوند. بر اساس مشاهدات سنگ-نگاری چون روابط کانی‌ها، بافت و اندازه بلورها، کلینوپیروکسن‌ها و الیوین‌ها فازهای اولیه را تشکیل می‌دهند و پس از آنها پلاژیوکلازها شکل گرفته‌اند. برخی از بلورهای درشت پلاژیوکلاز، بلورهای الیوین و کلینوپیروکسن را به شکل بافت پوکیلیتیک احاطه نموده‌اند. آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها نیز به صورت نیمه شکل‌دار تا بی شکل، برآمده از فرایند تبلور تاخیری در حضور سیال‌های آبگین مراحل نهایی تبلور هستند. همچنین در برخی نمونه‌ها، اورالیتی شدن کلینوپیروکسن‌ها، سریسیتی شدن پلاژیوکلازها و تبدیل آمفیبول‌ها و بیوتیت‌ها به کلریت نیز دیده می‌شود (شکل ۲ ب).

دیوریت قلیایی به گونه‌ای از دیوریت‌ها گفته می‌شود که در کانی شناسی خود دارای یک کانی قلیایی تیره رنگ مانند آمفیبول کرسوتیتی و یا آمفیبول نوع بارکوکیت ویژه در پگماتیت‌ها باشند. دیوریت‌های قلیایی این منطقه اغلب به صورت دایک‌های تقریباً عمود بر لایه‌ها با ضخامت ۳ تا ۵ متر رخمون دارند. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها شامل ۴۰ تا ۵۰ درصد آمفیبول، ۳۰ تا ۴۰ درصد پلاژیوکلاز و حدود ۵ تا ۱۰ درصد آپاتیت هستند. کانی کوارتز نیز گاهی به صورت ریزبلور دیده می‌شود. تبلور آمفیبول‌های قهوه‌ای رنگ و نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار با اندازه ۲ تا ۱۰ میلیمتر و یا بزرگتر با تراکم بالا در این سنگ‌ها منجر به ایجاد بافت دانه‌ای و پگماتوئیدی شده‌است. بلورهای پلاژیوکلاز بیشتر به صورت بی شکل تا نیمه شکل‌دار با اندازه ۰/۵ تا ۱ میلیمتر، همراه با ماکل چندریخت ظاهر شده و تا حدی در معرض دگرسانی سریسیتی قرار گرفته‌اند. گاهی آمفیبول‌ها در بخش‌هایی از رخ‌ها و یا محل شکستگی‌ها به کلریت و یا بیوتیت تبدیل شده‌اند (شکل ۲-ت). بلورهای آپاتیت نیز به صورت شکل‌دار با اندازه ۰/۱ تا ۱ میلیمتر و گاهی با مقطع عرضی شش ضلعی تبلور یافته‌اند.



شکل ۲ تصاویر صحرایی از حضور سنگ‌های آذرین مافیک در سازند شمشک در منطقه جنوب آزادشهر به همراه تصاویر میکروسکوپی آنها. الف- رخنمون توده‌ی کوچک الیوین‌گابروی در میان توالی ماسه سنگی شمشک، ب- الیوین‌گابرو و حضور بلورهای پلاژیوکلاز، الیوین، کلینوپیروکسن، آمفیبول و بیوتیت در آن، پ- دایک دیوریتی قلیایی به همراه نمای نزدیک از سیمای بافت پگماتوئیدی آمفیبول‌ها و ت- بلورهای درشت آمفیبول در نمونه دیوریتی قلیایی. (نشانه‌های اختصاری شامل: Amph: آمفیبول، Plag: پلاژیوکلاز، CPX: کلینوپیروکسن، Ol: الیوین، Bt: بیوتیت و Ap: آپاتیت هستند).

IGGCAS با استفاده از ریزپردازشگر الکترونی CAMECA SXFive انجام شد.

بحث

زمین‌شیمی عناصر اصلی و کمیاب

مقدار تمرکز عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده‌اند. بررسی‌های سنگ‌نگاری و مقدار مواد فرار (LOI) سنگ‌های مافیک منطقه جنوب آزادشهر (۱۳۴ تا ۳۹۱ درصد وزنی) نشان می‌دهد که مقدار دگرسانی در مقاطع نازک نیز کم تا متوسط است. درصد وزنی SiO_2 نمونه‌ها از ۴۱/۸۶ تا ۵۰/۱۱ در تغییر بوده و در نمودار رده‌بندی سنگ‌های آذرین TAS، یعنی مجموع قلیایی‌ها $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ نسبت به SiO_2 [۲۲]، تقریباً همه نمونه‌ها در بالای منحنی تفکیک‌کننده سری‌های قلیایی و در میدان‌های پریدوگابرو، گابرو و فوئیدگابرو قرار دارند (شکل ۳ الف). همچنین در نمودار تقسیم‌بندی سنگ‌ها براساس مقدار Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۲۳]، نمونه‌های جنوب آزادشهر در میدان گابروهای قلیایی واقع هستند (شکل ۳ ب). نمونه‌های

روش بررسی

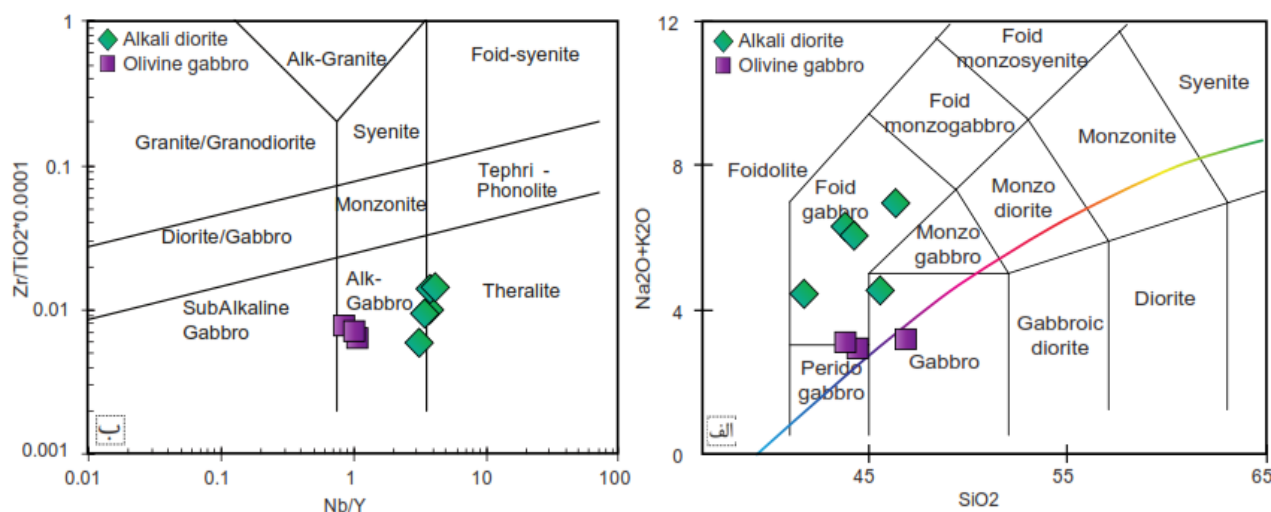
طی بررسی‌های زمین‌شناسی منطقه جنوب آزادشهر و توالی‌های رسوبی موجود در آن، تعداد ۱۶ نمونه سنگی از مجموعه سنگ‌های آذرین مافیک رخنمون یافته در سازند شمشک برداشت شد. پس از بررسی‌های سنگ‌نگاری، تعداد ۸ نمونه با کمترین دگرسانی برای انجام تجزیه‌های زمین‌شیمی سنگ‌کل و شیمی کانی انتخاب شدند. این نمونه‌ها شامل ۵ نمونه دیوریت قلیایی و ۳ نمونه الیوین‌گابرو هستند. مقدار تمرکز عناصر اصلی موجود در این نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی x (XRF) توسط دستگاه AXIOS و عناصر خاکی نادر و کمیاب به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) با دستگاه finnigan Mat Element در آزمایشگاه بنیاد زمین‌شناسی و زمین‌فیزیک انجمن علوم چین، IGGCAS در پکن تجزیه شدند. پس از تهیه مقاطع نازک-صیقلی از دو نمونه دیوریت قلیایی و سه نمونه الیوین‌گابرو، تجزیه شیمی کانی‌های آنها برای ۹۰ نقطه از جمله الیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول در آزمایشگاه

دیوریتی‌های قلیایی به علت بالا بودن مقدار Nb، کمی به سمت گستره سنگ‌های زیر اشباع از آذرین لایه‌س (ترالیت) مایل شده‌اند. مقدار عدد منیزیم بالا در سنگ‌های مافیک ($Mg\#$) بین ۶۸ تا ۷۵) نشان دهنده ناشی شدن آنها از یک ماگمای اولیه است [۲۴]. میانگین مقدار $Mg\#$ در الیون‌گابروها و

دیوریتی‌های قلیایی به علت بالا بودن مقدار Nb، کمی به سمت گستره سنگ‌های زیر اشباع از آذرین لایه‌س (ترالیت) مایل شده‌اند. مقدار عدد منیزیم بالا در سنگ‌های مافیک ($Mg\#$) بین ۶۸ تا ۷۵) نشان دهنده ناشی شدن آنها از یک ماگمای اولیه است [۲۴]. میانگین مقدار $Mg\#$ در الیون‌گابروها و

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمی سنگ‌کل عناصر اصلی (درصد وزنی) و کمیاب (ppm) برای نمونه‌های مافیک جنوب آزادشهر.

