

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

شیرین شهابی^{۱*}، حبیب ا... 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 بازیگ به صورت توده‌های الیون‌گابرویی و دایک‌های دیوریتی قلیایی پگماتوئیدی نمایان است. کانی‌های سازنده الیون‌گابروها شامل الیون، 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 الیون و پلاژیوکلاز در الیون‌گابروها به ترتیب کریزولیت و لابرادوریت است. کلینوپیروکسن‌های الیون‌گابروها 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-مگنزیوهاستینگزیت (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 بازیگ؛ 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 در بردارنده 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 بازیگ 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 آلیپی شده است [۴]. اساسی ترین بخش این رویدادهای متناوب از کوهزاد انوسیمین 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

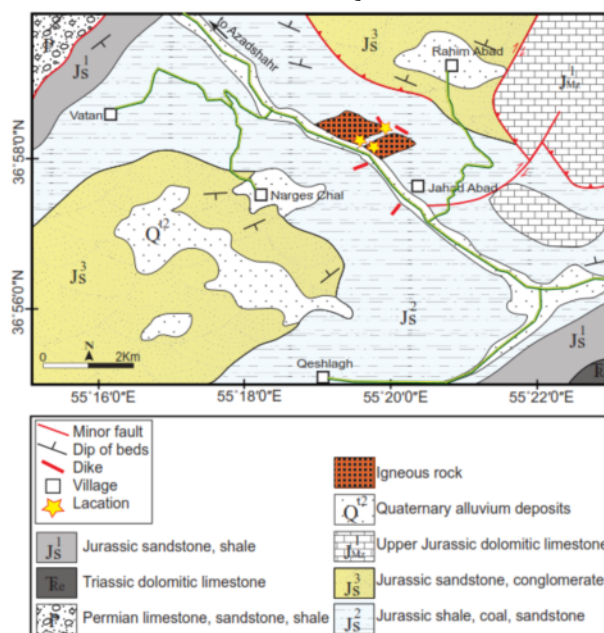
شرق شاهرود تا شمال غرب دامغان [۱۳-۱۶] اشاره نمود.

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 فیزیکی-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 تقسیم بندی‌های ساختاری و چینه‌نگاری 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 چینه‌نگاری، 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.

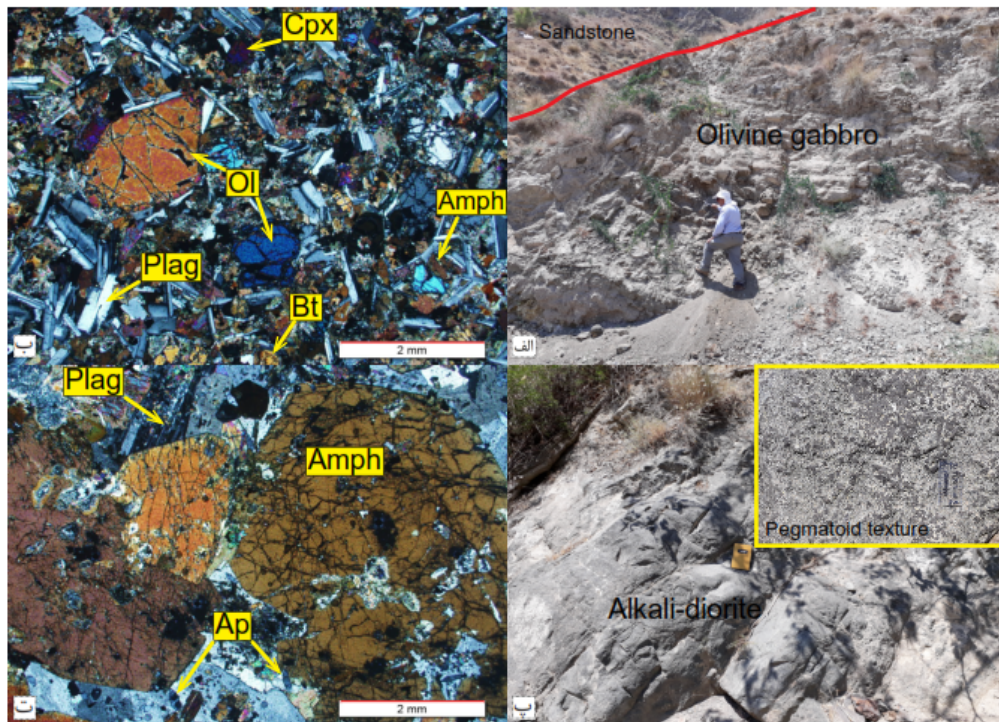
روابط صحرایی و سنگ‌نگاری

چنان که اشاره شد، بر اساس پیمایش‌ها و مشاهدات صحرایی دقیق در این پژوهش، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه‌های گابرویی، وجود دو رخنمون 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 سنگ‌نگاری 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 پویکیلیتیک 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 رخنمون 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، کلینوپروکسن، 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: کلینوپروکسن، Ol: الیوین، Bt: بیوتیت و Ap: آپاتیت هستند).

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، پروکسن، پلاژیوکلاز و آمفیبول در آزمایشگاه

IGGCAS با استفاده از ریزپردازشگر الکترونی CAMECA SXFive انجام شد.

بحث

زمین‌شیمی عناصر اصلی و کمیاب

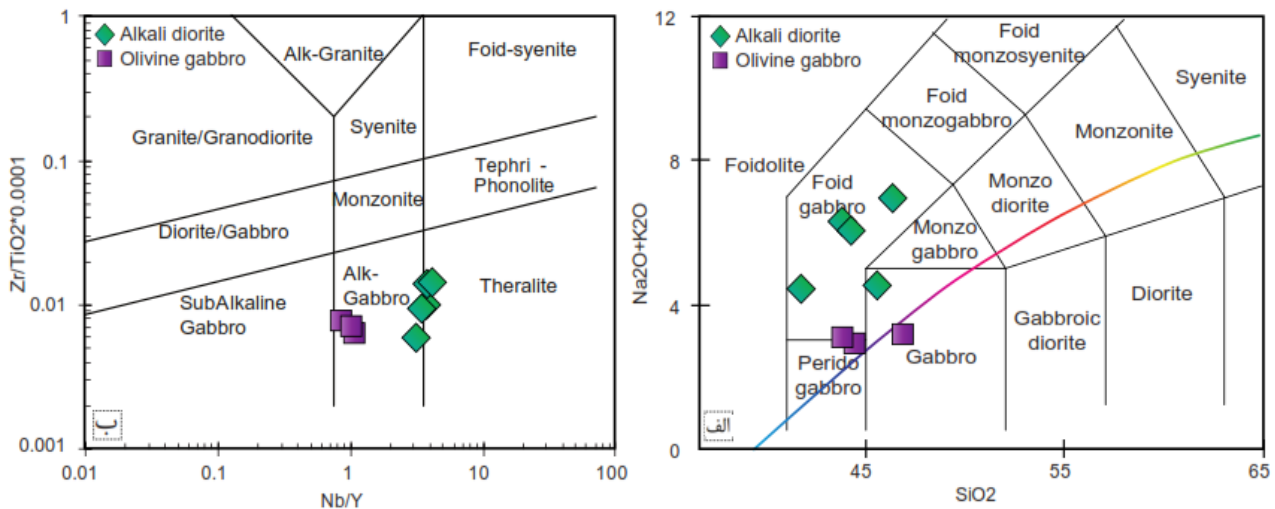
مقدار تمرکز عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل نمونه‌های مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده‌اند. بررسی‌های سنگ‌نگاری و مقدار مواد فرار (LOI) سنگ‌های مافیک منطقه جنوب آزادشهر (۱۳۴ تا ۳۹۱ درصد وزنی) نشان می‌دهد که مقدار دگرسانی در مقاطع نازک نیز کم تا متوسط است. درصد وزنی SiO_2 نمونه‌ها از ۴۱/۸۶ تا ۵۰/۱۱ در تغییر بوده 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_2Y [۲۳]، نمونه‌های جنوب آزادشهر در میدان گابروهای قلیایی واقع هستند (شکل ۳ ب). نمونه‌های

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 ترتیب ۷۰ و ۵۲ است. این مقادیر نشان می‌دهند که خاستگاه احتمالی الیون‌گابروها اولیه است در حالی‌که دیوریتی‌های قلیایی تا حدی فرایندهای تبلور جدایشی را پشت سر گذاشته و احتمالاً بخش‌های جدایش یافته یک ماگمای مافیک واحد بوده‌اند.

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

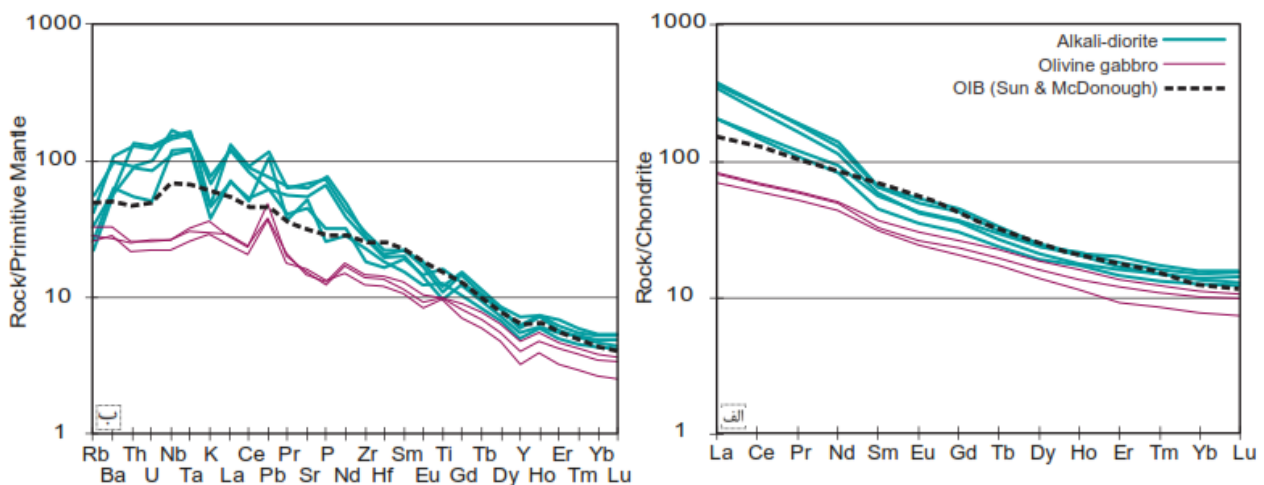
| Sample | Q-4 | Q-5 | Q-7 | Q-8 | Z-8 | Q-12 | Q-14 | Q-15 |
|----------------------------------|----------------|-------|--------|--------|-------|----------------|-------|-------|
| Type | Alkali-diorite | " | " | " | " | Olivine gabbro | " | " |
| SiO ₂ | ۲۵۴۴ | ۸۶۴۱ | ۴۹۴۵ | ۳۱۴۶ | ۷۵۴۳ | ۹۱۴۶ | 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 | -۳۱۳ | ۱۸۱۴ | ۵۲۱۴ |
| MnO | ۲۰ | ۱۶۰ | ۱۷۰ | ۱۷۰ | ۱۴۰ | ۱۷۰ | ۱۸۰ | ۱۷۰ |
| MgO | ۹۳۳ | ۵۲۹ | ۹ | ۸۲۳ | ۷۹۴ | ۳۶۱۲ | ۶۹۱۵ | ۴۶۱۳ |
| CaO | -۵۱۰ | 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 | -۷۲ | ۸۹۰ | -۸۱ | 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 | -۸۱۰۰ |
| Be | ۲۴۲ | ۴۶۱ | ۹۳۱ | ۴۶۲ | ۳ | ۹۵۰ | ۹۵۰ | ۸۲۰ |
| Sc | ۶۲۷ | ۵۲۳۰ | ۶۷۲۶ | -۷۷ | ۱۰ | ۹۳۲۵ | ۲۷۲۴ | ۷۵۱۹ |
| V | ۸۱۸۶ | ۴۳۳۰۷ | ۴۴۳۲۲ | ۳۱۵۰ | ۲۳۵ | ۲۶۳۱۰ | ۵۶۱۹۹ | ۶۳۱۲۴ |
| Cr | ۵۹۳ | ۴۵۳۲۶ | ۲۳۳۴۸ | ۴۸۲۲ | -۵۴۱ | -۶۵۸۵ | ۶۷۵۹۹ | ۲۶۵۳۴ |
| Co | -۶۲۶ | ۵۱۴۶ | ۸۷۳۹ | ۸۷۲۲ | ۳۳ | -۹۵۸ | ۲۱۶۹ | ۹۶۶۴ |
| Ni | ۳۱۱۴ | ۲۸۱۶۱ | ۷۲۱۵۱ | ۱۶۱۹ | ۲۰ | ۸۴۳۷۱ | ۲۵۶۶۸ | ۵۴۴۳۶ |
| Ga | ۸۴۲۲ | ۷۶۱۷ | ۱۲۱۷ | ۹۳۲۰ | ۵۲۱ | ۵۹۱۶ | ۶۱۱۳ | ۸۶۱۳ |
| Rb | ۵۸۲۱ | ۸۹۱۶ | -۹۱۴ | ۷۹۲۶ | ۴۳۵ | ۷۷۱۷ | ۴۱۲۰ | ۳۱۶ |
| Sr | ۵۹۱۴۶۸ | ۴۷۹۶۱ | ۲۴۱۱۰۹ | ۳۵۱۱۸۲ | ۹۱۳۳۱ | ۵۴۳۰۸ | ۱۳۳۱۸ | ۳۶۳۳۵ |
| Y | ۸۶۲۸ | ۳۳۲۷ | -۷۲۳ | ۴۲۲۵ | ۲۳۳ | ۴۲۲۱ | ۲۲۱۸ | ۶۲۱۴ |
| Zr | ۷۶۳۳۷ | -۵۲۰۷ | -۷۲۵۸ | ۷۲۳۰۵ | ۸۳۰۸ | ۶۱۱۶۲ | ۳۵۱۵۳ | ۸۹۱۳۵ |
| Nb | ۶۹۱۰۹ | ۷۳۸۵ | ۳۵۸۰ | ۸۶۱۰۳ | ۶۱۲۰ | ۳۱۱۸ | ۶۲۱۸ | ۵۱۵ |
| Cs | ۶۶۰ | ۵۸۰ | ۵۴۰ | ۶۱۰ | ۸۰ | ۳۸۰ | ۶۶۰ | ۵۳۰ |
| Ba | ۸۴۳۰ | ۱۹۴۵۱ | ۲۹۴۰۷ | ۲۹۶۶۳ | ۶۷۹ | -۵۱۸۶ | ۳۴۲۲۸ | ۵۸۱۹۷ |
| La | ۷۹۰ | ۴۵۰۴۸ | ۴۳۴۹ | ۳۱۱۲ | ۸۸۴ | ۵۲۱۹ | -۳۱۹ | ۴۸۱۶ |
| Ce | ۲۷۱۶۴ | -۲۹۷ | ۸۸۹۱ | ۴۱۱۴۷ | ۱۱۵۸ | ۷۸۴۱ | ۸۲۴۰ | ۲۱۳۶ |
| Pr | ۷۶۱۷ | ۵۱۱ | ۴۶۱۰ | ۷۲۱۵ | -۳۱۸ | ۷۱۵ | ۵۳۵ | ۸۳۴ |
| Nd | ۶۸۶۰ | ۷۴۴۳ | ۲۱۳۹ | ۵۱۵۳ | ۸۶۴ | ۵۸۲۳ | ۶۵۲۲ | ۲۲۲۰ |
| Sm | -۱۱۰ | ۵۸۸ | ۹۷۶ | ۱۳۹ | ۹۵۹ | ۶۶۵ | -۱۵ | ۷۲۴ |
| Eu | ۹۲ | ۵۱۲ | -۸۲ | ۴۳۲ | -۹۳ | ۷۴۱ | ۵۲۱ | ۴۱ |
| Gd | ۹۱۰۸ | ۷۴۷ | ۳۲۶ | ۴۶۷ | ۲۳۹ | ۳۲۵ | ۷۷۴ | ۱۹۴ |
| Tb | ۱۷۱ | ۱۲۱ | ۹۱۰ | -۲۱ | ۲۵۱ | ۸۴۰ | ۷۳۰ | ۶۴۰ |
| Dy | ۱۶۶ | ۱۳۶ | ۹۶۴ | ۳۹۵ | ۳۴۶ | ۷۴ | -۶۴ | ۴۷۳ |
| Ho | ۲۳۱ | ۱۹۱ | ۹۹۰ | -۱۱ | ۲۱۱ | ۹۰ | ۷۷۰ | ۶۴۰ |
| Er | -۵۳ | ۸۳۲ | ۴۶۲ | ۷۱۲ | ۳۲۲ | ۲۳۲ | ۹۸۱ | ۵۲۱ |
| Tm | ۴۲۰ | ۳۹۰ | ۳۴۰ | ۳۹۰ | ۴۴۰ | ۳۱۰ | ۲۸۰ | ۲۱۰ |
| 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 | -۵۵ | ۹۳۴ | ۴۳۶ | ۹۵ | ۲۲۱ | ۳۱ | -۵۱ |
| Pb | ۳۸ | ۴۷۴ | ۶۶۷ | ۴۱۴ | - | ۶۹۲ | ۳۷۳ | ۶۲۲ |
| Th | ۵۸۱۱ | ۶۹۴ | ۶۶۷ | ۹۹۱۰ | ۸۷ | -۸۲ | ۱۵۲ | ۸۴۱ |
| U | ۷۲ | -۸۱ | ۷۹۱ | ۶۳۲ | ۱۲ | ۵۵۰ | ۵۴۰ | ۴۶۰ |
| Mg# | ۹۴۵ | ۶۵ | ۶۶ | ۹۴۳ | ۶۵۴۸ | ۷۶۸ | ۱۷۲ | ۴۶۸ |
| La(n)/Yb | ۸۹۲۴ | ۸۵۱۴ | ۳۹۱۶ | ۴۱۲۴ | ۷۸۲۲ | ۴۴۷ | ۸ | -۹۹ |