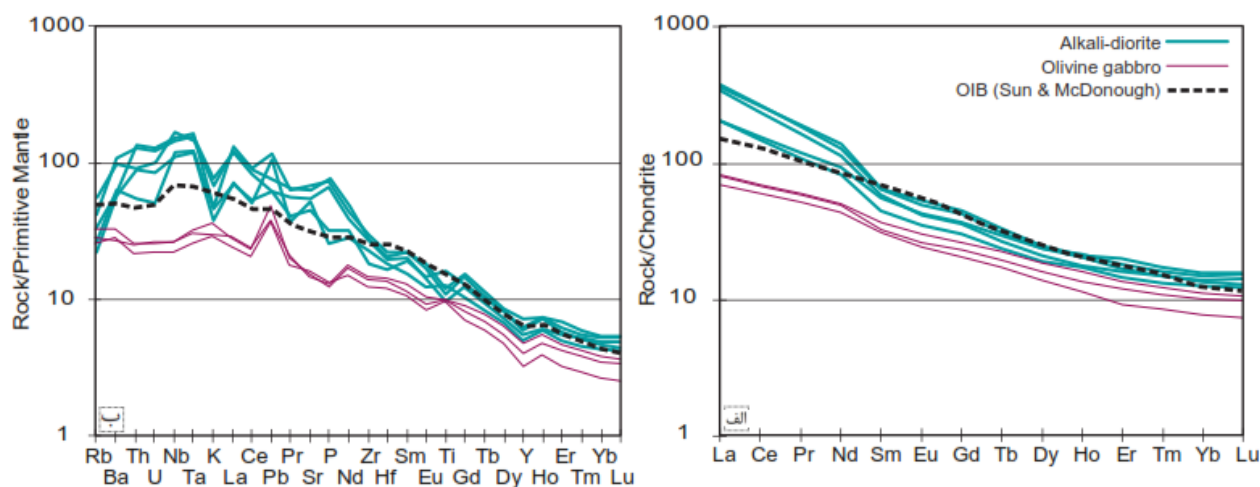
Sample	Q-4	Q-5	Q-7	Q-8	Z-8	Q-12	Q-14	Q-15
Type	Alkali-diorite	"	"	"	"	Olivine gabbro	"	"
SiO ₂	۲۵۴۴	۸۶۴۱	۴۹۴۵	۳۱۴۶	۷۵۴۳	۹۱۴۶	۴۹۴۴	۹۱۴۳
TiO ₂	۳۹۲	۵۱۳	۷۶۲	۱۲۲	۶۲۲	۱۱۲	۱۳۲	۰۹۲
Al ₂ O ₃	۶۷۱۶	۹۱۱۳	۴۳۱۴	۲۹۱۷	۴۷۱۶	۴۴۱۱	۹۹۹	۹۳۱۰
Fe ₂ O ₃ T	۷۹۱۰	۹۴۱۱	۸۲۱۰	۳۶۱۱	۷۸۱۱	۰۳۱۳	۱۸۱۴	۵۲۱۴
MnO	۲۰	۱۶۰	۱۷۰	۱۷۰	۱۴۰	۱۷۰	۱۸۰	۱۷۰
MgO	۹۳۳	۵۲۹	۹	۸۲۳	۷۹۴	۳۶۱۲	۶۹۱۵	۴۶۱۳
CaO	۰۵۱۰	۷۳۱۰	۹۸۹	۲۶۷	۹۶۸	۷۱۸	۱۲۸	۲۸۸
Na ₂ O	۵۷۴	۹۹۲	۴۳۳	۶۵۴	۲۵۴	۲۹۲	۸۶۱	۲۵۲
K ₂ O	۴۴۱	۴۲۱	۱۶۱	۲۳۲	۰۷۲	۸۹۰	۰۸۱	۸۶۰
P ₂ O ₅	۶۱	۷۰	۵۷۰	۴۵۱	۶۹۱	۲۸۰	۲۷۰	۲۸۰
LOI	۶۲۳	۵۶۱	۵۲۱	۵۶۲	۳	۳۴۱	۳۶۱	۳۴۳
TOTAL	۵۹۹	۳۹۸	۳۲۹۹	۳۱۹۹	۵۷۹۹	۴۲۹۹	۳۵۹۹	۰۸۱۰۰
Be	۲۴۲	۴۶۱	۹۳۱	۴۶۲	۳	۹۵۰	۹۵۰	۸۲۰
Sc	۶۲۷	۵۲۳۰	۶۷۲۶	۰۷۷	۱۰	۹۳۲۵	۲۷۲۴	۷۵۱۹
V	۸۱۸۶	۴۳۳۰۷	۴۴۲۲۲	۳۱۵۰	۲۳۵	۲۶۳۱۰	۵۶۱۹۹	۵۳۱۲۴
Cr	۵۹۳	۴۵۳۲۶	۲۳۳۴۸	۴۸۲۲	۰۵۴۱	۰۶۵۸۵	۶۷۵۹۹	۲۶۵۲۴
Co	۰۶۲۶	۵۱۴۶	۸۷۳۹	۸۷۲۲	۳۳	۰۹۵۸	۲۱۶۹	۹۶۶۴
Ni	۳۱۱۴	۲۸۱۶۱	۷۲۱۵۱	۱۶۱۹	۲۰	۸۴۳۷۱	۲۵۴۶۸	۵۳۴۳۶
Ga	۸۴۲۲	۷۶۱۷	۱۲۱۷	۹۳۲۰	۵۲۱	۵۹۱۶	۶۱۱۳	۸۶۱۳
Rb	۵۸۲۱	۸۹۱۶	۰۹۱۴	۷۹۲۶	۴۳۵	۷۷۱۷	۴۱۲۰	۳۱۶
Sr	۵۹۱۴۶۸	۴۷۹۶۱	۲۴۱۱۰۹	۳۵۱۱۸۳	۹۱۳۳۱	۵۴۳۰۸	۱۳۳۱۸	۳۶۳۳۵
Y	۸۶۲۸	۲۳۱۲۷	۰۷۲۳	۴۲۲۵	۲۳۳	۴۲۲۱	۲۲۱۸	۶۲۱۴
Zr	۷۶۳۳۷	۰۵۲۰۷	۰۷۲۵۸	۷۳۲۰۵	۸۳۰۸	۶۱۱۶۲	۳۵۱۵۳	۸۹۱۳۵
Nb	۶۹۱۰۹	۷۳۸۵	۳۵۸۰	۸۴۱۰۳	۶۱۲۰	۳۱۱۸	۶۲۱۸	۵۱۵
Cs	۶۶۰	۵۸۰	۵۴۰	۶۱۰	۸۰	۳۸۰	۶۶۰	۵۳۰
Ba	۸۴۳۰	۱۹۴۵۱	۲۹۴۰۷	۲۹۷۶۳	۶۷۹	۰۵۱۸۶	۳۴۲۲۸	۵۸۱۹۷
La	۷۹۰	۴۵۰۴۸	۴۳۴۹	۳۱۸۲	۸۸۴	۵۲۱۹	۰۳۱۹	۴۸۱۶
Ce	۲۷۱۶۴	۰۲۹۷	۸۸۹۱	۴۱۱۴۷	۱۱۵۸	۷۸۴۱	۸۲۴۰	۲۱۲۶
Pr	۷۶۱۷	۵۱۱	۴۶۱۰	۷۲۱۵	۰۳۱۸	۷۱۵	۵۳۵	۸۳۴
Nd	۶۸۶۰	۷۴۴۳	۳۱۳۹	۵۱۵۳	۸۶۴	۵۸۲۳	۶۵۲۲	۲۲۲۰
Sm	۰۱۱۰	۵۸۸	۹۷۶	۱۳۹	۹۵۹	۶۶۵	۰۱۵	۷۲۴
Eu	۹۲	۵۱۲	۰۸۲	۴۳۲	۰۹۳	۷۴۱	۵۲۱	۴۱
Gd	۹۱۰۸	۷۴۷	۳۲۶	۴۳۷	۲۳۹	۳۲۵	۷۷۴	۱۹۴
Tb	۱۷۱	۱۲۱	۹۱۰	۰۲۱	۲۵۱	۸۴۰	۷۳۰	۶۴۰
Dy	۱۶۶	۱۳۶	۹۶۴	۳۹۵	۳۴۶	۷۴	۰۶۴	۴۷۳
Ho	۲۳۱	۱۹۱	۹۹۰	۰۱۱	۲۱۱	۹۰	۷۷۰	۶۴۰
Er	۰۵۳	۸۳۲	۴۶۲	۷۱۲	۳۲۳	۲۳۲	۹۸۱	۵۲۱
Tm	۴۲۰	۳۹۰	۳۴۰	۳۹۰	۴۴۰	۳۱۰	۲۸۰	۳۱۰
Yb	۶۱۲	۳۴۲	۱۶۲	۴۲۲	۶۷۲	۸۸۱	۷۱۱	۳۱
Lu	۴۰	۳۳۰	۳۲۰	۳۶۰	۴۰	۲۷۰	۲۵۰	۱۹۰
Hf	۸۷۶	۲۱۵	۶۷۵	۲۱۶	۳۶	۳۶۴	۱۱۴	۶۷۳
Ta	۸۱۶	۰۵۵	۹۳۴	۴۳۶	۹۵	۲۲۱	۳۱	۰۵۱
Pb	۳۸	۴۷۴	۶۶۷	۴۱۴	-	۶۹۲	۳۷۳	۶۲۲
Th	۵۸۱۱	۶۹۴	۶۴۷	۹۹۱۰	۸۷	۰۸۲	۱۵۲	۸۴۱
U	۷۲	۰۸۱	۷۹۱	۶۳۲	۱۲	۵۵۰	۵۴۰	۴۶۰
Mg#	۹۴۵	۶۵	۶۶	۹۴۳	۶۵۴۸	۷۶۸	۱/۷۲	۴۶۸
La(n)/Yb	۸۹۲۴	۸۵۱۴	۳۹۱۶	۴۱۲۴	۷۸۲۲	۴۴۷	۸	۰۹۹



شکل ۳ موقعیت نمونه‌های آذرین منطقه جنوب آزادشهر در نمودارهای رده‌بندی سنگ‌های آذرین. الف- $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ نسبت به SiO_2 [۲۲] و ب- Zr/TiO_2 نسبت به Nb/Y [۲۳].

چندعنصری بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) هستند. به طور کلی، دیوریت‌های قلیایی دارای بیشترین فراوانی کلی REE هستند. این امر با کمتر بودن عدد منیزیم در دیوریت-های قلیایی نسبت به الیون‌گابروها همخوانی دارد و تأییدی بر طبیعت جدایش یافته تر آنهاست. فراوانی عناصر Nb, P, Ti و Ta و به طور کلی عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) در همه نمونه‌های منطقه جنوب آزادشهر تا چند ده برابر نسبت به مقادیر گوشته اولیه می‌تواند نشان دهنده ماهیت قلیایی و غنی شده ماگمای سازنده این سنگ‌ها باشد.

نمودارهای فراوانی عناصر خاکی نادر (REE) بهنجار شده نسبت به کندریت و گوشته اولیه [۲۵] در شکل ۴ نشان داده شده‌اند. بر اساس نمودار REE بهنجار شده نسبت به کندریت، الگوی فراوانی این عناصر در همه نمونه‌ها با غنی‌شدگی از عناصر خاکی نادر سبک نسبت به عناصر متوسط و سنگین و بدون ناهنجاری منفی در Eu مشخص می‌شود، به طوری‌که میانگین نسبت $\text{La}_{(n)}/\text{Yb}_{(n)}$ در دیوریت‌های قلیایی و الیون-گابروها به ترتیب برابر با ۲۰/۶۶ و ۸/۱۸ است. چنانکه در شکل ۴ نیز دیده می‌شود، دیوریت‌های قلیایی و الیون‌گابروهای مورد بررسی دارای الگوهایی مشابه با الگوی عناصر خاکی نادر و



شکل ۴ الف- نمودار عناصر خاکی نادر بهنجار شده نسبت به کندریت برای نمونه‌های مافیک جنوب آزادشهر [۲۵] و ب- نمودار چندعنصری عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه [۲۵]. الگوی شاخص بازالت‌های جزایر اقیانوسی (OIB) برای مقایسه رسم شده‌اند [۲۵].

شیمی کانی

برای دستیابی به ترکیب شیمیایی کانی‌های الیون، کلینوپروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول، نمونه‌های سالم و دگرسان نشده این کانی‌ها انتخاب و به روش ریزپردازشگر

الکترونی (EPMA) تجزیه نقطه‌ای شدند. نتایج اکسیدهای عناصر اصلی از کانی‌های نمونه‌های دیوریت قلیایی و الیون-گابرو و کاتیون‌های محاسبه شده آنها (برحسب a.p.f.u) در جدول های ۲-۵ آورده شده‌اند.

جدول ۲ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی پلاژیوکلاز در الیون‌گابروها و دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMPLE	Q-5-1	Q-5-2	Q-5-3	Q-5-4	Q-5-5	Q-12-1	Q-12-2	Q-12-3	Q-12-4	Q-12-5	Q-12-6	Q-12-7	Q-12-8
SiO ₂	۵۸.۶۸	۱۲.۶۸	۰.۵۶۸	۸۷.۶۷	۳۶.۶۸	۰.۴۵۲	۰.۴۵۲	۱۲.۵۳	۶۲.۵۱	۰.۱۵۳	۱۸.۵۲	۲۸.۵۲	۴۱.۵۲
TiO ₂	.	.	.	.	.	۱۱.۰	۰.۹۰	۰.۶۰	۰.۹۰	۱.۰	۰.۷۰	۰.۹۰	۱.۰
Al ₂ O ₃	۵۹.۱۹	۷۹.۱۹	۹.۱۹	۵۱.۱۹	۶۵.۱۹	۱۷.۳۰	۹۳.۲۹	۹۸.۲۷	۵۹.۳۰	۵۲.۲۹	۱۷.۳۰	۹۱.۲۹	۷۸.۲۹
Cr ₂ O ₃	۰.۲۰	.	.	.	.	.	.	.	۰.۱۰	.	۰.۲۰	۰.۱۰	.
FeO*	۰.۲۰	.	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۴۰	۵۹.۰	۵۸.۰	۳۲.۱	۶۱.۰	۵۲.۰	۵۲.۰	۵۷.۰	۶۲.۰
MnO	۰.۲۰	.	.	.	.	۰.۵۰	.	۰.۵۰	۰.۱۰	.	۰.۲۰	.	.
MgO	.	۰.۱۰	.	.	.	۱۶.۰	۱۳.۰	۴۷.۱	۱۷.۰	۱۱.۰	۱۸.۰	۱۲.۰	۱۱.۰
CaO	۲۴.۰	۳۳.۰	۲۴.۰	۲۶.۰	۲۵.۰	۱۷.۱۳	۸۵.۱۲	۳۸.۱۰	۴۱.۱۳	۰.۷۱۲	۷۲.۱۲	۸۹.۱۲	۶۲.۱۲
Na ₂ O	۸۱.۱۱	۶۷.۱۱	۷.۱۱	۷۲.۱۱	۸۵.۱۱	۸.۳	۰.۷۴	۶۳.۴	۷۵.۳	۳۵.۴	۱۸.۴	۰.۴۴	۱۶.۴
K ₂ O	۰.۴۰	۰.۶۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۶۰	۲۲.۰	۲۳.۰	۲۹.۰	۲.۰	۲۶.۰	۲۳.۰	۲۳.۰	۲۴.۰
NiO	۰.۱۰	.	.	.	۰.۱۰	.	.	۰.۱۰	۰.۲۰	۰.۱۰	.	.	۰.۲۰
Total	۳۲۱.۰۰	۹۷.۹۹	۹۷.۹۹	۴۴.۹۹	۳۲۱.۰۰	۳۱.۰۰	۹۳.۹۹	۱۹.۹۹	۴۷۱.۰۰	۹۴.۹۹	۲۸۱.۰۰	۱۶۱.۰۰	۰.۷۱۰۰
An	۱۱.۱	۵۴.۱	۱۱.۱	۲۱.۱	۱۶.۱	۷۱.۶۵	۵۹.۶۳	۳۳.۵۵	۴۱.۶۶	۵۴.۶۰	۷۱.۶۲	۸۱.۶۳	۶۶.۶۲
O	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۹۸۸.۲	۹۷۹.۲	۹۷۶.۲	۹۸۴.۲	۹۸۴.۲	۳۶۲.۲	۳۷.۲	۴۳۱.۲	۳۴۱.۲	۴۰.۶۲	۳۶۷.۲	۳۷۵.۲	۳۸۲.۲
Ti	.	.	.	.	.	۰.۴۰	۰.۳۰	۰.۲۰	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۳۰	۰.۴۰
Al	۰.۰۶۱	۰.۲۱	۰.۲۵۱	۰.۱۱۱	۰.۱۱۱	۶۱۴.۱	۶۰۷.۱	۵۰۹.۱	۶۳۵.۱	۵۷۹.۱	۶۱۳.۱	۶۰۱.۱	۵۹۵.۱
Cr	۰.۰۱۰	.	.	.	.	.	.	.	.	۰.۰۱۰	.	.	.
Fe*	۰.۰۱۰	.	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	۰.۰۲۰	۰.۲۲۰	۰.۲۲۰	۰.۴۷۰	۰.۲۳۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۲۰	۰.۲۴۰
Mn	۰.۰۱۰	.	.	.	.	۰.۰۲۰	.	۰.۰۲۰	.	.	۰.۰۱۰	.	.
Mg	.	۰.۰۱۰	.	.	.	۰.۱۱۰	۰.۰۹۰	۱.۰	۰.۱۱۰	۰.۰۸۰	۰.۱۲۰	۰.۰۸۰	۰.۰۸۰
Ca	۰.۱۱۰	۰.۱۵۰	۰.۱۱۰	۰.۱۲۰	۰.۱۲۰	۶۴.۰	۶۲۷.۰	۵۰۹.۰	۶۵۱.۰	۵۸۷.۰	۶۱۸.۰	۶۲۷.۰	۶۱۴.۰
Na	۹۹۸.۰	۹۸۹.۰	۹۹۲.۰	۹۹۹.۰	۰.۰۳۱	۳۳۴.۰	۳۵۹.۰	۴۱۱.۰	۳۳۰	۳۸۳.۰	۳۶۸.۰	۳۵۶.۰	۳۶۶.۰
K	۰.۰۲۰	۰.۰۳۰	۰.۰۳۰	۰.۰۳۰	۰.۰۳۰	۰.۱۳۰	۰.۱۳۰	۰.۱۷۰	۰.۱۲۰	۰.۱۵۰	۰.۱۳۰	۰.۱۳۰	۰.۱۴۰
Ni	.	.	.	.	.	.	.	.	۰.۰۱۰	.	.	.	۰.۰۱۰
Total	۰.۰۸۵	۰.۰۷۵	۰.۰۹۵	۰.۱۱۵	۰.۱۴۵	۰.۰۱۵	۰.۱۵	۰.۲۷۵	۰.۰۸۵	۵	۰.۱۴۵	۰.۰۶۵	۰.۰۷۵