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 دیوریت‌های قلیایی نسبت به الیون‌گابروها همخوانی دارد و تأییدی بر طبیعت جدایش یافته تر آنهاست. فراوانی عناصر Nb, P, Ti 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 طوری که 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 الیوین، 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 الیوین-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 الیوین‌گابروها 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 | ۵۸۶۸ | ۱۲۶۸ | ۰۵۶۸ | ۸۷۶۷ | ۳۶۶۸ | ۰۴۵۲ | ۰۴۵۲ | ۱۲۵۳ | ۶۲۵۱ | ۰۱۵۳ | ۱۸۵۲ | ۲۸۵۲ | ۴۱۵۲ |
| TiO ₂ | . | . | . | . | . | ۱۱۰ | ۰۹۰ | ۰۶۰ | ۰۹۰ | ۱۰ | ۰۷۰ | ۰۹۰ | ۱۰ |
| Al ₂ O ₃ | ۵۹۱۹ | ۷۹۱۹ | ۹۱۹ | ۵۱۱۹ | ۶۵۱۹ | ۱۷۳۰ | ۹۳۲۹ | ۹۸۲۷ | ۵۹۳۰ | ۵۲۲۹ | ۱۷۳۰ | ۹۱۲۹ | ۷۸۲۹ |
| Cr ₂ O ₃ | ۰۲۰ | . | . | . | . | . | . | . | ۰۱۰ | . | ۰۲۰ | ۰۱۰ | . |
| FeO* | ۰۲۰ | . | ۰۳۰ | ۰۳۰ | ۰۴۰ | ۵۹۰ | ۵۸۰ | ۳۲۱ | ۶۱۰ | ۵۲۰ | ۵۲۰ | ۵۷۰ | ۶۲۰ |
| MnO | ۰۲۰ | . | . | . | . | ۰۵۰ | . | ۰۵۰ | ۰۱۰ | . | ۰۲۰ | . | . |
| MgO | . | ۰۱۰ | . | . | . | ۱۶۰ | ۱۳۰ | ۴۷۱ | ۱۷۰ | ۱۱۰ | ۱۸۰ | ۱۲۰ | ۱۱۰ |
| CaO | ۲۴۰ | ۳۳۰ | ۲۴۰ | ۲۶۰ | ۲۵۰ | ۱۷۱۳ | ۸۵۱۲ | ۳۸۱۰ | ۴۱۱۳ | ۰۷۱۲ | ۷۲۱۲ | ۸۹۱۲ | ۶۲۱۲ |
| Na ₂ O | ۸۱۱۱ | ۶۷۱۱ | ۷۱۱ | ۷۲۱۱ | ۸۵۱۱ | ۸۳ | ۰۷۴ | ۶۳۴ | ۷۵۳ | ۳۵۴ | ۱۸۴ | ۰۴۴ | ۱۶۴ |
| K ₂ O | ۰۴۰ | ۰۶۰ | ۰۵۰ | ۰۵۰ | ۰۶۰ | ۲۲۰ | ۲۳۰ | ۲۹۰ | ۲۰ | ۲۶۰ | ۲۳۰ | ۲۳۰ | ۲۴۰ |
| NiO | ۰۱۰ | . | . | . | ۰۱۰ | . | . | ۰۱۰ | ۰۲۰ | ۰۱۰ | . | . | ۰۲۰ |
| Total | ۳۲۱۰۰ | ۹۷۹۹ | ۹۷۹۹ | ۴۴۹۹ | ۳۲۱۰۰ | ۳۱۰۰ | ۹۳۹۹ | ۱۹۹۹ | ۴۷۱۰۰ | ۹۴۹۹ | ۲۸۱۰۰ | ۱۶۱۰۰ | ۰۷۱۰۰ |
| An | ۱۱۱ | ۵۴۱ | ۱۱۱ | ۲۱۱ | ۱۶۱ | ۷۱۶۵ | ۵۹۶۳ | ۳۳۵۵ | ۴۱۶۶ | ۵۴۶۰ | ۷۱۶۲ | ۸۱۶۳ | ۶۶۶۲ |
| O | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ |
| Si | ۹۸۸۲ | ۹۷۹۲ | ۹۷۶۲ | ۹۸۴۲ | ۹۸۴۲ | ۳۶۲۲ | ۳۷۲ | ۴۳۱۲ | ۳۴۱۲ | ۴۰۶۲ | ۳۶۷۲ | ۳۷۵۲ | ۳۸۲۲ |
| Ti | . | . | . | . | . | ۰۰۴۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۴۰ |
| Al | ۰۰۶۱ | ۰۲۱ | ۰۲۵۱ | ۰۱۱۱ | ۰۱۱۱ | ۶۱۴۱ | ۶۰۷۱ | ۵۰۹۱ | ۶۳۵۱ | ۵۷۹۱ | ۶۱۳۱ | ۶۰۱۱ | ۵۹۵۱ |
| Cr | ۰۰۱۰ | . | . | . | . | . | . | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | . |
| Fe* | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۲۰ | ۰۲۲۰ | ۰۲۲۰ | ۰۴۷۰ | ۰۲۳۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۲۲۰ | ۰۲۴۰ |
| Mn | ۰۰۱۰ | . | . | . | . | ۰۰۲۰ | . | ۰۰۲۰ | . | . | ۰۰۱۰ | . | . |
| Mg | . | ۰۰۱۰ | . | . | . | ۰۱۱۰ | ۰۰۹۰ | ۱۰ | ۰۱۱۰ | ۰۰۸۰ | ۰۱۲۰ | ۰۰۸۰ | ۰۰۸۰ |
| Ca | ۰۱۱۰ | ۰۱۵۰ | ۰۱۱۰ | ۰۱۲۰ | ۰۱۲۰ | ۶۴ | ۶۲۷۰ | ۵۰۹۰ | ۶۵۱۰ | ۵۸۷۰ | ۶۱۸۰ | ۶۲۷۰ | ۶۱۴۰ |
| Na | ۹۹۸۰ | ۹۸۹۰ | ۹۹۲۰ | ۹۹۹۰ | ۰۰۳۱ | ۳۳۴۰ | ۳۵۹۰ | ۴۱۱۰ | ۳۳۰ | ۳۸۳۰ | ۳۶۸۰ | ۳۵۶۰ | ۳۶۶۰ |
| K | ۰۰۲۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۷۰ | ۰۱۲۰ | ۰۱۵۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۴۰ |
| Ni | . | . | . | . | . | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | . | . | ۰۰۱۰ |
| Total | ۰۰۸۵ | ۰۰۷۵ | ۰۰۹۵ | ۰۱۱۵ | ۰۱۴۵ | ۰۰۱۵ | ۰۱۵ | ۰۲۷۵ | ۰۰۸۵ | ۵ | ۰۱۴۵ | ۰۰۶۵ | ۰۰۷۵ |