ادامه جدول ۲

SAMPLE	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-14-7	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6
SiO ₂	۶۱.۵۱	۳۸.۵۱	۸.۵۵	۲۶.۵۲	۹۶.۵۲	۹۶.۵۰	۳.۵۱	۷۹.۵۱	۲۶.۵۱	۴۱.۵۱	۷۴.۵۱	۶.۵۱	۶۲.۵۱
TiO ₂	۰.۹۰	۱.۰	۰.۷۰	۱۳.۰	۰.۹۰	۱.۰	۱۴.۰	۱۱.۰	۱.۰	۱۱.۰	۱.۰	۱۲.۰	۰.۹۰
Al ₂ O ₃	۳۶.۳۰	۴۶.۳۰	۴۷.۲۸	۲۶.۳۰	۹۴.۲۹	۷۷.۳۰	۵۱.۳۰	۹۲.۲۹	۵۵.۳۰	۲۱.۳۰	۲۵.۳۰	۳۸.۳۰	۵۷.۳۰
Cr ₂ O ₃	.	.	.	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	.	.	۰.۲۰	.	.	.	.
FeO*	۵۴.۰	۶۳.۰	۳۶.۰	۴۵.۰	۵۴.۰	۶۲.۰	۵۴.۰	۶۱.۰	۵۸.۰	۵۹.۰	۵۸.۰	۵۸.۰	۶۵.۰
MnO	.	.	۰.۱۰	۰.۱۰	.	۰.۴۰	۰.۲۰	۰.۱۰	۰.۲۰	.	۰.۳۰	۰.۱۰	.
MgO	۱.۰	۱۱.۰	۰.۷۰	۰.۸۰	۰.۵۰	۱.۰	۱.۰	۱۲.۰	۱۱.۰	۱.۰	۱۱.۰	۱۳.۰	۱۱.۰
CaO	۰.۶۱۳	۰.۹۱۳	۹۹.۹	۶۲.۱۲	۱۱.۱۲	۱۶.۱۳	۲۴.۱۳	۱۵.۱۳	۲۲.۱۳	۳۹.۱۳	۲۸.۱۳	۴۵.۱۳	۴۱.۱۳
Na ₂ O	۹۸.۳	۸۷.۳	۶.۵	۱۹.۴	۵۴.۴	۸۴.۳	۶۶.۳	۱۵.۴	۹۷.۳	۹۶.۳	۹۹.۳	۸۷.۳	۰.۲۴
K ₂ O	۲.۰	۲۳.۰	۳۷.۰	۲۴.۰	۲۸.۰	۱۸.۰	۲۳.۰	۲۵.۰	۲۴.۰	۲۴.۰	۲۶.۰	۲۴.۰	۲۳.۰
NiO	.	۰.۲۰	۰.۲۰	.	.	۰.۱۰	.	.	.	۰.۲۰	۰.۱۰	.	.
Total	۹۳.۹۹	۸۹.۹۹	۷۵.۱۰۰	۲۵.۱۰۰	۵۲.۱۰۰	۷۱.۹۹	۸۴.۹۹	۰.۵۱۰۰	۱۹.۱۰۰	۰.۱۱۰۰	۳۵.۱۰۰	۳۷.۱۰۰	۷۱.۰۰
An	۴۸.۶۴	۱۳.۶۵	۶۲.۴۹	۴۴.۶۲	۵۶.۵۹	۴۵.۶۵	۶۳.۶۶	۶۵.۶۳	۹۷.۶۴	۱۶.۶۵	۷۷.۶۴	۷۳.۶۵	۷۹.۶۴
O	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
Si	۳۵۱.۲	۳۴۲.۲	۴۹۶.۲	۳۶۹.۲	۳۹۳.۲	۳۲۹.۲	۳۴۱.۲	۳۶۲	۲۳۵.۲	۲۴۵.۲	۳۵۱.۲	۳۴۴.۲	۳۳۹.۲
Ti	۰.۰۲۰	۰.۰۳۰	۰.۰۲۰	۰.۰۴۰	۰.۰۳۰	۰.۰۲۰	۰.۰۵۰	۰.۰۴۰	۰.۰۳۰	۰.۰۴۰	۰.۰۴۰	۰.۰۴۰	۰.۰۳۰
Al	۶۳.۱	۶۳۸.۱	۵۰.۱۱	۶۱۷.۱	۵۹۶.۱	۶۵۵.۱	۶۴۱.۱	۶۰۷.۱	۶۴۱	۶۲۶.۱	۶۲.۱	۶۲۷.۱	۶۳۳.۱
Cr	.	.	.	.	.	۰.۰۱۰	.	.	۰.۰۱۰	.	.	.	.
Fe*	۰.۲۱۰	۰.۲۴۰	۰.۱۳۰	۰.۱۷۰	۰.۲۰	۰.۲۱۰	۰.۲۲۰	۰.۲۱۰	۰.۲۳۰	۰.۲۲۰	۰.۲۲۰	۰.۲۲۰	۰.۲۵۰
Mn	.	.	.	۰.۰۱۰	.	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	.	۰.۰۱۰	.	۰.۰۱۰	.	.
Mg	۰.۰۷۰	۰.۰۸۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۴۰	۰.۰۷۰	۰.۰۷۰	۰.۰۸۰	۰.۰۷۰	۰.۰۷۰	۰.۰۷۰	۰.۰۹۰	۰.۰۸۰
Ca	۶۳۸.۰	۶۴۰	۴۷۹.۰	۶۱۳.۰	۵۸۶.۰	۶۴۴.۰	۶۴۷.۰	۶۴۲.۰	۶۵۰	۶۵۴.۰	۶۴۶.۰	۶۵۵.۰	۶۵۱.۰
Na	۳۵۱.۰	۳۴۲.۰	۴۸۶.۰	۳۶۹.۰	۳۹۸.۰	۳۴۰	۳۲۴.۰	۳۶۷.۰	۳۵۰	۳۵۰	۳۵۲.۰	۳۴۱.۰	۳۵۳.۰
K	۰.۱۲۰	۰.۱۳۰	۰.۲۱۰	۰.۱۴۰	۰.۱۶۰	۰.۱۰	۰.۱۳۰	۰.۱۵۰	۰.۱۴۰	۰.۱۴۰	۰.۱۵۰	۰.۱۴۰	۰.۱۳۰
Ni	.	۰.۰۱۰	۰.۰۱۰	.	.	.	.	.	.	۰.۰۱۰	.	.	.
Total	۰.۱۲۵	۰.۱۲۵	۰.۰۴۵	۰.۰۹۵	۰.۱۴۵	۰.۱۴۵	۰.۰۳۵	۰.۲۳۵	۰.۲۴۵	۰.۲۱۵	۰.۱۸۵	۰.۱۶۵	۰.۲۵۵

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه ترکیب شیمیایی (EPMA) کانی الیون در نمونه‌های الیون گابرویی جنوب آزادشهر.

SAMPLE	Q-12-1	Q-12-2	Q-12-3	Q-12-4	Q-12-5	Q-12-6	Q-12-7	Q-12-8	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3
SiO ₂	۰۷۳۹	۱۲۳۹	۳۱۳۹	۰۱۴۰	۹۷۳۸	۰۲۳۹	۹۴۳۸	۹۷۳۸	۳۲۳۸	۴۴۳۵	۶۸۳۹
TiO ₂	۰۲۰	۰۱۰	۰۲۰	۰	۰۱۰	۰۲۰	۰۱۰	۰۱۰	۰۲۰	۰۳۰	۰
Al ₂ O ₃	۰۴۰	۰۵۰	۰۵۰	۰۵۰	۰۸۰	۰۲۰	۰۴۰	۰۸۰	۰۲۰	۰۱۰	۰۵۰
Cr ₂ O ₃	۰	۰۱۰	۰۲۰	۰۴۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۱۰	۰	۰۵۰
FeO*	۸۱۸	۴۶۱۸	۷۲۱۸	۰۲۱۳	۷۵۱۷	۰۱۱۹	۰۶۱۸	۷۵۱۷	۹۹۲۲	۲۲۲۳	۵۵۱۲
MnO	۲۳۰	۱۵۰	۲۳۰	۱۴۰	۲۱۰	۲۳۰	۱۹۰	۲۱۰	۳۰	۲۲۰	۱۵۰
MgO	۹۲۴۱	۶۴۴۱	۷۵۴۱	۹۴۵	۱۳۴۲	۰۴۴۱	۲۱۴۲	۱۳۴۲	۶۳۳۷	۴۱۳۸	۶۴۴۶
CaO	۱۶۰	۱۷۰	۱۵۰	۲۲۰	۲۲۰	۱۹۰	۲۰	۲۲۰	۱۸۰	۲۰	۲۰
Na ₂ O	۰۱۰	۰۲۰	۰	۰	۰۲۰	۰۱۰	۰	۰۲۰	۰۲۰	۰	۰
K ₂ O	۰	۰	۰	۰	۰	۰۱۰	۰	۰	۰	۰	۰
NiO	۲۷۰	۲۹۰	۲۶۰	۴۰	۳۲۰	۲۶۰	۲۳۰	۳۲۰	۲۶۰	۲۷۰	۴۶۰
Total	۶۱۹۹	۹۲۹۹	۵۱۱۰۰	۸۹۹	۷۳۹۹	۸۲۹۹	۹۹۹	۷۳۹۹	۶۱۹۹	۸۹۷	۷۸۹۹
Fo	۹۷۹	۰۸۸۰	۹۷۹	۲۷۸۶	۸۸۸۰	۳۸۷۹	۶۴۸۰	۸۸۸۰	۴۷۷۴	۶۸۷۴	۸۸۸۶
O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Si	۹۹۵۰	۱	۱	۹۹۹۰	۹۹۶۰	۰۰۲۱	۹۹۵۰	۹۹۶۰	۰۰۴۱	۹۵۶۰	۹۹۰
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱۰	۰
Al	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۲۰	۰۰۱۰	۰۰۲۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۲۰	۰۰۱۰	۰	۰۰۲۰
Cr	۰	۰	۰	۰۰۱۰	۰	۰۰۱۰	۰	۰	۰	۰	۰۰۱۰
Fe*	۴۰	۳۹۵۰	۳۹۸۰	۳۷۲۰	۳۷۹۰	۴۰۸۰	۳۸۶۰	۳۷۹۰	۵۰۴۰	۵۲۴۰	۲۶۲۰
Mn	۰۰۵۰	۰۰۳۰	۰۰۵۰	۰۰۳۰	۰۰۴۰	۰۰۵۰	۰۰۴۰	۰۰۴۰	۰۰۷۰	۰۰۵۰	۰۰۳۰
Mg	۵۹۲۱	۵۸۷۱	۵۸۳۱	۷۰۹۱	۶۰۶۱	۵۷۱۱	۶۰۸۱	۶۰۶۱	۴۶۹۱	۵۴۵۱	۷۳۶۱
Ca	۰۰۴۰	۰۰۵۰	۰۰۴۰	۰۰۶۰	۰۰۶۰	۰۰۵۰	۰۰۵۰	۰۰۶۰	۰۰۵۰	۰۰۶۰	۰۰۵۰
Na	۰	۰۰۱۰	۰	۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰	۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۶۰	۰۰۶۰	۰۰۵۰	۰۰۸۰	۰۰۷۰	۰۰۵۰	۰۰۵۰	۰۰۷۰	۰۰۵۰	۰۰۶۰	۰۰۹۰
Total	۰۰۴۳	۹۹۹۲	۹۹۹۲	۳	۰۰۳۳	۹۹۸۲	۰۰۴۳	۰۰۳۳	۹۹۶۲	۰۴۳۳	۰۰۸۳

ادامه جدول ۳

SAMPLE	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6	Q-15-7
SiO ₂	۶۱۳۹	۵۱۳۹	۷۷۳۸	۸۹۳۸	۵۶۳۸	۲۴۳۸	۷۱۳۸	۰۴۳۸	۱۵۳۸	۷۳۳۸
TiO ₂	۰۱۰	۰۳۰	۰۲۰	۰	۰۱۰	۰۱۰	۰۱۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۲۰
Al ₂ O ₃	۰۵۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۳۰	۰۳۰	۰۲۰	۰۶۰	۰۳۰	۰۲۰	۰۲۰
Cr ₂ O ₃	۰۵۰	۰۴۰	۰۴۰	۰۲۰	۰۲۰	۰	۰۳۰	۰۴۰	۰	۰۳۰
FeO*	۳۴۱۳	۴۴۱۴	۷۸۱۷	۹۵۱۹	۱۸۲۲	۳۷۲۳	۹۶۲۱	۲۱۲۴	۵۵۲۳	۱۸۲۳
MnO	۱۵۰	۱۹۰	۲۵۰	۲۶۰	۲۴۰	۳۴۰	۳۰	۳۶۰	۲۹۰	۳۳۰
MgO	۴۹۴۵	۸۷۴۴	۷۷۴۱	۲۱۴۰	۶۷۳۸	۶۱۳۷	۶۵۳۸	۳۷	۴۵۳۸	۴۴۳۷
CaO	۱۵۰	۲۴۰	۱۹۰	۲۲۰	۲۳۰	۲۴۰	۲۵۰	۲۷۰	۲۵۰	۲۶۰
Na ₂ O	۰۳۰	۰۳۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۲۰	۰۱۰	۰۲۰	۰۳۰	۰۳۰	۰۱۰
K ₂ O	۰۱۰	۰۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
NiO	۴۴۰	۳۸۰	۳۲۰	۲۷۰	۲۰	۱۶۰	۳۳۰	۱۶۰	۱۴۰	۱۴۰
Total	۳۳۹۹	۷۶۹۹	۲۱۹۹	۶۱۹۹	۱۶۱۰۰	۱۰۰	۲۴۱۰۰	۱۴۱۰۰	۸۸۱۰۰	۱۵۱۰۰
Fo	۸۷۸۵	۷۱۸۴	۷۳۸۰	۲۲۷۸	۶۶۷۵	۱۵۷۴	۸۳۷۵	۱۵۷۳	۴۳۷۴	۲۲۷۴
O	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴
Si	۹۹۶۰	۹۹۵۰	۹۹۷۰	۰۰۲۱	۰۰۱۱	۰۰۱۱	۰۰۴۱	۹۹۹۰	۹۹۱۰	۰۱۱
Ti	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Al	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۲۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰
Cr	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰	۰	۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰	۰۰۱۰
Fe*	۲۸۱۰	۳۰۴۰	۳۸۲۰	۴۳۰	۴۸۲۰	۵۱۱۰	۴۷۶۰	۵۳۱۰	۵۱۱۰	۵۰۵۰
Mn	۰۰۳۰	۰۰۴۰	۰۰۵۰	۰۰۶۰	۰۰۵۰	۰۰۸۰	۰۰۷۰	۰۰۸۰	۰۰۶۰	۰۰۷۰
Mg	۷۰۶۱	۶۸۴۱	۶۰۲۱	۵۴۵۱	۴۹۷۱	۴۶۷۱	۴۹۴۱	۴۴۸۱	۴۸۹۱	۴۵۵۱
Ca	۰۰۴۰	۰۰۷۰	۰۰۵۰	۰۰۶۰	۰۰۶۰	۰۰۷۰	۰۰۷۰	۰۰۷۰	۰۰۷۰	۰۰۷۰
Na	۰۰۱۰	۰۰۲۰	۰۰۲۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰۰۱۰	۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰۰۹۰	۰۰۸۰	۰۰۷۰	۰۰۶۰	۰۰۴۰	۰۰۳۰	۰۰۵۰	۰۰۳۰	۰۰۳۰	۰۰۳۰
Total	۰۰۳۳	۰۰۵۳	۰۰۲۳	۹۹۷۲	۹۹۸۲	۹۹۹۲	۹۹۶۲	۰۰۱۳	۰۰۹۳	۹۹۲

جدول ۴ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی پیروکسن در نمونه‌های الیون گابرویی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMPLE	Q-14-1	Q-14-2	Q-14-3	Q-14-4	Q-14-5	Q-14-6	Q-14-7	Q-14-8	Q-14-9
SiO ₂	۷۵.۴۸	۶۵.۰	۱۵۱	۰.۱۴۷	۸۸.۴۶	۰.۸۴۸	۵۷.۴۷	۶۸.۴۸	۸۶.۴۶
TiO ₂	۴۱.۱	۱.۱	۹۵.۰	۰.۶۲	۱۷.۲	۵۴.۱	۸۷.۱	۴۹.۱	۱۶.۲
Al ₂ O ₃	۶۶.۵	۷۳.۳	۲۶.۳	۶۷.۶	۸۴.۶	۶۹.۵	۴۵.۶	۸۵.۵	۰.۹۷
Cr ₂ O ₃	۹۳.۰	۲۹.۰	۵۳.۰	۴۹.۰	۴۷.۰	۷۷.۰	۵۵.۰	۸۴.۰	۴۵.۰
FeO*	۸.۶	۴.۷	۷۱.۶	۴۳.۷	۵.۷	۶.۶	۴۹.۷	۷۶.۶	۷۳.۷
MnO	۱۹.۰	۲.۰	۱۶.۰	۰.۸.۰	۱۳.۰	۱۴.۰	۱۳.۰	۱۱.۰	۱.۰
NiO	۰.۳.۰	۰.۱.۰	۰.۲.۰	۰.۲.۰	۰.۲.۰	۰.۴.۰	۰.۲.۰	۰.۵.۰	۰
MgO	۳۳.۱۴	۶۱.۱۵	۹۹.۱۵	۳۳.۱۳	۳۳.۱۳	۳۱.۴	۶۸.۱۳	۳۹.۱۴	۳۸.۱۳
CaO	۳۹.۲۰	۶۷.۱۹	۲.۲۰	۷۲.۲۰	۴۹.۲۰	۴۹.۲۰	۴۲.۲۰	۰.۳.۲۰	۳.۲۰
Na ₂ O	۴۹.۰	۴۳.۰	۴۳.۰	۵۳.۰	۵۵.۰	۵۵.۰	۵۳.۰	۵.۰	۵۷.۰
K ₂ O	۰	۰	۰	۰.۱.۰	۰.۱.۰	۰.۲.۰	۰	۰	۰.۱.۰
Total	۹۴.۹۸	۰.۴.۹۹	۳۵.۹۹	۳۴.۹۸	۳۹.۹۸	۲۴.۹۸	۷۳.۹۸	۷۱.۹۸	۶۵.۹۸
Mg#	۷۹.۰	۷۹.۰	۸۱.۰	۷۶.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰	۷۹.۰
Cr#	۱.۰	۰.۵.۰	۱.۰	۰.۵.۰	۰.۴.۰	۰.۸.۰	۰.۵.۰	۰.۹.۰	۰.۴.۰
En	۴۴.۰	۴۶.۰	۴۷.۰	۴۱.۰	۴۱.۰	۴۴.۰	۴۲.۰	۴۴.۰	۴۱.۰
Fs	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۱.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۱.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰
Wo	۴۵.۰	۴۲.۰	۴۲.۰	۴۶.۰	۴۶.۰	۴۵.۰	۴۵.۰	۴۴.۰	۴۵.۰
O	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۸۹۵.۱	۸۸۶.۱	۸۹۶.۱	۷۸۱.۱	۷۷۵.۱	۸۱۵.۱	۷۹۳.۱	۸۱۴.۱	۷۷.۱
Ti	۰.۴.۰	۰.۳.۰	۰.۲۷.۰	۰.۵۹.۰	۰.۶۲.۰	۰.۴۴.۰	۰.۵۳.۰	۰.۴۲.۰	۰.۶۱.۰
AlIV	۱۷۵.۰	۱۱۳.۰	۱۰۴.۰	۲۱۹.۰	۲۲۵.۰	۱۸۵.۰	۳۰۷.۰	۱۷۶.۰	۲۳.۰
AlVI	۰.۵۵.۰	۰.۵۱.۰	۰.۳۹.۰	۰.۷۹.۰	۰.۸۱.۰	۰.۶۸.۰	۰.۷۹.۰	۰.۸۲.۰	۰.۵۵.۰
Cr	۰.۲۷.۰	۰.۰۸.۰	۰.۱۶.۰	۰.۱۵.۰	۰.۱۴.۰	۰.۲۳.۰	۰.۱۶.۰	۰.۲۵.۰	۰.۱۴.۰
Fe*	۲۱۳.۰	۲۳.۰	۲۰۸.۰	۲۳۵.۰	۲۳۷.۰	۲۰۸.۰	۲۳۶.۰	۲۱۲.۰	۲۴۴.۰
Mn	۰.۶.۰	۰.۰۶.۰	۰.۰۵.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۳.۰	۰.۰۳.۰
Mg	۸.۰	۸۶.۸.۰	۸۸۴.۰	۷۵۲.۰	۷۵۲.۰	۸۰۵.۰	۷۶۸.۰	۸۰۴.۰	۷۵۳.۰
Ca	۸۱۸.۰	۷۸۶.۰	۸۰۳.۰	۸۴۱.۰	۸۳۱.۰	۸۲۹.۰	۸۲۴.۰	۸۰۴.۰	۸۲۲.۰
Na	۰.۳۵.۰	۰.۳۱.۰	۰.۳۱.۰	۰.۳۹.۰	۰.۴۱.۰	۰.۴.۰	۰.۳۶.۰	۰.۳۶.۰	۰.۴۲.۰
K	۰	۰	۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰	۰	۰
Ni	۰.۰۱.۰	۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰	۰.۰۳.۰	۰
Total	۰.۱۴.۴	۰.۱۱.۴	۰.۱۳.۴	۰.۲۳.۴	۰.۲۳.۴	۰.۲۳.۴	۰.۲۱.۴	۰.۱.۴	۰.۲۴.۴