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 | ۶۱۵۱ | ۳۸۵۱ | ۸۵۵ | ۲۶۵۲ | ۹۶۵۲ | ۹۶۵۰ | ۳۵۱ | ۷۹۵۱ | ۲۶۵۱ | ۴۱۵۱ | ۷۴۵۱ | ۶۵۱ | ۶۲۵۱ |
| TiO ₂ | ۰۹۰ | ۱۰ | ۰۷۰ | ۱۳۰ | ۰۹۰ | ۱۰ | ۱۴۰ | ۱۱۰ | ۱۰ | ۱۱۰ | ۱۰ | ۱۳۰ | ۰۹۰ |
| Al ₂ O ₃ | ۳۶۳۰ | ۴۶۳۰ | ۴۷۲۸ | ۲۶۳۰ | ۹۴۲۹ | ۷۷۳۰ | ۵۱۳۰ | ۹۴۲۹ | ۵۵۳۰ | ۲۱۳۰ | ۲۵۳۰ | ۳۸۳۰ | ۵۷۳۰ |
| Cr ₂ O ₃ | . | . | . | ۰۱۰ | ۰۱۰ | ۰۱۰ | . | . | ۰۲۰ | . | . | . | . |
| FeO* | ۵۴۰ | ۶۳۰ | ۳۶۰ | ۴۵۰ | ۵۳۰ | ۵۴۰ | ۶۲۰ | ۵۵۰ | ۶۱۰ | ۵۸۰ | ۵۹۰ | ۵۸۰ | ۶۵۰ |
| MnO | . | . | ۰۱۰ | ۰۱۰ | . | ۰۴۰ | ۰۲۰ | ۰۱۰ | ۰۲۰ | . | ۰۳۰ | ۰۱۰ | . |
| MgO | ۱۰ | ۱۱۰ | ۰۷۰ | ۰۸۰ | ۰۵۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۱۲۰ | ۱۱۰ | ۱۰ | ۱۱۰ | ۱۳۰ | ۱۱۰ |
| CaO | ۰۶۱۳ | ۰۹۱۳ | ۹۹۹ | ۶۲۱۲ | ۱۱۱۱۲ | ۱۶۱۳ | ۲۴۱۳ | ۱۵۱۳ | ۳۲۱۳ | ۳۹۱۳ | ۲۸۱۳ | ۴۵۱۳ | ۴۱۳ |
| Na ₂ O | ۹۸۳ | ۸۷۳ | ۶۵ | ۱۹۴ | ۵۴۴ | ۸۴۳ | ۶۶۳ | ۱۵۴ | ۹۷۳ | ۹۶۳ | ۹۹۳ | ۸۷۳ | ۰۲۴ |
| K ₂ O | ۲۰ | ۲۳۰ | ۳۷۰ | ۲۴۰ | ۲۸۰ | ۱۸۰ | ۲۳۰ | ۲۵۰ | ۲۴۰ | ۲۴۰ | ۲۶۰ | ۲۴۰ | ۲۳۰ |
| NiO | . | ۰۲۰ | ۰۲۰ | . | . | ۰۱۰ | . | . | . | ۰۲۰ | ۰۱۰ | . | . |
| Total | ۹۳۹۹ | ۸۹۹۹ | ۷۵۱۰۰ | ۲۵۱۰۰ | ۵۲۱۰۰ | ۷۱۹۹ | ۸۴۹۹ | ۰۵۱۰۰ | ۱۹۱۰۰ | ۰۱۰۰۰ | ۳۵۱۰۰ | ۳۷۱۰۰ | ۷۱۰۰ |
| An | ۴۸۶۴ | ۱۲۶۵ | ۶۲۴۹ | ۴۴۶۲ | ۵۶۵۹ | ۴۵۶۵ | ۶۳۶۶ | ۶۵۶۳ | ۹۷۶۴ | ۱۶۶۵ | ۷۷۶۴ | ۷۳۶۵ | ۷۹۶۴ |
| O | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ | ۸ |
| Si | ۳۵۱۲ | ۳۴۲۲ | ۴۹۶۲ | ۳۶۹۲ | ۳۹۳۲ | ۳۲۹۲ | ۳۴۱۲ | ۳۶۲ | ۳۳۵۲ | ۳۴۵۲ | ۳۵۱۲ | ۳۴۶۲ | ۳۳۹۲ |
| Ti | ۰۰۲۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ |
| Al | ۶۳۱ | ۶۳۸۱ | ۵۰۱۱ | ۶۱۷۱ | ۵۹۶۱ | ۶۵۷۱ | ۶۴۱۱ | ۶۰۷۱ | ۶۴۱ | ۶۲۴۱ | ۶۲۱ | ۶۲۷۱ | ۶۳۱ |
| Cr | . | . | . | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | . | . | . | . |
| Fe* | ۰۲۱۰ | ۰۲۴۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۷۰ | ۰۲۰ | ۰۲۱۰ | ۰۲۳۰ | ۰۲۱۰ | ۰۲۳۰ | ۰۲۲۰ | ۰۲۲۰ | ۰۲۲۰ | ۰۲۵۰ |
| Mn | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | . | . |
| Mg | ۰۰۷۰ | ۰۰۸۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۸۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۹۰ | ۰۰۸۰ |
| Ca | ۶۳۸۰ | ۶۴۰ | ۴۷۹۰ | ۶۱۳۰ | ۵۸۶۰ | ۶۴۴۰ | ۶۴۷۰ | ۶۴۲۰ | ۶۵۰ | ۶۵۴۰ | ۶۴۶۰ | ۶۵۵۰ | ۶۵۱۰ |
| Na | ۳۵۱۰ | ۳۴۲۰ | ۴۸۶۰ | ۳۶۹۰ | ۳۹۸۰ | ۳۴۰ | ۳۳۴۰ | ۳۶۷۰ | ۳۵۰ | ۳۵۰ | ۳۵۲۰ | ۳۴۱۰ | ۳۵۳۰ |
| K | ۰۱۲۰ | ۰۱۳۰ | ۰۲۱۰ | ۰۱۴۰ | ۰۱۶۰ | ۰۱۰ | ۰۱۳۰ | ۰۱۵۰ | ۰۱۴۰ | ۰۱۴۰ | ۰۱۵۰ | ۰۱۴۰ | ۰۱۳۰ |
| Ni | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | . | . | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | . | . |
| Total | ۰۱۲۵ | ۰۱۲۵ | ۰۰۴۵ | ۰۰۹۵ | ۰۱۴۵ | ۰۱۴۵ | ۰۰۳۵ | ۰۲۳۵ | ۰۲۴۵ | ۰۲۱۵ | ۰۱۸۵ | ۰۱۶۵ | ۰۲۵۵ |

جدول ۳ نتایج حاصل از تجزیه ترکیب شیمیایی (EPMA) کانی بیوین در نمونه‌های بیوین 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 | . | ۰۱۰ | ۰۲۰ | ۰۱۰ | ۰۱۰ | ۰۲۰ | ۰۳۰ | . |
| Al ₂ O ₃ | ۰۴۰ | ۰۵۰ | ۰۵۰ | ۰۵۰ | ۰۸۰ | ۰۲۰ | ۰۴۰ | ۰۸۰ | ۰۲۰ | ۰۱۰ | ۰۵۰ |
| Cr ₂ O ₃ | . | ۰۱۰ | ۰۲۰ | ۰۴۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۱۰ | . | ۰۵۰ |
| FeO* | ۸۱۸ | ۴۶۱۸ | ۷۲۱۸ | ۰۲۱۳ | ۷۵۱۷ | ۰۱۱۹ | ۰۶۱۸ | ۷۵۱۷ | ۹۹۲۲ | ۲۲۲۳ | ۵۵۱۲ |
| MnO | ۲۲۰ | ۱۵۰ | ۲۲۰ | ۱۴۰ | ۲۱۰ | ۲۲۰ | 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 | . | . | ۰۲۰ | ۰۱۰ | . | ۰۲۰ | ۰۲۰ | . | . |
| K ₂ O | . | . | . | . | . | ۰۱۰ | . | . | . | . | . |
| 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 | . | . | . | . | . | . | . | . | . | ۰۰۱۰ | . |
| Al | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۲۰ |
| Cr | . | . | . | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | . | . | . | . | 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 | . | ۰۰۱۰ | . | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | . |
| K | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| Ni | ۰۰۶۰ | ۰۰۶۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۸۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۶۰ | ۰۰۹۰ |
| Total | ۰۰۴۳ | ۹۹۹۲ | ۹۹۹۲ | ۳ | ۰۰۲۳ | 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 | . | ۰۱۰ | ۰۱۰ | ۰۱۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ |
| Al ₂ O ₃ | ۰۵۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۳۰ | ۰۳۰ | ۰۲۰ | ۰۶۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ |
| Cr ₂ O ₃ | ۰۵۰ | ۰۴۰ | ۰۴۰ | ۰۲۰ | ۰۲۰ | . | ۰۳۰ | ۰۴۰ | . | 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 | ۰۲۰ | ۰۳۰ | ۰۱۰ |
| K ₂ O | ۰۱۰ | ۰۱۰ | . | . | . | . | . | . | . | . |
| 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 | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| Al | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۲۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ |
| Cr | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | . | . | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | . | 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 | . |
| K | . | . | . | . | . | . | . | . | . | . |
| Ni | ۰۰۹۰ | ۰۰۸۰ | ۰۰۷۰ | ۰۰۶۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۴۰ |
| 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 | ۷۵۴۸ | ۶۵۰ | ۱۵۱ | ۰۱۴۷ | ۸۸۴۶ | ۰۸۴۸ | ۵۷۴۷ | ۶۸۴۸ | ۸۶۴۶ |
| TiO ₂ | ۴۱٫۱ | ۱٫۱ | ۹۵٫۰ | ۰۶۲ | ۱۷۲ | ۵۴٫۱ | ۸۷٫۱ | ۴۹٫۱ | ۱۶۲ |
| Al ₂ O ₃ | ۶۶٫۵ | ۷۳٫۳ | ۲۶٫۳ | ۶۷٫۶ | ۸۴٫۶ | ۶۹٫۵ | ۴۵٫۶ | ۸۵٫۵ | ۰۹٫۷ |
| 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 | ۵۷ | ۶٫۶ | ۴۹٫۷ | ۷۶٫۶ | ۷۳٫۷ |
| MnO | ۱۹٫۰ | ۲٫۰ | ۱۶٫۰ | ۰۸٫۰ | ۱۳٫۰ | ۱۴٫۰ | ۱۳٫۰ | ۱۱٫۰ | ۱٫۰ |
| NiO | ۰٫۳۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۲۰ | ۰٫۲۰ | ۰٫۲۰ | ۰٫۴۰ | ۰٫۲۰ | ۰٫۵۰ | ۰ |
| MgO | ۳۳٫۱۴ | ۶۱٫۱۵ | ۹۹٫۱۵ | ۳۳٫۱۳ | ۳۳٫۱۳ | ۳۱٫۴ | ۶۸٫۱۳ | ۳۹٫۱۴ | ۳۸٫۱۳ |
| CaO | ۳۹٫۳۰ | ۶۷٫۱۹ | ۲۲٫۰ | ۷۲٫۲۰ | ۴۹٫۲۰ | ۴۹٫۲۰ | ۴۲٫۲۰ | ۰٫۳۲۰ | ۳۲٫۰ |
| Na ₂ O | ۴۹٫۰ | ۴۳٫۰ | ۴۳٫۰ | ۵۳٫۰ | ۵۵٫۰ | ۵۵٫۰ | ۵۳٫۰ | ۵۰ | ۵۷٫۰ |
| K ₂ O | ۰ | ۰ | ۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۲۰ | ۰ | ۰ | ۰٫۱۰ |
| Total | ۹۴٫۹۸ | ۴۶٫۹۹ | ۳۵٫۹۹ | ۳۴٫۹۸ | ۳۹٫۹۸ | ۲۳٫۹۸ | ۷۳٫۹۸ | ۷۱٫۹۸ | ۶۵٫۹۸ |
| Mg# | ۷۹٫۰ | ۷۹٫۰ | ۸۱٫۰ | ۷۶٫۰ | ۷۶٫۰ | ۷۹٫۰ | ۷۶٫۰ | ۷۹٫۰ | ۷۳٫۰ |
| Cr# | ۱٫۰ | ۰٫۵۰ | ۱٫۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۴۰ | ۰٫۸۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۹۰ | ۰٫۴۰ |
| 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 | ۴۳٫۰ | 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 | ۸۱۵٫۱ | ۸۸۶٫۱ | ۸۹۶٫۱ | ۷۸۱٫۱ | ۷۷۵٫۱ | ۸۱۵٫۱ | ۷۹۳٫۱ | ۸۱۴٫۱ | ۷۷٫۱ |
| Ti | ۰٫۴۰ | ۰٫۳۰ | ۰٫۲۷۰ | ۰٫۵۹۰ | ۰٫۶۲۰ | ۰٫۴۴۰ | ۰٫۵۳۰ | ۰٫۴۲۰ | ۰٫۶۱۰ |
| AlIV | ۱۷۵۰ | ۱۱۳۰ | ۱۰۴۰ | ۲۱۹۰ | ۲۲۵۰ | ۱۸۵۰ | ۳۰۷۰ | ۱۷۶۰ | ۲۳۰ |
| AlVI | ۰٫۷۵۰ | ۰٫۵۱۰ | ۰٫۳۹۰ | ۰٫۷۹۰ | ۰٫۸۱۰ | ۰٫۶۸۰ | ۰٫۷۹۰ | ۰٫۸۲۰ | ۰٫۵۵۰ |
| Cr | ۰٫۲۷۰ | ۰٫۰۸۰ | ۰٫۱۶۰ | ۰٫۱۵۰ | ۰٫۱۴۰ | ۰٫۲۳۰ | ۰٫۱۶۰ | ۰٫۲۵۰ | ۰٫۱۴۰ |
| Fe* | ۲۱۳۰ | ۲۳۱۰ | ۲۰۸۰ | ۲۳۵۰ | ۲۳۷۰ | ۲۰۸۰ | ۲۳۶۰ | ۲۱۲۰ | ۲۴۴۰ |
| Mn | ۰۰۶۰ | ۰۰۶۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ |
| Mg | ۸۰ | ۸۶۸۰ | ۸۸۴۰ | ۷۵۲۰ | ۷۵۲۰ | ۸۰۵۰ | ۷۶۸۰ | ۸۰۴۰ | ۷۵۳۰ |
| Ca | ۸۱۸۰ | ۷۸۶۰ | ۸۰۳۰ | ۸۴۱۰ | ۸۳۱۰ | ۸۲۹۰ | ۸۲۴۰ | ۸۰۴۰ | ۸۲۲۰ |
| Na | ۰۳۵۰ | ۰۳۱۰ | ۰۳۱۰ | ۰۳۹۰ | ۰۴۱۰ | ۰۴۰ | ۰۳۹۰ | ۰۳۶۰ | ۰۴۲۰ |
| K | ۰ | ۰ | ۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Ni | ۰۰۱۰ | ۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰ | ۰۰۲۰ | ۰ |
| Total | ۰۱۴۴ | ۰۱۱۴ | ۰۱۳۴ | ۰۲۳۴ | ۰۲۳۴ | ۰۲۳۴ | ۰۲۱۴ | ۰۱۴ | ۰۲۴۴ |