ادامه جدول ۴

SAMPLE	Q-12-1	Q-12-2	Q-15-1	Q-15-2	Q-15-3	Q-15-4	Q-15-5	Q-15-6
SiO ₂	۷۹.۴۸	۰.۴.۴۹	۹۸.۴۶	۵۳.۴۸	۲۲.۵۰	۷۹.۴۹	۴۲.۵۰	۵۳.۵۰
TiO ₂	۷.۱	۴۵.۱	۳.۲	۷۹.۱	۳۶.۱	۴.۱	۲۵.۱	۰.۹.۱
Al ₂ O ₃	۴۵.۵	۹۶.۴	۶۵.۶	۶۷.۵	۶۲.۳	۲۴.۴	۷۹.۳	۳.۳
Cr ₂ O ₃	۵۳.۰	۶۱.۰	۶۷.۰	۶۴.۰	۰.۵.۰	۱۹.۰	۲۹.۰	۳۸.۰
FeO*	۵۱.۷	۲۱.۷	۹۲.۷	۱۹.۷	۵۹.۷	۳۴.۷	۰.۳.۷	۶۱.۶
MnO	۱۳.۰	۱۳.۰	۱.۰	۱۴.۰	۱۵.۰	۱۵.۰	۱.۰	۱.۰
NiO	۰.۲.۰	۰.۱.۰	۰.۵.۰	۰.۳.۰	۰.۱.۰	۰.۵.۰	۰.۲.۰	۰.۲.۰
MgO	۶۹.۱۴	۶.۱۴	۰.۲.۱۳	۹۴.۱۳	۶۸.۱۴	۴۵.۱۴	۷۷.۱۴	۲۸.۱۵
CaO	۱۳۲.۰	۴۹.۲۰	۵۹.۲۱	۷۵.۲۱	۶۶.۲۱	۵۸.۲۱	۵۳.۲۱	۷۳.۲۱
Na ₂ O	۳۷.۰	۳۶.۰	۴۴.۰	۴.۰	۴۲.۰	۴۳.۰	۴۳.۰	۳۸.۰
K ₂ O	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰.۱.۰	۰
Total	۳.۹۹	۸۶.۹۸	۵۲.۹۹	۰.۶.۱۰۰	۷۵.۹۹	۶۹.۹۹	۵۵.۹۹	۴۴.۹۹
Mg#	۷۸.۰	۷۸.۰	۷۵.۰	۷۸.۰	۷۸.۰	۷۸.۰	۷۹.۰	۸.۰
Cr#	۰.۶.۰	۰.۸.۰	۰.۵.۰	۰.۷.۰	۰.۱.۰	۰.۳.۰	۰.۵.۰	۰.۷.۰
En	۴۴.۰	۴۴.۰	۳۹.۰	۴۱.۰	۴۳.۰	۴۲.۰	۴۲.۰	۴۴.۰
Fs	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۳.۰	۱۱.۰
Wo	۴۳.۰	۴۴.۰	۴۷.۰	۴۷.۰	۴۵.۰	۴۶.۰	۴۵.۰	۴۵.۰
O	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۶
Si	۸۲۲.۱	۸۳۹.۱	۷۶۸.۱	۸۰۷.۱	۸۷۲.۱	۸۵۸.۱	۸۷۷.۱	۸۸۲.۱
Ti	۰.۴۸.۰	۰.۴۱.۰	۰.۶۵.۰	۰.۵.۰	۰.۳۸.۰	۰.۴۹.۰	۰.۳۵.۰	۰.۳۱.۰
AlIV	۱۷۷.۰	۱۶۱.۰	۲۳۲.۰	۱۹۲.۰	۱۲۸.۰	۱۴۲.۰	۱۲۳.۰	۱۱۸.۰
AlVI	۰.۶۲.۰	۰.۵۹.۰	۰.۶۳.۰	۰.۵۶.۰	۰.۳۲.۰	۰.۴۵.۰	۰.۴۲.۰	۰.۲۸.۰
Cr	۰.۱۶.۰	۰.۱۸.۰	۰.۱۴.۰	۰.۱۹.۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۶.۰	۰.۰۸.۰	۰.۱۱.۰
Fe*	۲۳۵.۰	۲۲۶.۰	۲۴۹.۰	۲۲۴.۰	۲۳۷.۰	۲۲۹.۰	۲۱۹.۰	۲۰۶.۰
Mn	۰.۰۴.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۳.۰	۰.۰۴.۰	۰.۰۵.۰	۰.۰۵.۰	۰.۰۳.۰	۰.۰۳.۰
Mg	۸۱۸.۰	۸۱۶.۰	۷۳.۰	۷۷۳.۰	۸۱۶.۰	۸۰۴.۰	۸۲.۰	۸۴۹.۰
Ca	۸۰۵.۰	۸۲۳.۰	۸۷.۰	۸۶۷.۰	۸۶۵.۰	۸۶۳.۰	۸۵۹.۰	۸۶۷.۰
Na	۰.۲۶.۰	۰.۲۶.۰	۰.۳۲.۰	۰.۲۹.۰	۰.۳۱.۰	۰.۳۱.۰	۰.۲۶.۰	۰.۲۸.۰
K	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
Ni	۰.۰۱.۰	۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰	۰.۰۱.۰	۰.۰۱.۰	۰
Total	۰.۱۴.۴	۰.۱۳.۴	۰.۲۸.۴	۰.۲۳.۴	۰.۲۴.۴	۰.۲۲.۴	۰.۱۳.۴	۰.۲۲.۴

جدول ۵ نتایج تجزیه ترکیب شیمیایی کانی آمفیبول در دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر به روش EPMA.

SAMP	Q-5-1	Q-5-2	Q-5-3	Q-5-4	Q-5-5	Q-7-1	Q-7-2	Q-7-3	Q-7-4	Q-7-5	Q-7-6	Q-7-7
SiO ₂	۲۹,۳۹	۹۳,۳۸	۱۱,۳۹	۱۲,۴۰	۱۹,۴۰	۶۲,۳۹	۶۲,۳۹	۵۹,۳۹	۲۶,۳۹	۳۵,۳۹	۹,۴۰	۱۲,۴۰
TiO ₂	۵۹,۵	۱۷,۶	۲۵,۶	۴۹,۱	۳۵,۱	۷۹,۴	۲۱,۵	۲۶,۵	۵۱,۵	۵۱,۵	۵۹,۴	۲۶,۴
Al ₂ O ₃	۵۳,۱۳	۷۲,۱۳	۹۳,۱۳	۰,۴۱۲	۹۲,۱۱	۳۷,۱۳	۵۲,۱۳	۳۸,۱۳	۷۵,۱۳	۷۱,۱۳	۱۶,۱۳	۹۵,۱۲
Cr ₂ O ₃	۰,۵۰	۰,۵۰	۱۵,۰	۰,۴۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۶۰	۰,۴۰	۰,۷۰	۰,۶۰
FeO*	۶۲,۱۰	۰,۶۱۰	۰,۱۰	۷۵,۱۶	۹۴,۱۶	۳۱,۱۱	۷۳,۱۰	۸۹,۱۰	۰,۲۱۱	۷۷,۱۰	۲۴,۱۲	۲۷,۱۲
MnO	۱۲,۰	۱,۰	۱۱,۰	۲۹,۰	۳,۰	۱,۰	۱۲,۰	۱۲,۰	۱۱,۰	۱۴,۰	۱۵,۰	۱۴,۰
NiO												
MgO	۱۳,۱۲	۴۳,۱۲	۶۳,۱۲	۳۸,۱۰	۳۳,۱۰	۵۱,۱۲	۵۴,۱۲	۴۳,۱۲	۴۴,۱۲	۳۴,۱۲	۸۴,۱۱	۰,۱۱۲
CaO	۸۳,۱۱	۰,۵۱۲	۱۱,۱۲	۳۱,۱۱	۳۸,۱۱	۴۸,۱۱	۵۳,۱۱	۵۹,۱۱	۶,۱۱	۶۲,۱۱	۵,۱۱	۳۹,۱۱
Na ₂ O	۶۹,۲	۴۱,۲	۵,۲	۹۱,۲	۸۹,۲	۶۱,۲	۵,۲	۴۵,۲	۳۸,۲	۴۵,۲	۶۳,۲	۶۲,۲
K ₂ O	۰,۵۱	۰,۴۱	۰,۷۱	۵۲,۱	۵۲,۱	۰,۱۱	۰,۴۱	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۳۱	۰,۸۱	۰,۷۱
Total	۹,۹۶	۹۸,۹۶	۸۶,۹۷	۸۴,۹۶	۸۸,۹۶	۷۷,۹۶	۸۶,۹۶	۷۹,۹۶	۱۸,۹۷	۹۶,۹۶	۱۸,۹۸	۸۹,۹۶
Mg#	۶۷,۰	۶۹,۰	۶۹,۰	۵۲,۰	۵۲,۰	۶۷,۰	۶۸,۰	۶۷,۰	۶۷,۰	۶۷,۰	۶۳,۰	۶۴,۰
O	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Si	۶۱,۵	۵۴,۵	۵۲,۵	۹۱,۵	۹۲,۵	۶۷,۵	۶۵,۵	۶۵,۵	۵۹,۵	۶۱,۵	۷۸,۵	۷۵,۵
Ti	۶,۰	۶۶,۰	۶۶,۰	۱۷,۰	۱۵,۰	۵۲,۰	۵۶,۰	۵۶,۰	۵۹,۰	۵۹,۰	۴۹,۰	۴۶,۰
Al (iv)	۲۸,۲	۳۱,۲	۳۵,۲	۰,۳۲	۰,۱۲	۲۵,۲	۲۸,۲	۲۵,۲	۳۱,۲	۳۱,۲	۱۶,۲	۱۸,۲
Al (vi)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	۰,۶۰	.
Cr	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۲۰	.	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	.	۰,۱۰	۰,۱۰
Fe*	۳۷,۱	۲,۱	۱۸,۱	۰,۶۲	۰,۹۲	۳۴,۱	۲۸,۱	۳,۱	۳۱,۱	۲۸,۱	۴۵,۱	۴۷,۱
Mn	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۴۰	۰,۴۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۱۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۲۰
Mg	۵۸,۲	۶۴,۲	۶۶,۲	۲۸,۲	۲۷,۲	۶۷,۲	۶۶,۲	۶۵,۲	۶۴,۲	۶۲,۲	۴۹,۲	۵۷,۲
Ca	۸۱,۱	۸۴,۱	۸۳,۱	۷۸,۱	۸,۱	۷۶,۱	۷۶,۱	۷۷,۱	۷۷,۱	۷۷,۱	۷۴,۱	۷۵,۱
Na	۷۴,۰	۶۷,۰	۶۸,۰	۸۳,۰	۸۳,۰	۷۲,۰	۶۹,۰	۶۸,۰	۶۶,۰	۶۸,۰	۷۲,۰	۷۳,۰
K	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۲۹,۰	۲۹,۰	۱۸,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۲,۰	۲,۰
Total	۱,۱۵	۰,۶۱۵	۰,۸۱۵	۴۴,۱۵	۴۵,۱۵	۱۳,۱۵	۰,۸۱۵	۰,۸۱۵	۰,۷۱۵	۰,۷۱۵	۰,۸۱۵	۱۴,۱۵

ادامه جدول ۵

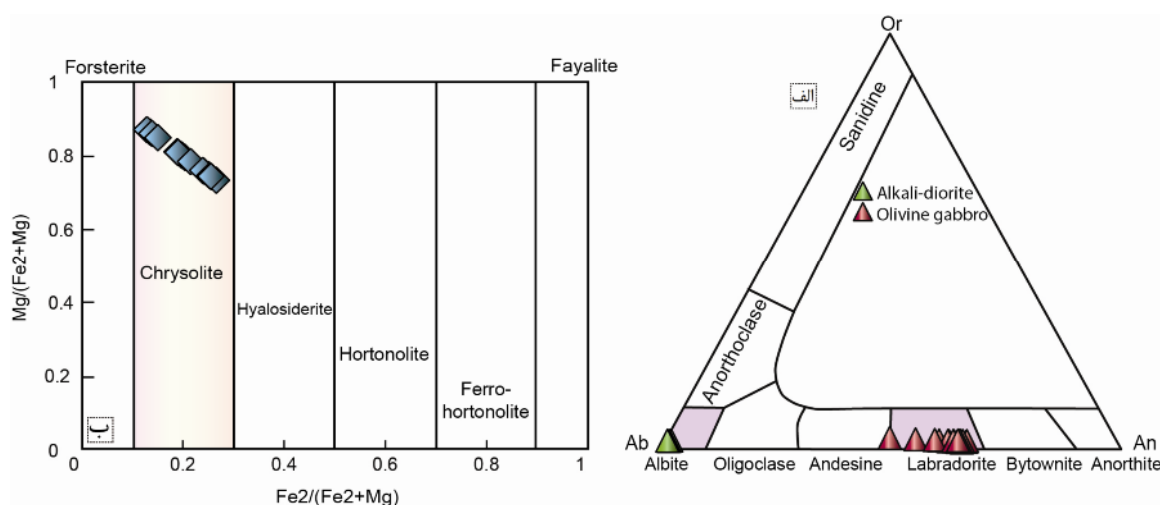
SAMP	Q-7-8	Q-7-9	Q-7-10	Q-7-11	Q-7-12	Q-7-13	Q-7-14	Q-7-15	Q-7-16	Q-7-17	Q-7-18	Q-7-19
SiO ₂	۶۸,۳۹	۲۱,۳۹	۸۲,۳۹	۰,۹۴۰	۵۱,۳۹	۰,۶۴۰	۲۴,۳۹	۱۱,۳۹	۶۵,۳۸	۱۳,۳۹	۱۲,۳۹	۲۵,۳۹
TiO ₂	۱۶,۵	۵۵,۵	۴۳,۴	۵۸,۳	۹۶,۴	۲,۴	۷۶,۴	۹۷,۴	۰,۳۵	۰,۲۵	۰,۴۵	۰,۲۵
Al ₂ O ₃	۴۳,۱۳	۳۷,۱۳	۲۱,۱۳	۸۷,۱۲	۵۵,۱۳	۹۱,۱۲	۴۶,۱۳	۵۵,۱۳	۳۶,۱۳	۵۷,۱۳	۳۹,۱۳	۴۴,۱۳
Cr ₂ O ₃	۰,۴۰	۰,۷۰	۰,۴۰	۰,۵۰	۰,۳۰	۰,۴۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۶۰	۰,۴۰	۰,۴۰	۰,۵۰
FeO*	۲۳,۱۱	۵۹,۱۰	۸۸,۱۱	۲۷,۱۳	۷۵,۱۱	۴۲,۱۲	۸۴,۱۱	۶۶,۱۱	۳۱,۱۲	۶۷,۱۱	۶۶,۱۱	۵۹,۱۱
MnO	۱۸,۰	۱۱,۰	۱۳,۰	۲۱,۰	۱۷,۰	۱۸,۰	۱۹,۰	۱۲,۰	۱۲,۰	۱۵,۰	۱۴,۰	۰,۷۰
NiO												
MgO	۴۸,۱۲	۳۹,۱۲	۸۹,۱۱	۱۹,۱۲	۴۲,۱۲	۹۵,۱۱	۹۴,۱۱	۲۴,۱۲	۸۷,۱۱	۳۲,۱۲	۱۳,۱۲	۱۶,۱۲
CaO	۵۹,۱۱	۷۴,۱۱	۲۸,۱۱	۱۱,۱۱	۴۴,۱۱	۳۴,۱۱	۴,۱۱	۴۴,۱۱	۴۸,۱۱	۴۳,۱۱	۴۹,۱۱	۳۷,۱۱
Na ₂ O	۵۲,۲	۴۴,۲	۸۴,۲	۶۵,۲	۵۲,۲	۶۴,۲	۵۵,۲	۴۹,۲	۴۶,۲	۵۸,۲	۵۲,۲	۵۷,۲
K ₂ O	۰,۳۱	۰,۴۱	۰,۲۱	۰,۵۱	۰,۴۱	۰,۲۱	۰,۵۱	۱	۰,۲۱	۰,۴۱	۰,۲۱	۱
Total	۳۳,۹۷	۵۲,۹۶	۵۴,۹۶	۰,۶۹۷	۴۹,۹۷	۷۶,۹۶	۴۶,۹۶	۶۱,۹۶	۳۶,۹۶	۹۴,۹۶	۵۶,۹۶	۵۱,۹۶
Mg#	۶۶,۰	۶۸,۰	۶۴,۰	۶۲,۰	۶۵,۰	۶۳,۰	۶۴,۰	۶۵,۰	۶۳,۰	۶۵,۰	۶۵,۰	۶۵,۰
O	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲
Si	۶۴,۵	۶۲,۵	۷۲,۵	۷۶,۵	۶۳,۵	۷۶,۵	۶۵,۵	۶۲,۵	۵۹,۵	۶۱,۵	۶۳,۵	۶۴,۵
Ti	۵۵,۰	۶,۰	۴۸,۰	۳۹,۰	۵۳,۰	۴۵,۰	۵۲,۰	۵۴,۰	۵۵,۰	۵۴,۰	۵۵,۰	۵۴,۰
Al (iv)	۲۶,۲	۲۵,۲	۲۲,۲	۱۷,۲	۲۸,۲	۱۷,۲	۲۷,۲	۳,۲	۲۶,۲	۳,۲	۲۷,۲	۲۸,۲
Al (vi)	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Cr	.	۰,۱۰	.	۰,۱۰	.	۰,۱۰	.	.	۰,۱۰	.	.	۰,۱۰
Fe*	۳۴,۱	۲۷,۱	۴۳,۱	۶,۱	۴,۱	۴۹,۱	۴۳,۱	۴,۱	۴۹,۱	۴,۱	۴,۱	۳۹,۱
Mn	۰,۲۰	۰,۱۰	۰,۲۰	۰,۳۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۱۰	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۱۰
Mg	۶۵,۲	۶۵,۲	۵۵,۲	۶۱,۲	۶۴,۲	۵۶,۲	۵۶,۲	۶۲,۲	۵۶,۲	۶۳,۲	۶۲,۲	۶۲,۲
Ca	۷۷,۱	۸,۱	۷۴,۱	۷۱,۱	۷۵,۱	۷۵,۱	۷۶,۱	۷۶,۱	۷۸,۱	۷۵,۱	۷۷,۱	۷۵,۱
Na	۶۹,۰	۶۸,۰	۷۹,۰	۷۴,۰	۷,۰	۷۴,۰	۷۱,۰	۶۹,۰	۶۹,۰	۷۲,۰	۷,۰	۷۲,۰
K	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۸,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۹,۰	۱۸,۰
Total	۱,۱۵	۰,۸۱۵	۱۶,۱۵	۲۱,۱۵	۱۳,۱۵	۱۵,۱۵	۱۳,۱۵	۱۳,۱۵	۱۵,۱۵	۱۵,۱۵	۱۳,۱۵	۱۲,۱۵

های EPMA، مقدار اکسیدهای Ti و Cr در کلینوپیروکسن-های جنوب آزادشهر به ترتیب ۰/۹۵ تا ۲/۳۰ و ۰/۱۹ تا ۰/۹۲ درصد وزنی است. تغییرات ترکیبی کلینوپیروکسن‌ها بر اساس مقدار مؤلفه‌های $En_{(39-47)}$ ، $Fs_{(11-13)}$ و $Wo_{(43-47)}$ در نمودار نامگذاری سه‌تایی ولاستونیت-انستاتیت-فروآذرین لایه‌پیت [۲۷] نشان دهنده ترکیب‌های دیوپسید و اوژیت هستند. (شکل ۶ الف). داده‌های تجزیه نقطه‌ای کانی‌های سازنده سنگ، افزون بر تعیین نوع کانی و مقدار عناصر تشکیل دهنده آنها برای رده-بندی دقیق ترکیب آن، کاربردهای دیگری مانند تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی و یا محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ‌ها نیز دارند. بر اساس نتایج یک پژوهش [۲۸]، ویژگی‌های سنگ-شناسی و شیمی کانی‌هایی مانند کلینوپیروکسن، به احتمال بسیار ارتباط مستقیمی با موقعیت زمین‌ساختی آنها دارد. همچنین، نام‌تحرک بودن Ti در کلینوپیروکسن‌ها [۲۹] موجب شده است تا از آن به عنوان ابزار تشخیصی مفید در سنگ‌زایی و تعیین ماهیت ماگمای تشکیل دهنده استفاده شود. بدیهی است که بالا بودن تمرکز این عنصر در سنگ یا کانی نشان دهنده طبیعت قلیایی و برآمدن آن از یک خاستگاه گوشته‌ای غنی شده است. مقدار تمرکز عناصر نام‌تحرکی مانند Ti و Cr می‌توانند نماینده ماهیت اولیه ماگما باشند [۲۸، ۳۰]. چنانکه در نمودار Ti+Cr نسبت به Ca دیده می‌شود [۲۸]، به علت بالا بودن مقدار Ti، کلینوپیروکسن‌های موجود در سنگ‌های جنوب آزادشهر در میدان بازالت‌های غیرکوهزایی و به عبارت دیگر درون ورقه‌ای قرار دارند (شکل ۶ ب).

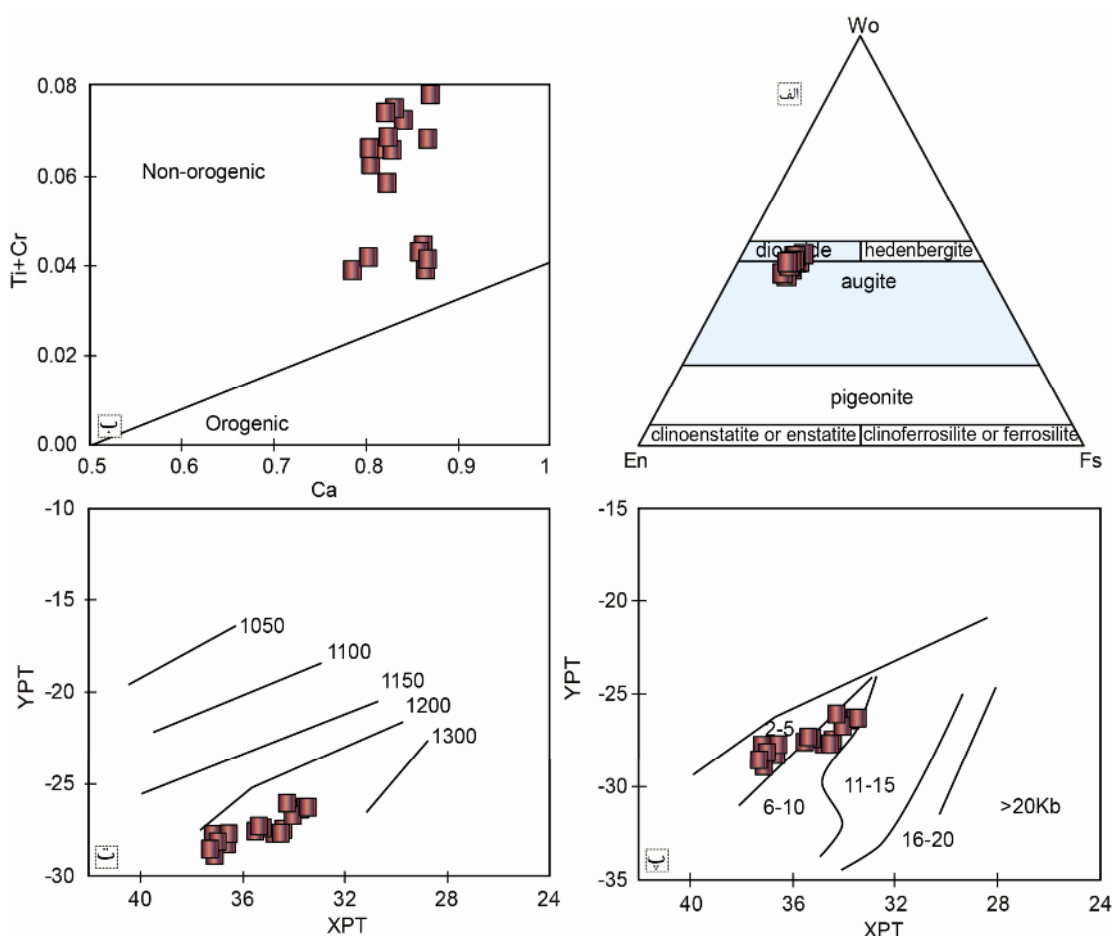
پلاژیوکلاز: تقریباً همه پلاژیوکلازها در نمونه‌های مورد بررسی بدون منطقه‌بندی ترکیبی هستند و تنها ماکل کارلسباد و یا چندریخت و گاهی آلبیتی نشان می‌دهند. داده‌های به دست آمده از تجزیه EPMA پلاژیوکلاز (۲۸ نقطه) در جدول ۲ نشان می‌دهند که پلاژیوکلازهای موجود در الیون‌گابروها دارای مقدار آنورتیت ۵۵/۳۳ تا ۶۶/۶۳ درصد بوده و مقدار آنورتیت دیوریت‌های قلیایی نیز از ۱/۱۱ تا ۱/۵۴ درصد در تغییر است. از این رو، در نمودار سه‌تایی آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز (Ab-An-Or) برای رده‌بندی فلدسپارها [۲۶]، پلاژیوکلازهای الیون‌گابروها در گستره لابرادوریت واقع است و ترکیب این کانی در نمونه‌های دیوریتی قلیایی با محتوای آلبیت مشخص می‌شوند (شکل ۵ الف).

الیون: مقدار دگرسانی الیون‌های موجود در الیون‌گابروها بسیار ناچیز است و اغلب آنها به صورت سالم و نیمه شکل‌دار تا خودشکل هستند. در مجموع، تعداد ۲۱ نقطه از کانی الیون برای تجزیه انتخاب شد (جدول ۳). بر اساس داده‌های تجزیه نقطه‌ای، مقدار اکسیدهای FeO و MgO در الیون‌های الیون‌گابروهای جنوب آزادشهر به ترتیب بین ۱۳/۰۲ تا ۲۴/۲۰ و ۳۷ تا ۴۶/۶۴ درصد وزنی متغیر است و مقدار مؤلفه فورستریت نیز ۷۳/۱۵ تا ۸۶/۸۸ درصد محاسبه شد. از این رو، الیون‌های مورد بررسی در نمودار رده‌بندی شیمیایی این کانی، در گستره کریزولیت قرار دارند (شکل ۵ ب).

کلینوپیروکسن: محتوای شیمی کلینوپیروکسن در الیون-گابروهای مورد بررسی در جدول ۴ آورده شده‌اند. بر پایه داده-



شکل ۵ الف- نمودار سه تایی آلبیت-آنورتیت-ارتوکلاز برای رده‌بندی فلدسپارها در دیوریت‌های قلیایی و الیون‌گابروهای جنوب آزادشهر [۲۶] و ب- نمودار $Mg/(Fe_2+Mg)$ نسبت به $Fe_2/(Fe_2+Mg)$ برای نامگذاری الیون‌ها در الیون‌گابروها.



شکل ۶ موقعیت کلینوپیروکسن‌ها در نمونه‌های الیون‌گابرویی جنوب آزادشهر در نمودارهای الف- تغییرات ترکیب و رده‌بندی پیروکسن‌ها [۲۷]، ب- $Ti+Cr$ نسبت به Ca برای تعیین ماهیت غیرکوهزایی و کوهزایی کلینوپیروکسن‌ها [۲۸]، پ- Y_{PT} نسبت به X_{PT} برای تعیین تغییرات فشار تشکیل کلینوپیروکسن‌ها [۳۱] و ت- Y_{PT} نسبت به X_{PT} برای تعیین تغییرات دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌ها [۳۱].

با محاسبه و رسم مقادیر Y_{PT} و X_{PT} برای کلینوپیروکسن‌های جنوب آزادشهر، فشار و دمای تبلور این کانی‌ها به ترتیب حدود ۲ تا ۱۱ کیلو بار و ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد برآورد می‌شود.