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 | ۷۹۴۸ | ۰۴۴۹ | ۹۸۴۶ | ۵۳۴۸ | ۲۲۵۰ | ۷۹۴۹ | ۴۲۵۰ | ۵۳۵۰ |
| TiO ₂ | ۷٫۱ | ۴۵٫۱ | ۳٫۲ | ۷۹٫۱ | ۳۶٫۱ | ۴٫۱ | ۲۵٫۱ | ۰٫۹۱ |
| Al ₂ O ₃ | ۴۵٫۵ | ۹۶٫۴ | ۶۵٫۶ | ۶۷٫۵ | ۶۲٫۳ | ۲۴٫۴ | ۷۹٫۳ | ۳۳ |
| Cr ₂ O ₃ | ۵۳٫۰ | ۶۱٫۰ | ۶۷٫۰ | ۶۴٫۰ | ۰۵۰ | ۱۹٫۰ | ۲۹٫۰ | ۳۸۰ |
| FeO* | ۵۱٫۷ | ۲۱٫۷ | ۹۲٫۷ | ۱۹٫۷ | ۵۹٫۷ | ۳۴٫۷ | ۰۲٫۷ | ۶۱٫۶ |
| MnO | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۰ | ۱۴۰ | ۱۵۰ | ۱۵۰ | ۱۰ | ۱۰ |
| NiO | ۰٫۲۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۳۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۲۰ | ۰٫۲۰ |
| MgO | ۶۹٫۱۴ | ۶۱٫۴ | ۰۲٫۱۳ | ۹۴٫۱۳ | ۶۸٫۱۴ | ۴۵٫۱۴ | ۷۷٫۱۴ | ۲۸٫۱۵ |
| CaO | ۱۳۲۰ | ۴۹٫۲۰ | ۵۹٫۲۱ | ۷۵٫۲۱ | ۶۶٫۲۱ | ۵۸٫۲۱ | ۵۳٫۲۱ | ۷۳٫۲۱ |
| Na ₂ O | ۳۷۰ | ۳۶۰ | ۴۴۰ | ۴۰ | ۴۲۰ | ۴۳۰ | ۴۳۰ | ۳۸۰ |
| K ₂ O | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰٫۱۰ | ۰ |
| Total | ۳۹۹ | ۸۶۹۸ | ۵۳۹۹ | ۰۶۱۰۰ | ۷۵۹۹ | ۶۹۹ | ۵۵۹۹ | ۴۲۹۹ |
| Mg# | ۷۸۰ | ۷۸۰ | ۷۵۰ | ۷۸۰ | ۷۸۰ | ۷۸۰ | ۷۹۰ | ۸۰ |
| Cr# | ۰٫۶۰ | ۰٫۸۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۷۰ | ۰٫۱۰ | ۰٫۳۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۷۰ |
| En | ۴۴۰ | ۴۴۰ | ۳۹۰ | ۴۱۰ | ۴۳۰ | ۴۲۰ | ۴۲۰ | ۴۴۰ |
| Fs | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۳۰ | ۱۱۰ |
| Wo | ۴۳۰ | ۴۴۰ | ۴۷۰ | ۴۷۰ | ۴۵۰ | ۴۶۰ | ۴۵۰ | ۴۵۰ |
| 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 | ۰٫۴۸۰ | ۰٫۴۱۰ | ۰٫۶۵۰ | ۰٫۵۰ | ۰٫۳۸۰ | ۰٫۴۹۰ | ۰٫۳۵۰ | ۰٫۳۱۰ |
| AlIV | ۱۷۷۰ | ۱۶۱۰ | ۲۳۲۰ | ۱۹۲۰ | ۱۲۸۰ | ۱۴۲۰ | ۱۲۳۰ | ۱۱۸۰ |
| AlVI | ۰٫۶۲۰ | ۰٫۵۹۰ | ۰٫۶۳۰ | ۰٫۵۶۰ | ۰٫۳۲۰ | ۰٫۴۵۰ | ۰٫۴۳۰ | ۰٫۲۸۰ |
| Cr | ۰٫۱۶۰ | ۰٫۱۸۰ | ۰٫۱۴۰ | ۰٫۱۹۰ | ۰۰۱۰ | ۰٫۰۶۰ | ۰۰۸۰ | ۰۱۱۰ |
| Fe* | ۲۳۵۰ | ۲۲۶۰ | ۲۴۹۰ | ۲۲۴۰ | ۲۳۷۰ | ۲۲۹۰ | ۲۱۹۰ | ۲۰۶۰ |
| Mn | ۰۰۴۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۴۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۵۰ | ۰۰۳۰ | ۰۰۳۰ |
| Mg | ۸۱۸۰ | ۸۱۶۰ | ۷۳۰ | ۷۷۳۰ | ۸۱۶۰ | ۸۰۴۰ | ۸۲۰ | ۸۴۹۰ |
| Ca | ۸۰۵۰ | ۸۲۳۰ | ۸۷۰ | ۸۶۷۰ | ۸۶۵۰ | ۸۶۳۰ | ۸۵۹۰ | ۸۶۷۰ |
| Na | ۰۲۶۰ | ۰۲۶۰ | ۰۳۲۰ | ۰۲۹۰ | ۰۳۱۰ | ۰۳۱۰ | ۰۲۶۰ | ۰۲۸۰ |
| K | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| Ni | ۰۰۱۰ | ۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰ | ۰۰۱۰ | ۰۰۱۰ | ۰ |
| Total | ۰۱۴۴ | ۰۱۳۴ | ۰۲۸۴ | ۰۲۳۴ | ۰۲۴۴ | ۰۲۳۴ | ۰۱۳۴ | ۰۲۴۴ |

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 | ۰,۱۱۰ | ۷۵,۱۶ | ۹۴,۱۶ | ۲۱,۱۱ | 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* | ۲۷,۱ | 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 | ۴۶,۱ | ۵۵,۱ |
| 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

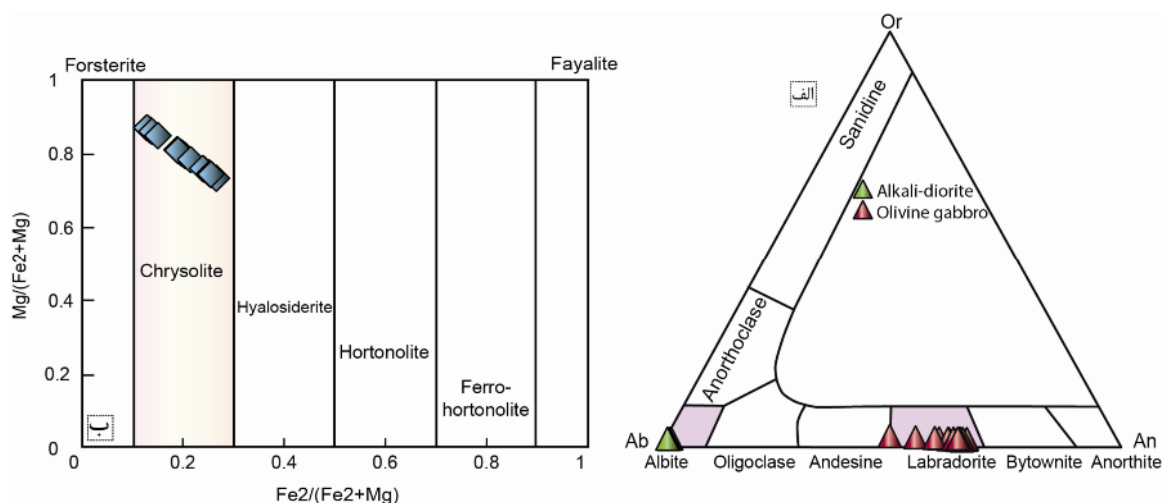
| SAMP | Q-7-8 | Q-7-9 | Q-7-10 | Q-7-11 | Q-7-12 | Q-7-13 | Q-7-14 | Q-7-15 | Q-7-16 | Q-7-17 | Q-7-18 | Q-7-19 |
|--------------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO ₂ | ۶۸,۳۹ | ۲۱,۳۹ | ۸۲,۳۹ | ۰,۹۴۰ | ۵۱,۳۹ | 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 | ۵۹,۰۱۱ | 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 | ۰,۲۱ | 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 | ۱,۶۱۵ | ۲,۱۱۵ | ۱۳,۱۵ | ۱۵,۱۵ | ۱۳,۱۵ | ۱۳,۱۵ | ۱۵,۱۵ | ۱۵,۱۵ | ۱۳,۱۵ | ۱۳,۱۵ |

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).

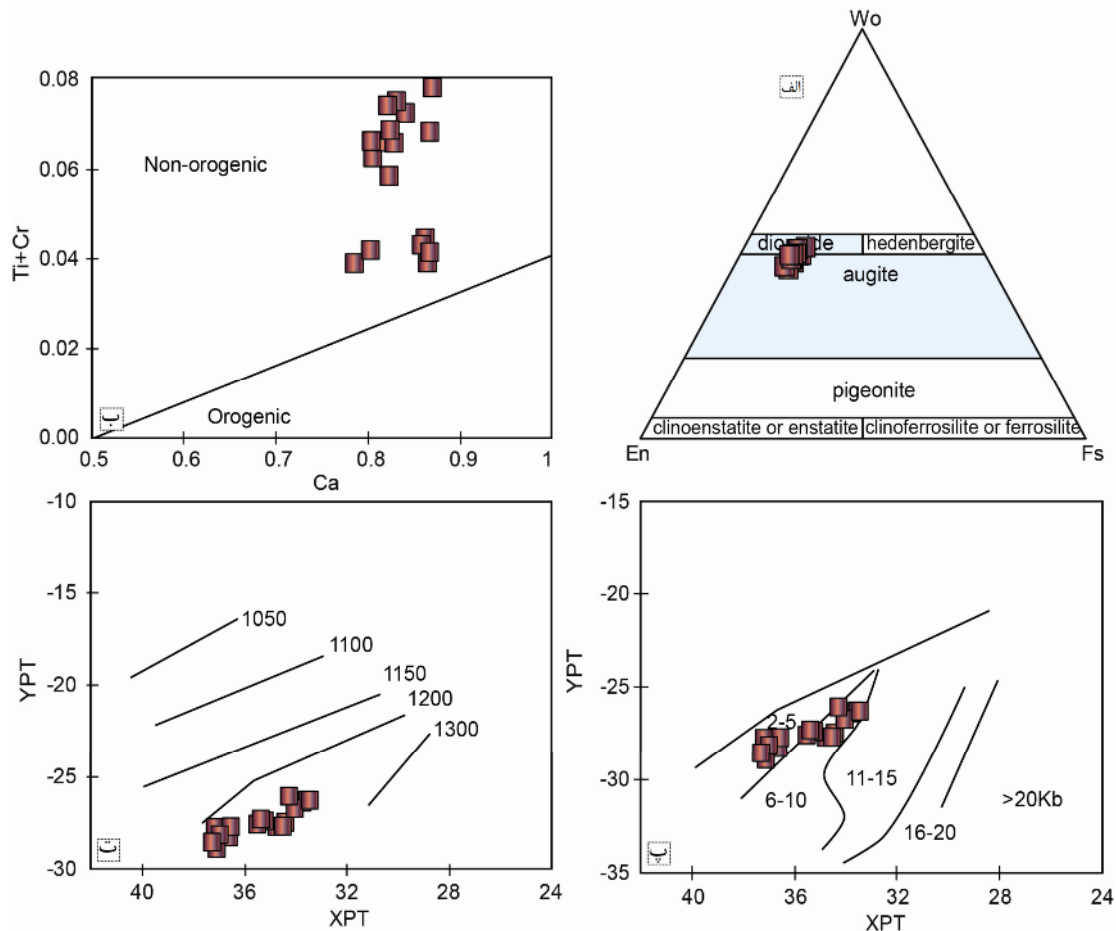
پلاژیوکلاز: تقریباً همه پلاژیوکلازها در نمونه‌های مورد بررسی بدون منطقه‌بندی ترکیبی هستند و تنها ماکل کارلسباد و یا چندریخت و گاهی آلبیتی نشان می‌دهند. داده‌های به دست آمده از تجزیه EPMA پلاژیوکلاز (۲۸ نقطه) در جدول ۲ نشان می‌دهند که پلاژیوکلازهای موجود در الیون‌گابروها دارای مقدار آنورتیت ۵۵/۳۳ تا ۶۶/۶۳ 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 الیون گابرویی 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 شوابترز 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]:

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

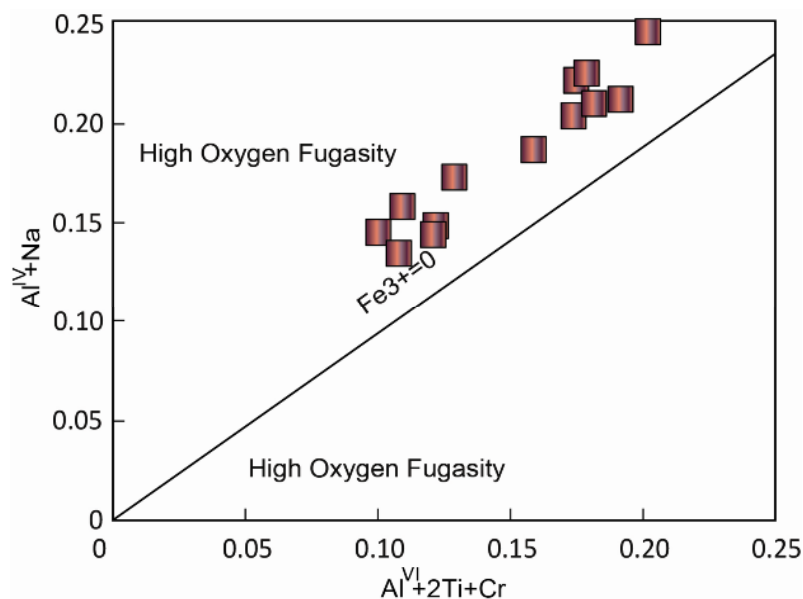
$$Y_{PT} = -0.369SiO_2 + 0.535TiO_2 - 0.317Al_2O_3 + 0.323FeO_T + 0.235MnO - 0.516MgO - 0.167CaO - 0.153Na_2O \quad (2)$$

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 مگنزپروهاستینگزیت (Magnesiohastingsite) قرار دارند (شکل ۸ الف).