در ماگماهای مافیک، اغلب کلینوپیروکسن‌ها در فشارهای بالا (حدود ۱۰ کیلو بار) می‌توانند مانند یک فاز مذاب عمل کنند، در نتیجه شیمی آنها نیز می‌تواند بازتاب کننده شرایط تبلور سنگ باشد [۳۲-۳۴]. افزون بر شرایط دما و فشار تبلور، از دیگر کاربردهای داده‌های EPMA، دستیابی به گریزندگی اکسیژن محیط تشکیل پیروکسن است. به عقیده شویتزر و همکاران [۳۴]، مقدار Fe^{3+} در این کانی تابع گریزندگی اکسیژن است و در نتیجه با استفاده از نمودار $Al^{IV} + Na$ نسبت به $Al^{VI}+2Ti+Cr$ می‌توان آن را بررسی کرد. براساس

به اعتقاد سوسو [۳۱]، ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن می‌تواند بازتابی از عمق و دمای تبلور سنگ میزبان آن باشد. بر این اساس و با استفاده از داده‌های تجربی، نمودارهای مفیدی برای تفکیک شرایط مختلف دما و فشار تبلور کلینوپیروکسن‌ها ارائه شده‌است. مؤلفه‌های چند متغیره این نمودارها شامل مقادیر X_{PT} و Y_{PT} هستند [۳۱]:

$$X_{PT} = 0.446SiO_2 + 0.187TiO_2 - 0.404Al_2O_3 + 0.346FeO_T + 0.052MnO + 0.309MgO + 0.431CaO - 0.446Na_2O \quad (1)$$

$$Y_{PT} = -0.369SiO_2 + 0.535TiO_2 - 0.317Al_2O_3 + 0.323FeO_T + 0.235MnO - 0.516MgO - 0.167CaO - 0.153Na_2O \quad (2)$$

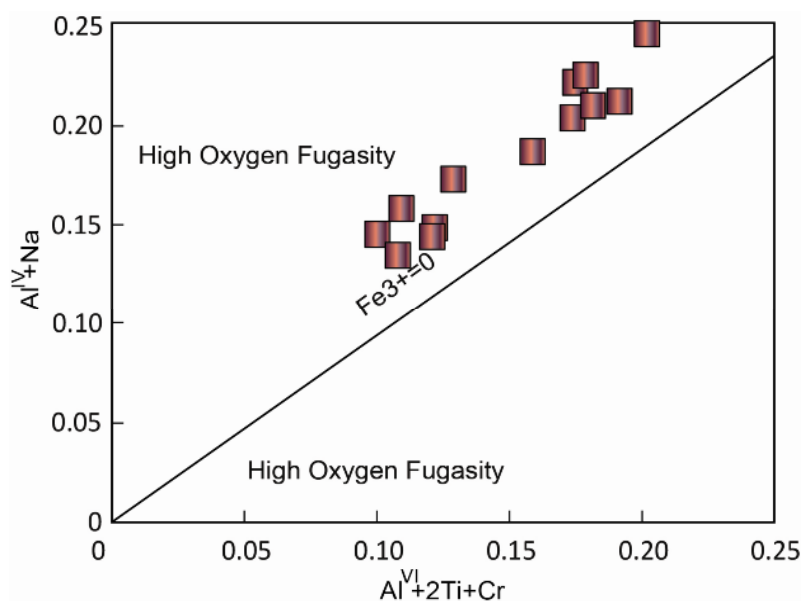
نواحی کشتی استقرار می‌یابند، ایفا می‌کنند [۳۶]. افزون بر آمفیبول‌های ماگمایی که ناشی از تبلور مذاب هستند، برخی آمفیبول‌ها نیز نتیجه فرایندهای ثانویه و دگرسانی کانی‌های مافیک مانند کلینوپیروکسن هستند. از راه‌های تشخیص آذرین، دگرگونی و یا دگرسانی بودن آمفیبول‌ها، می‌توان به سنگ‌نگاری و نیز بررسی ترکیب شیمیایی کانی اشاره نمود. لیک [۳۷] با بررسی شیمی تعداد بیشماری از انواع آمفیبول برپایه مجموع مقادیر عناصر Ca ، Na و K ، آمفیبول‌های آذرین را از آمفیبول‌های دگرگونی تفکیک نمود. چنان که در نمودار تغییرات $Ca+Na+K$ نسبت به Si [۳۷]، در شکل ۸ ب دیده می‌شود، همه آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی جنوب آزادشهر در گستره آمفیبول‌های آذرین قرار دارند.

به باور برخی از پژوهشگران [۳۸، ۳۹] با استفاده از شیمی کانی‌هایی چون آمفیبول و یا بیوتیت، می‌توان به ماهیت خاستگاه سنگ پی برد. مقدار میانگین TiO_2 و Al_2O_3 در آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی به ترتیب ۴/۷۴ و ۱۳/۳۰ درصد است. از اینرو در نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 که مشخص کننده گوشته‌ای و یا پوسته‌ای بودن خاستگاه کانی آمفیبول است [۳۸]، نمونه‌های مورد بررسی در گستره سنگ-های با خاستگاه گوشته‌ای قرار دارند (شکل ۸ پ).

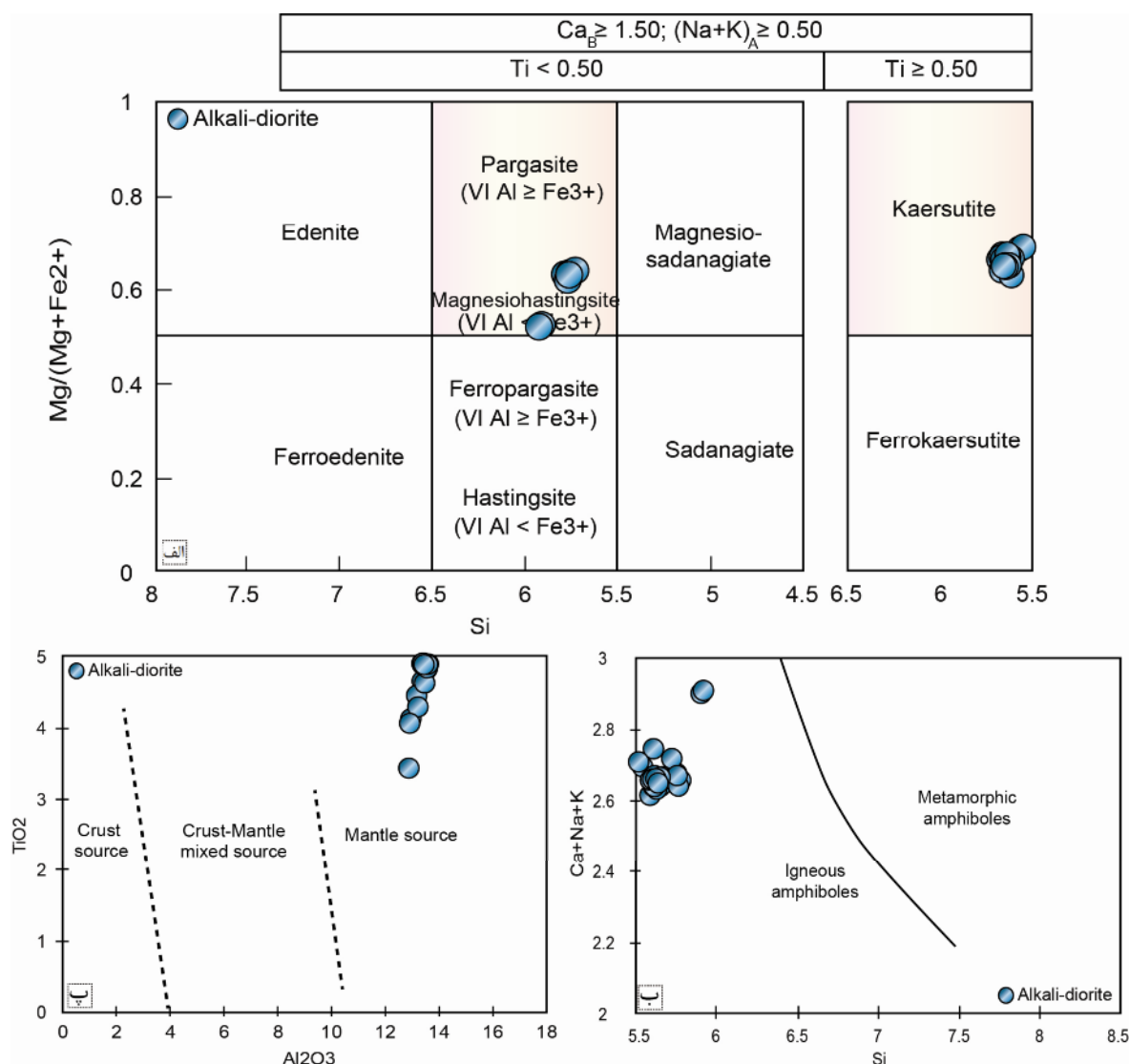
شکل ۷، می‌توان گفت که به احتمال بسیار کلینوپیروکسن‌ها در شرایط گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند.

آمفیبول: آمفیبول‌ها در دیوریت‌های قلیایی اغلب شکل دار هستند و تقریباً ۵۰ درصد حجم کانی‌های تشکیل دهنده سنگ را به خود اختصاص داده‌اند. آمفیبول‌ها در دیوریت‌های قلیایی به صورت کانی اصلی سنگ ساز متبلور شده‌اند. به طور کلی ۲۴ نقطه از آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی مورد تجزیه قرار گرفتند. مقدار تمرکز اکسیدها و کاتیون‌های محاسبه شده در جدول ۵ آورده شده‌اند. مقدار کلسیم محاسبه شده (۱/۷۱ تا ۱/۸۴ a.p.f.u)، نشان دهنده ماهیت کلسیمی آمفیبول‌های دیوریت‌های قلیایی بوده، در نتیجه در نمودار رده‌بندی آمفیبول‌ها برپایه مقدار Ti موجود در آنها که از پارامترهای اصلی تعیین کننده [۳۵]، نمونه‌ها در گستره‌های کرسوتیت (*Kaersutite*) و مگنزیوهایستینگزیت (*Magnesiohastingsite*) قرار دارند (شکل ۸ الف).

حضور آمفیبول‌های نوع کرسوتیتی در میان کانی‌های اصلی سنگ ساز دارای اهمیت ویژه‌ای در تعیین ترکیب مذاب بخشی در ناحیه خاستگاه است. همواره آمفیبول‌ها نقش مهمی به عنوان فرایند جدایش مذاب‌هایی که در قاعده پوسته انباشته می‌شوند (*Underplating*)، از میان پوسته صعود می‌کنند و در



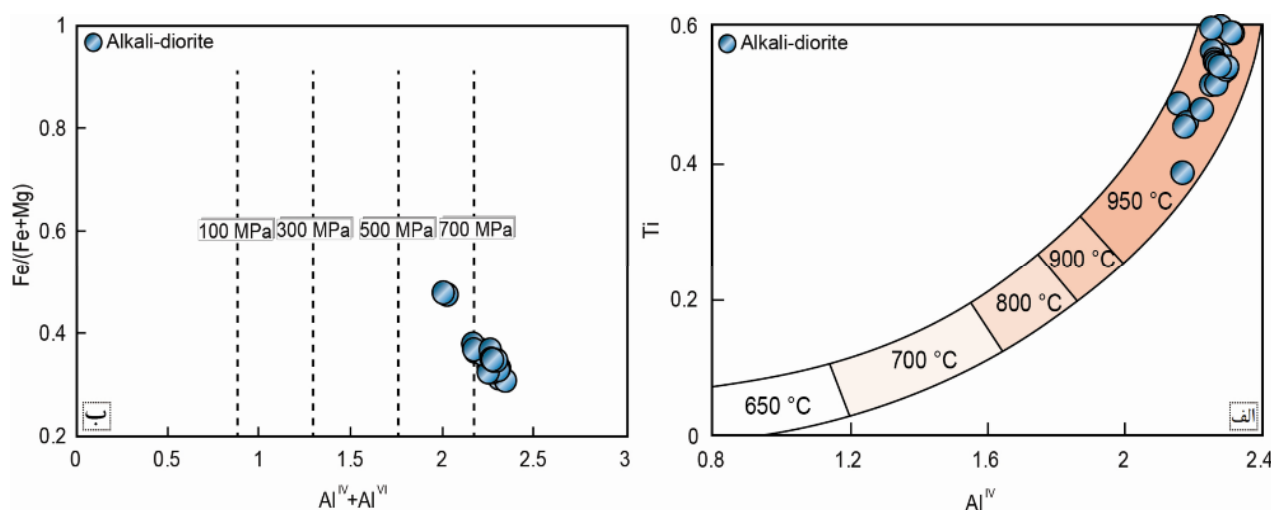
شکل ۷ موقعیت کلینوپیروکسن‌های نمونه‌های آذرین جنوب آزادشهر در نمودار تغییرات گریزندگی اکسیژن براساس $Al^{IV} + Na$ نسبت به $Al^{VI} + 2Ti + Cr$ در پیروکسن‌ها [۳۴].