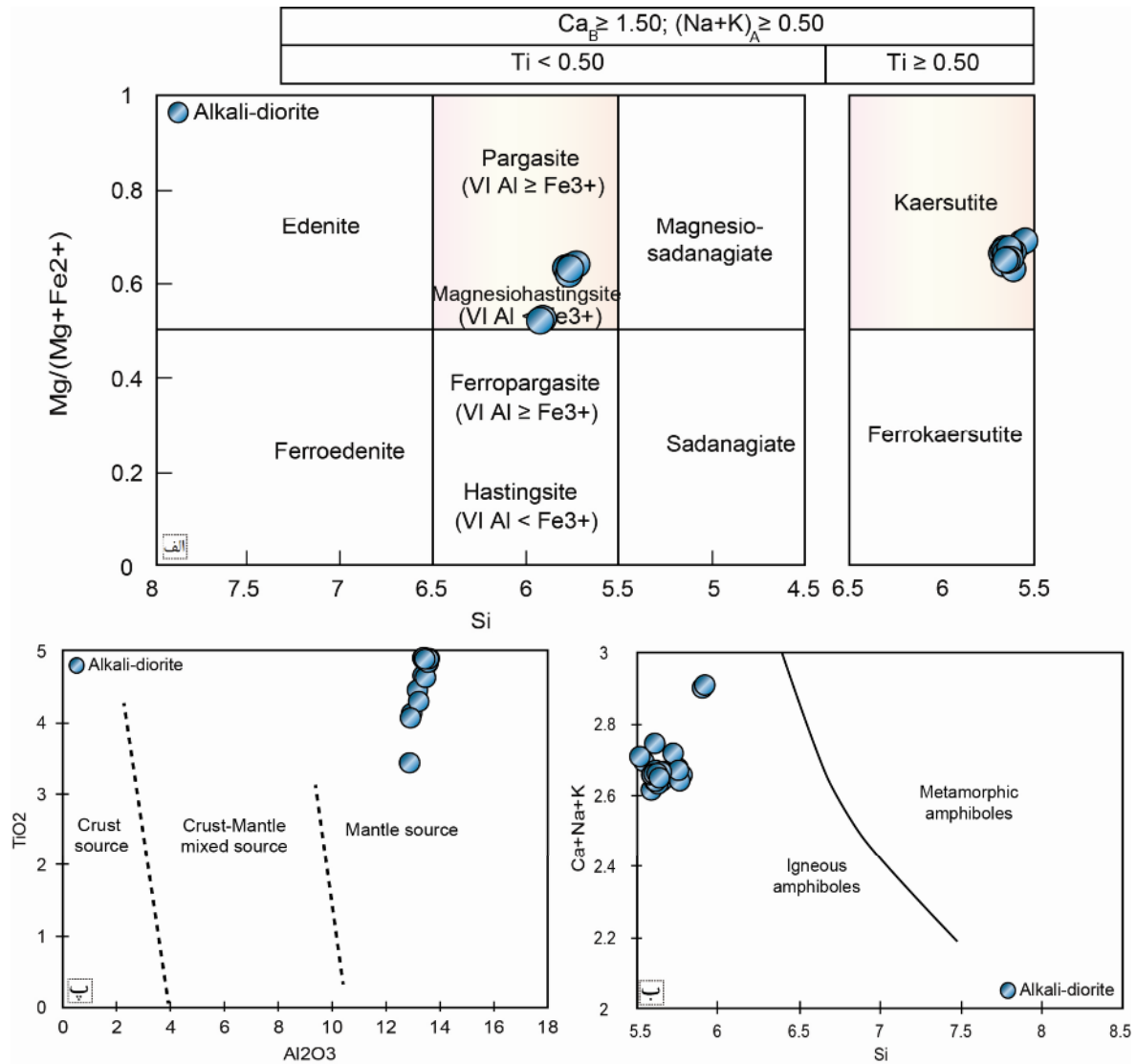
حضور آمفیبول‌های نوع کرسوتیتی در میان کانی‌های اصلی سنگ ساز دارای اهمیت ویژه‌ای در تعیین ترکیب مذاب بخشی در ناحیه خاستگاه است. همواره آمفیبول‌ها نقش مهمی به عنوان فرایند جدایش مذاب‌هایی که در قاعده پوسته انباشته می‌شوند (Underplating)، از میان پوسته صعود می‌کنند و در

نواحی کششی 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).



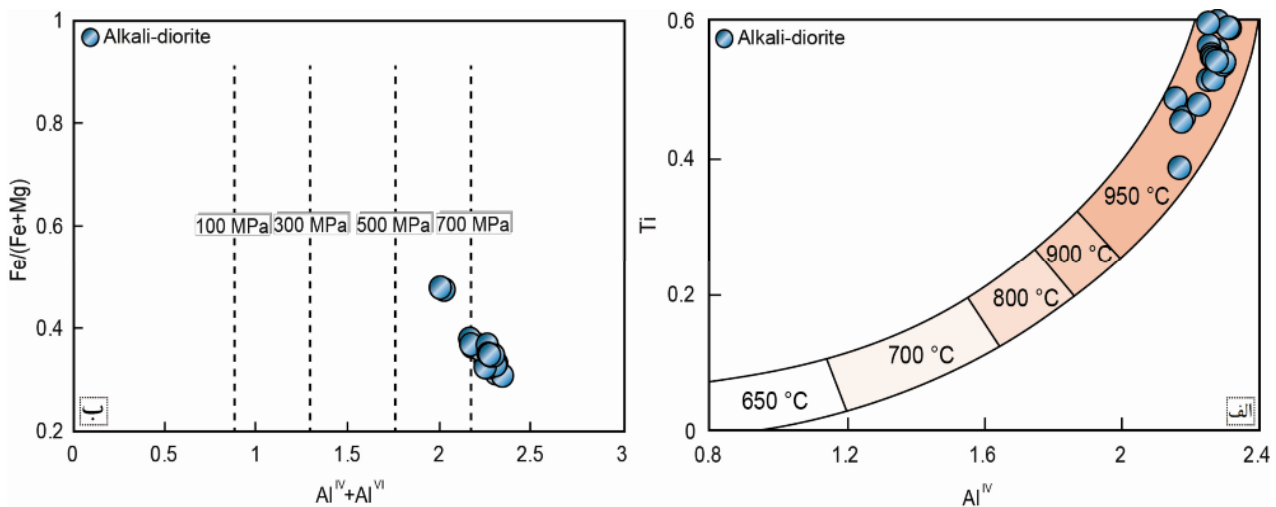
شکل ۷ موقعیت کلینوپیروکسن‌های نمونه‌های آذرین جنوب آزادشهر در نمودار تغییرات گریزندگی اکسیژن براساس $\text{Al}^{\text{IV}} + \text{Na}$ نسبت به $\text{Al}^{\text{VI}} + 2\text{Ti} + \text{Cr}$ در پیروکسن‌ها [۳۴].



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 کیلوپار) 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

بر اساس مشاهدات صحرایی، افزون بر بازالت‌ها و آذرین لایه‌های گابرویی موجود در منطقه جنوب آزادشهر، وجود دو رخنمون متفاوت از مجموعه سنگ‌های مافیک به صورت توده‌های 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 در بردارنده 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-

مگنزیه‌هاستینگزیت (کلسیمی) و آلبیت مشخص می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها در الیون‌گابروها دارای 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. 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

- 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 Extensional 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., Maury 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*