شکل ۸. موقعیت آمفیبول‌های نمونه‌های آذرین جنوب آزادشهر در الف- نمودار رده بندی آمفیبول‌های کلسیمی در دیوریت‌های قلیایی [۳۵]، ب- نمودار تغییرات $Ca+Na+K$ نسبت به Si برای تعیین آذرین و دگرگونی بودن آمفیبول‌ها [۳۷] و پ- نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 برای تعیین خاستگاه آمفیبول‌های جنوب آزادشهر [۳۸].

کلسیمی با افزایش دما افزایش یافته و با افزایش فشار کاهش می‌یابد [۴۳]. بر این اساس، با به کارگیری مقدار عناصر Ti ، Al و $Fe+Mg$ و رسم آنها در نمودارهای دماسنجی [۴۲] و فشارسنجی [۴۴]، می‌توان دما و فشار تبلور احتمالی کانی آمفیبول در دیوریت‌های قلیایی را برآورد کرد. چنان که در شکل ۹ نیز دیده می‌شود، دمای تبلور آمفیبول‌های منطقه جنوب آزادشهر ۹۵۰ درجه سانتیگراد و فشار تشکیل آنها در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷٫۵ کیلوبار) تعیین شده‌است.

همانند کلینوپیروکسن‌ها، با استفاده از محتوای شیمی کانی بدست آمده از تجزیه EPMA، می‌توان دما و فشار تشکیل آمفیبول‌ها را بررسی کرد. رفتار زمین شیمیایی عنصر Al در آمفیبول‌های کلسیمی طوری است که با افزایش دما جانشین Si (جایگاه چاروجهی) و با افزایش فشار جانشین $Mg+Fe$ (جایگاه هشت وجهی) می‌شود [۴۰-۴۲]. در نتیجه، مقدار Al_2O_3 با افزایش دما و فشار افزایش می‌یابد. این در حالی است که مقدار عنصر Ti ، به علت شعاع یونی بزرگتر آن نسبت به Al که در جایگاه هشت‌وجهی جایگزین نمی‌شود، در آمفیبول‌های



شکل ۹ الف- نمودار Ti نسبت به Al^{IV} برای تعیین دمای تبلور آمفیبول‌های کلسیمی در دیوریت‌های قلیایی [۴۲] و ب- نمودار تغییرات $Fe/(Fe+Mg)$ نسبت به $Al^{IV}+Al^{VI}$ برای تعیین فشار تبلور احتمالی آمفیبول‌ها [۴۴].

برداشت

مگنزیه‌هاستینگزیت (کلسیمی) و آلبیت مشخص می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها در الیون گابروها دارای ماهیت قلیایی و غیرکوهزایی هستند بوده و در فشار حدود ۲ تا ۱۱ کیلوبار، دمای ۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن بالا تشکیل شده‌اند. آمفیبول‌های مورد بررسی نیز از نوع آذرین بوده و دارای خاستگاه گوشته‌ای هستند. دمای تبلور آمفیبول‌ها نیز ۹۵۰ درجه سانتیگراد و فشار تشکیل آنها در گستره ۶۰۰ تا ۷۵۰ مگاپاسکال (معادل ۶ تا ۷٫۵ کیلوبار) تعیین شده‌است.

مراجع

- [1] Aghanabati A., "Geology of Iran", Geological Survey of Iran, Tehran (2004).
- [2] Sengor A. M. C., "A new model for the late Palaeozoic-Mesozoic tectonic evolution of Iran and implications for Oman, In: Robertson A. H., Searle M.P., & Ries A. C., (eds) The Geology and Tectonics of the Oman Region", Geological Society, London, Special Publications, 49, (1990) 797-831.
- [3] Angiolini L., Gaetani M., Muttoni G., Stephenson M.H., & Zanchi A., "Tethyan oceanic currents and climate gradients 300 m.y. ago", Geology, 35, (2007) 1071-1074.
- [4] Alavi M., "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz Mountain System in

بر اساس مشاهدات صحرایی، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه-های گابرویی موجود در منطقه جنوب آزادشهر، وجود دو رخمون متفاوت از مجموعه سنگ‌های مافیک به صورت توده-های کوچک الیون‌گابرویی با سطوح فرسایشی به نسبت کروی شکل (پوست پیازی) و دایک‌های دیوریتی قلیایی پگماتوئیدی در توالی‌های شیل و ماسه سنگی سازند شمشک آشکار شد. کانی‌های سازنده اصلی الیون‌گابروها شامل الیون، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز بوده و دیوریت‌های قلیایی نیز دربردارنده آمفیبول و پلاژیوکلاز هستند. بیوتیت، آپاتیت و کانی‌های کدر نیز کانی‌های فرعی آنها را تشکیل می‌دهند. زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی نادر این نمونه‌ها به همراه نمودارهای عناصر خاکی نادر و چندعنصری نشانگر ماهیت قلیایی ماگمای سازنده آنها و برخاستن این ماگما از یک خاستگاه گوشته‌ای مشابه خاستگاه نوع OIB است که با غنی‌شدگی از LREE، HFSE و LILE مشخص می‌شود. براساس نتایج تجزیه نقطه‌ای EPMA، ترکیب شیمیایی کانی‌های الیون، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در الیون‌گابروها به ترتیب کریزولیت، دیوپسید-اوژیت و لابرادوریت است. نوع آمفیبول‌ها و پلاژیوکلازهای دیوریت‌های قلیایی نیز با کرسوتیت-

Alborz zone", M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2003) 140 Pages.

[14] Jamshidi Kh., " *The study of mafic magmatism in the base of Shemshak Formation in the eastern Alborz zone* ", M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2010) 155 Pages.

[15] Ghasemi H., and Jamshidi Kh., " *Geochemistry, petrology and proposed tectonomagmatic model for generation of alkaline basic rocks in the base of the Shemshak Formation, the eastern Alborz zone (In Persian)*", Iranian Journal Of Crystallography And Mineralogy, 4 (19) (2012) 699-714.

[16] Ghasemi H., and Jamshidi Kh., " *Investigation of source region properties of alkaline basic rocks in the base of Shemshak Formation in the eastern Alborz zone (In Persian)*", Quarterly Iranian Journal Of Geology, 7 (27) (2013) 17-29.

[17] Salehirad R., " *Gorgan Geological Quadrangle Map 1:250000*", Geological Survey of Iran, Tehran (1990).

[18] Sheydaii Alashlu Z., " *Mineral chemistry and crystallization condition of Gheshlagh intrusive body, Khosh Yeilagh, Shahrood* ", M.Sc. Thesis, Faculty of Geosciences, Shahrood University OF Technology (2017) 170 Pages.

[19] Ghasemi H., Rostami Hosouri M., and Sadeghian, M., " *Basic Magmatism in the Extentional Back-arc Basin of the Lower-Middle Jurassic on the Northern Edge of Central Iran-South of Eastern Alborz Zones, Shahrood-Damghan*"(In Persian), Geosciences, Scientific Quarterly Journal of Geological Survey of Iran, 27 (107) (2018) 123-136.

[20] Stocklin J., " *Structural history and tectonics of Iran: a review*", AAPG Bulletin, 52, (1968) 1229-1258.

[21] Jafarian M. B., " *Khosh Yeilagh Geological Quadrangle Map 1:100000*", Geological Survey of Iran, Tehran (2004).

Iran", Journal of Geodynamics, 21(1), (1996) 1-33.

[5] Brunet M.F., Korateav M.W., Arshov A.V., Nikishin A.M., " *The south Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling*", Sediment. Geol. 148, (2003) 119-156.

[6] Fursich F. T., Wilmsen M., Seyed-Emami K. & Majidifard M. R., " *Lithostratigraphy of the Upper Triassic-Middle Jurassic Shemshak Group of Northern Iran. In: Brunet M.-F., Wilmsen M., & Granth J. W., (eds) South Caspian to Central Iran Basins*", Geological Society, London, Special Publications, 312, (2009) 129-160.

[7] Wilmsen M., Fursich F.T., Seyed-Emami K., Majidifard M.R., and Taheri J., " *The Cimmerian Orogeny in northern Iran: tectono-stratigraphic evidence from the foreland*", Terra Nova., 21, (2009) 211-218.

[8] Allen M. B., Ghasemi M. R., Shahrabi M., & Qorashi M., " *Accommodation of late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range*", northern Iran. Journal of Structural Geology, 25, (2003) 659-672.

[9] Zanchi A., et al., " *The Eo-Cimmerian (Late?Triassic) orogeny in North Iran. In: Brunet M.-F., Wilmsen M., & Granth J. W., (eds) South Caspian to Central Iran Basins*", Geological Society, London", Special Publications, 312, (2009) 31-55.

[10] Berberian M., & King G., " *Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran*", Canadian Journal of Earth Sciences, 18, (1981) 210-265.

[11] Doroozi R., Masoudi F., " *Geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Kamarbon Theralitic, Teschenitic gabbroic intrusion (Central Alborz)*", Journal of Petrology, 12 (2012) 89-102.

[12] Doroozi R., Vaccaro C., Masoudi F., " *Mesozoic alkaline plutonism: Evidence for extensional phase in Alpine-Himalayan orogenic belt in Central Alborz, north Iran*", Solid Earth Science (2017) 1-18.

[13] Moghadasi S., " *Petrology, petrogenesis and stratigraphy of Jurassic volcanic rocks in Eastern*

- Lesotho Kimberlites* (editor P. H. NIXON)", pp. 294-9, Lesotho Nat, Development Corp, (1973) 350 pp.
- [33] Bender J.F., Hodges F. N., & Bence, A. E., "Petrogenesis of basalts from the project FAMOUS area: experimental study from 0 to 15 Kbar", *Earth and Planetary Science Letters* 41, (1978) 277- 302.
- [34] Schweitzer E. L., Papike J. J. and Bence A. E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deep sea basalts", *American Mineralogist* 64, (1979) 501-513.
- [35] Leake B. E., Woolley A. R., Arps C. E. S., "Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on new minerals and mineral names", *Canadian Mineralogist* 35, (1997) 219-246.
- [36] Martin R. F., "Amphiboles in the Igneous Environment", *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* 67, (2007) 323-358.
- [37] Leake B.E., "On aluminous and edenitic hornblendes". *Mineralogical Magazine*, 38 (1971) 389-407.
- [38] Jiang C.Y., An S.Y., "On chemical characteristics of calcic amphiboles from igneous rocks and their petrogenesis significance", *Journal of Mineralogy and Petrology* 3, (1984) 1-9 (in Chinese with English abstract).
- [39] Zhang J.Q., Li S.R., Santosh. M., Wang J.Z., and Li Q., "Mineral chemistry of high-Mg diorites and skarn in the Han-Xing Iron deposits of South Taihang Mountains, China: Constraints on mineralization process", *Ore Geology Reviews* 64 (2015) 200-214.
- [40] Hawthorne F.C. "Crystal chemistry of the amphiboles", In *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, 9A, (1981) 1-102.
- [41] Gilbert M.C., Helz R.T., Popp R.K., and Spear F.S. "Experimental studies of amphibole stability", In *Mineralogical Society of America Reviews in Mineralogy*, 9B (1982) 229-353.
- [42] Ernst W. G., Liu. J., "Experimental phase- [22] Middlemost E. A. K., "Naming materials in the magma igneous rock system", *Earth Science Reviews* 37, (1994) 215-224.
- [23] Winchester J.A. and Floyd P.A., "Geological magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks", *Earth and Planetary Sciences*, 28, (1977) 459-469
- [24] Wilson M., "Igneous Petrogenesis", Unwin Hyman, London. 466 (1989).
- [25] Sun S.S. and Mc Donough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implication for mantle composition and processes. In: A.D., Saunders and M. J., Norry (Eds): *Magmatism in ocean basins*", Geological Society of London, U. K. Special Publication, 42, (1989) 313-345.
- [26] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the rock-forming minerals", John Wiley and Sons, New York, (1966) P 528.
- [27] Morimoto N., Fabries, J., Fergusson A. K., Ginzburg I. V., Ross M., Seifert F. A., Zussman J., Aoki K., Gottardi G., "Nomenclature of Pyroxenes", *American Mineralogist* 65, (1988) 1-28.
- [28] Le Terrier J., Maurry R. C., Thonon P., Girard D., Marchal 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.
- [29] Rollinson H.R., "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman (1993).
- [30] Nisbet E. G., Pearce J. A., "Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 63, (1977) 161-173.
- [31] Soesoo A., "A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations", *Geological Society of Sweden (Geologiska Foreningen)* 119, (1997) 55-60.
- [32] Kushiro I., "Partial melting of garnet-Iherzolites from kimberlite at high pressures. In:

metamorphism", Contributions to Mineralogy and Petrology, 45, (1974) 231-236.

[44] Schmidt M. W., "*Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer*" Contributions to Mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.

equilibrium study of Al and Ti contents of Calcic amphibole in MORB-A semiquantitative thermobarometer", American Mineralogist 83(1998) 952-969.

[43] Raase P., "*Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional*