



بررسی شیمی آمفیبول و کلینوپیروکسن در توده‌های آذرین قلیایی بزقوش، کلیبر و رزگاه، شمال غرب ایران

ناصر اشرفی^{۱*}، احمد جهانگیری^۲، نوریکو هسب^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۳۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز

۳- انستیتو فناوری محیطی و طبیعی، دانشگاه کانازاوا، ژاپن

(دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۱۳، نسخه نهایی: ۹۲/۳/۸)

چکیده: فوئیدسینیت‌های بزقوش، کلیبر و رزگاه در شمال غرب ایران و در استان آذربایجان شرقی واقع شده‌اند. این بررسی به شیمی کانی‌های آمفیبول و کلینوپیروکسن توده‌های یاد شده در ارتباط با محیط زمین‌ساختی، ویژگی ماگمای سازنده و جانشینی‌های عنصری می‌پردازد. ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها از منیزیه‌سینگزیت تا فروپارگازیت متغیر است. همچنین این بررسی نشان می‌دهد که آمفیبول‌های کلیبر نسبت به بزقوش از لحاظ $Ca^{IV}Al=SiNa$ غنی بوده و جانشینی $Ca^{IV}Al=SiNa$ بین آن‌ها مهم بوده است. کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید بوده و با توجه به نسبت‌های اتمی Wo ، En و Fs تغییرات در ترکیب اعضای نهایی غالباً شامل تبادل En و Fs است. همچنین جانشینی $M^{2+}Ca^{M1}(Fe^{2+}, Mg) = M^{2+}Na^{M1}Fe^{3+}$ تا اندازه‌ای بین کلینوپیروکسن‌ها مهم بوده است. ترکیب آمفیبول‌ها و کلینوپیروکسن‌ها بیانگر جدایی آن‌ها از یک ماگمای میاسکیتی وابسته به قوس‌های آتشفشانی در فشارهای نسبتاً پایین است. ترموبارومتري آمفیبول‌ها بر اساس مقدار Al و Ti ، فشارهای 1 ± 6 و 1 ± 7 کیلو بار به ترتیب برای توده‌های بزقوش و کلیبر و دمای 900 ± 100 درجه‌ی سانتیگراد را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: پارگازیت؛ دیوپسید؛ هستینگزیت؛ نفلین سینیت؛ کلیبر؛ بزقوش؛ رزگاه.

مقدمه

سیلیس، تا اشباع از سیلیس می‌توان اطلاعات جامعی در ارتباط با روند جدایش ماگمای میزبان و اشباع شدگی از Al و Si [۲] و گریزندگی اکسیژن در مرحله‌ی تبلور [۳، ۱] به دست آورد. همچنین با بررسی مقادیر عناصر قلیایی، Al و Ti در پیروکسن‌ها می‌توان ماگمایی یا دگرته‌ای بودن آن‌ها و ویژگی و جایگاه ماگمای سازنده‌ی (محیط زمین‌ساختی) را مشخص کرد [۴-۶]. در این مقاله، ویژگی‌های کانیایی و ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها و کلینوپیروکسن‌های توده‌های ائوسن بالایی-الیگوسن بزقوش (نفلین سینیت)، کلیبر (قلیایی

بررسی روند ترکیبی آمفیبول‌ها و کلینوپیروکسن‌ها می‌تواند برای تعیین روابط سنگ‌شناختی بین سینیت‌های همزاد استفاده شود. کانی‌های آمفیبول در سنگ‌های آذرین دارای ترکیب شیمیایی گسترده‌ای هستند و ترکیب آن‌ها طی فرایندهای ماگمایی همانند جدایش بلورین، آلودگی پوسته‌ای و واکنش با شاره‌ها می‌تواند تغییر کند [۱]. کانی آمفیبول از کانی‌های تیره اصلی سنگ‌های سینیتی است و با توجه به روند تغییر ترکیبی آمفیبول‌ها از سنگ‌های نفوذی غیر اشباع از

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴۳۶۲۶۶۴۰، نمابر: ۰۴۴۳۶۲۶۶۹۹۹، پست الکترونیکی: n_ashrafi@pnu.ac.ir

گابرو، کلینوپیروکسنیت و نفلین سینیت) و رزگاه (سودولوسیت سینیت و سینودیوریت)، به منظور بررسی ارتباط ژنتیکی با یکدیگر و آشکار ساختن ویژگی ماگمای سازنده آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

روش کار

در این بررسی، مقاطع نازک میکروسکوپی توده‌های فوئیدسینیتی بزقوش، رزگاه و کلیبر همراه با نمونه‌های کلینوپیروکسنیتی و قلیایی گابرویی کلیبر با میکروسکوپ قطبشی بررسی و پس از مشخص شدن ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌نگاشتی، نمونه‌های مناسب انتخاب و تجزیه نقطه‌ای روی برخی کانی‌های آن‌ها صورت گرفت. اغلب تجزیه‌های نقطه‌ای (جدول‌های ۱ تا ۵) در دانشگاه کانازاوا ژاپن به وسیله ریزپردازش الکترونی JEOL, JXA-8800R با ولتاژ شتابدهنده 20 kV، شدت جریان 20 nA و قطر نقطه آنالیز 3 μm صورت پذیرفته است. تعدادی از تجزیه‌ها (جدول ۶) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران به وسیله ریز پردازش الکترونی Cameca، مدل SX100(WDS) با ولتاژ شتابدهنده 15kV و شدت جریان 15nA انجام شده است.

زمین‌شناسی

ترکیب توده‌ی نفوذی کلیبر به ترتیب فراوانی از سینیت نفلین-دار، سینیت، دیوریت/گابروی نفلین‌دار، مونزونیت تا گرانودیوریت تغییر می‌کند. این توده در شمال و غرب، شیست و ماسه سنگ‌های کرتاسه و در بخش جنوبی، سنگ‌های آتشفشانی و آهکی-شیلی کرتاسه بالایی را قطع کرده و سنگ‌های مجاور آن به کوارتزیت، مرمر و هورنفلس‌های بیوتیت-آلبیت دار تبدیل شده‌اند [۷]. پیروکسنیت (کلینوپیروکسنیت) و سنگ‌های غنی از پیروکسن و هورنبلند به صورت نابرجا و در مقادیر کم در نزدیکی روستای پیغام؛ همچنین به صورت برونوم در داخل سنگ‌های نفلین سینیتی همراه با قلیایی گابرو در مجاور روستای کلالق مشاهده می‌شوند.

توده‌ی آذرین رزگاه اساساً از سودولوسیت سینیت، سودولوسیتولیت و قلیایی گابرو/دیوریت تشکیل شده است. برخوردگاه این توده با سنگ‌های قدیمی‌تر مشخص نیست و رسوب‌های کواترن آن را احاطه کرده‌اند. با این وجود از سازنده‌های موجود در نزدیکی این توده‌ی آذرین می‌توان به آتشفشانی‌های ائوسن شامل آندزیت‌بازالتی و بازالت‌الیوین‌دار در شمال و واحدهای میوسن شامل مارن ژیبس‌دار، آهک مارنی و ژیبس اشاره کرد.

توده‌ی نفوذی بزقوش به ترتیب فراوانی از سنگ‌های بیوتیت سینیت نفلین‌دار، سودولوسیت سینیت، دایک‌های میکروگرانیتی، دایک‌های بازالتی و پگماتیت‌های سینیتی فوئیددار تشکیل شده است. بافت سنگ‌های تشکیل دهنده آن از دانه‌ای تا پورفیری تغییر می‌کند. سنگ میزبان این توده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن شامل آندزیت پورفیری، تراکی آندزیت، تراکیت و توف تشکیل شده است. در شرق و جنوب آن، دگرگونی مجاورتی محدودی رخ داده و سنگ‌های میزبان به اپیدوت هورنفلس و یا کلریت هورنفلس دگرگون شده‌اند [۸].

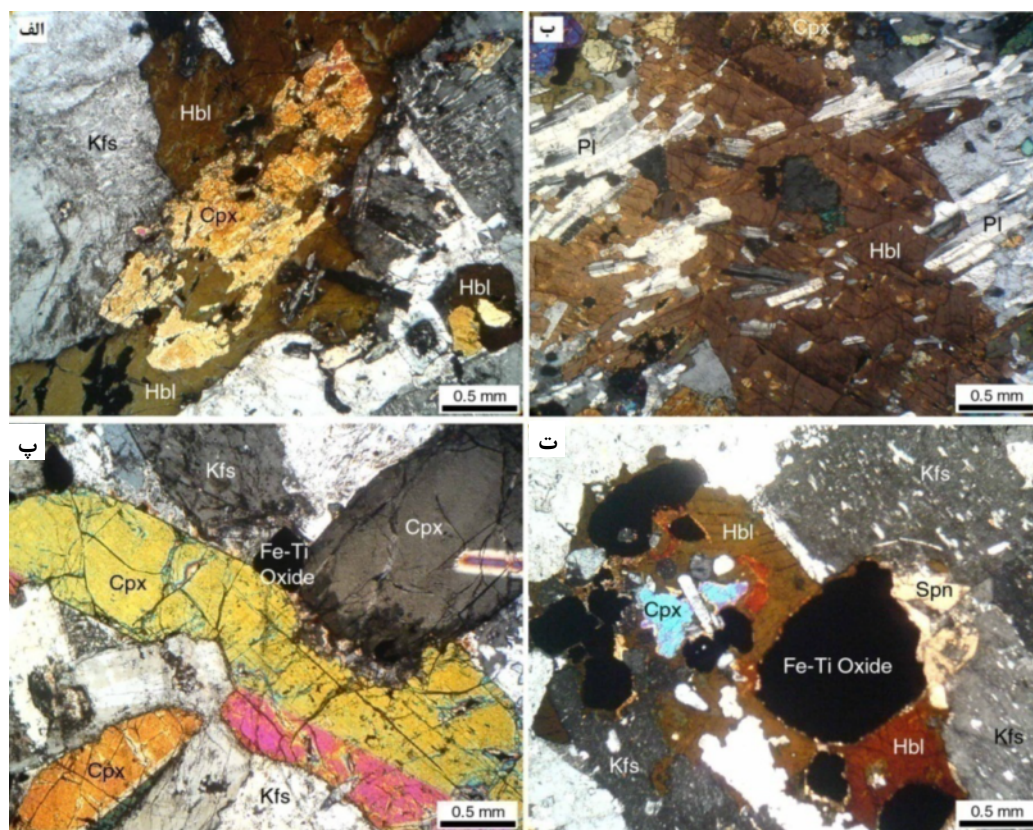
سنگ نگاری

توده‌ی آذرین کلیبر: نفلین سینیت‌های کلیبر با بافت دانه‌ای و ریز بلور پورفیری دانه‌دار مشخص می‌شوند. مهمترین و فراوان-ترین کانی سنگ‌ساز در سنگ‌های نفلین سینیتی، پتاسیم فلدسپار (شامل اورتوکلاز و آنورتوکلاز بر اساس بررسی‌های XRD)، که معمولاً با بافت‌های میکروپرتیتی و پوئی‌کلیتیک و ماکل ساده به خصوص در انواع دارای بافت پورفیری مشخص می‌شود. پلاژیوکلازها بر اساس زوایای خاموشی غالباً در حد آلبیت تا الیگوکلاز بوده و گاهی دارای منطقه‌بندی و بافت پوئی‌کلیتیک‌اند. نفلین معمولاً کمتر از ۱۰ درصد بوده و به صورت دانه‌های بی‌شکل تا شش گوش حضور دارد. آمفیبول فراوانی بیشتری نسبت به توده‌ی بزقوش داشته و به صورت دانه‌های مجزا و یا در حاشیه‌ی کلینوپیروکسن‌ها یافت می‌شود (شکل ۱ الف)؛ مقدار آن در برخی نمونه‌ها به بیش از ۱۰ درصد نیز می‌رسد. بیوتیت در مقادیر معمولاً کمتر از ۵ درصد در سنگ‌های نفلین سینیتی مشاهده می‌شود. گارنت در سنگ‌های فوئیددار تفریق یافته‌تر به صورت شکل‌دار و بین دانه‌ای یافت می‌شود؛ گارنت ویژگی‌های نوع ملانیت (تیتانیوم آندزادیت) را نشان می‌دهد [۹]. تیتانیت معمولاً به صورت شکل‌دار و انباشتی در کنار آمفیبول مشاهده می‌شود.

بافت سنگ‌های قلیایی گابرو/دیوریت دانه‌دار بوده و معمولاً از کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، بیوتیت، آمفیبول، پتاسیم فلدسپار، اکسید Fe-Ti و نفلین تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلازها گاهی منطقه‌بندی نشان می‌دهند. کلینوپیروکسن-ها شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار بوده و رنگشان سبز کمرنگ یا قهوه‌ای کمرنگ‌اند. مقدار کلینوپیروکسن تا ۳۵ درصد می‌رسد. آمفیبول‌ها به صورت نیمه شکل‌دار بوده، رنگ زرد قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به سبز داشته و بافت پوئی‌کلیتیک نشان می‌-

سودولوسیت به صورت بلورهای دوزنقه‌وجهی کامل (تا ۲ سانتی متر) و انباشت (یا گلومروپورفیریتیک تا ۵ سانتی متر) مشاهده می‌شود. پتاسیم فلدسپار فراوانترین کانی در سودولوسیت سینیت‌هاست و بندرت حالت میکروپرتیتی دارد؛ همچنین این کانی با داشتن بافت پوئی کیلیتیک، ماکل کارلسباد و رس-شدگی شدید بویژه در هسته‌ی خود مشخص می‌شود. پلاژیوکلاز در مقادیر کمتر حضور داشته و گاهی زئولیت‌شدگی و رس‌شدگی مشخصی را نشان می‌دهد. معمولاً پلاژیوکلازها ماکل ظریف و رده‌بندی نشان می‌دهند. نفیلین معمولاً کمتر از ۱۰ درصد در نمونه‌ها حضور دارد. کلینوپیروکسن معمولاً قهوه‌ای کمرنگ بوده و به شکل بلورهای منشوری طویل که طول آنها تا ۱ سانتیمتر نیز می‌رسد، به عنوان مهمترین کانی فرومنیزین این سنگ‌ها محسوب شده و مقدارش به حدود ۵ درصد می‌رسد (شکل ۱ پ). الیون در اغلب نمونه‌ها حضور داشته؛ مقدارش کمتر از ۳ درصد بوده و به صورت تازه و ایدینگزیته شده یافت می‌شود. آپاتیت مهمترین کانی عارضه‌ای به شمار رفته تا آنجا که مقدار آن تا ۲ درصد نیز می‌رسد.

دهد (شکل ۱ ب). بیوتیت فراوانی بیشتری نسبت به آمفیبول دارد و دارای ترکیب بیوتیت منیزیم‌دار است [۱۰]. پتاسیم فلدسپارها معمولاً به صورت میان دانه‌ای بوده و گاهی حالت میکروپرتیتی دارند. در سنگ‌های کلینوپیروکسنیتی، کانی کلینوپیروکسن (دیوپسید) معمولاً بیش از ۸۰ درصد سنگ را تشکیل داده و رنگ آن از قهوه‌ای کمرنگ تا سبز کمرنگ متغیر است. اکسیدهای Fe-Ti به صورت میان دانه‌ای و شکل‌دار بوده که گاهی دارای ادخال‌های سبز رنگ اسپینل دیده می‌شوند. در این سنگ‌ها در مواردی پیروکسن‌ها با حاشیه‌ای از آمفیبول و یا بیوتیت مشاهده می‌شوند. فراوانی آمفیبول در این سنگ‌ها گاهی به بیش از ۳۰ درصد سنگ می‌رسد که در این حالت معمولاً پتاسیم فلدسپار و پلاژیوکلاز سنگ را همراهی می‌کنند. **توده آذرین رزگاه:** سودولوسیت به عنوان کانی شاخص و فراوان در سودولوسیتولیت به شمار رفته و معمولاً بیش از ۵۰ درصد سنگ را تشکیل می‌دهد. مقدار آن در سودولوسیت سینیت‌ها معمولاً بین ۳۰ تا ۵۰ درصد بوده و در کنار سنگ-های بخش حاشیه‌ای به کمتر از ۱۰ درصد نیز می‌رسد.



شکل ۱ تصاویر میکروسکوپی از آمفیبولها و کلینوپیروکسنهای مورد بررسی؛ الف) تشکیل آمفیبول در حاشیه کلینوپیروکسن در نفیلین سینیت کلیبر؛ ب) آمفیبول درشت پوئی کیلیتیک در آلکالی گابرو کلیبر؛ پ) بلورهای کشیده و ماکلدار کلینوپیروکسن در سودولوسیت سینیت رزگاه؛ و ت) بلور درشت آمفیبول در کنار کلینوپیروکسن، تیتانیت و اکسید آهن-تیتانیوم در نفیلین سینیت بزقوش.

فروپارگازیت $\text{NaCa}_2(\text{Fe}^{2+}_4\text{Al})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ و نفلین سینیت بزقوش فروپارگازیت است (شکل ۲). فرمول معرف آمفیبول (پارگازیت) بزقوش می‌تواند به صورت $\text{Na}_{0.72}\text{K}_{0.40}\text{Ca}_{1.92}\text{Na}_{0.04}\text{Mn}_{0.03}(\text{Fe}^{2+}_{2.70}\text{Mg}_{1.53}\text{Ti}_{0.40}\text{Al}_{0.28}\text{Mn}_{0.04}\text{Fe}^{3+}_{0.02})\text{Si}_{6.08}\text{Al}_{1.92}\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ در نظر گرفته شود. بنابراین فرمول، مقادیر قابل توجهی از K در موقعیت A وارد شده و این خود موجب شده است که مجموع کاتیون‌های

جدول ۱ نتایج تجزیه نقطه‌ای آمفیبول‌های آلکالی گابروی کلیبر.

Sample	2K1	2K2	2K3	2K4	2K5	2K6	2K7	2K8	2K9	2K10
SiO ₂	۳۸.۷۴	۳۸.۵۸	۳۸.۸۷	۳۸.۸۳	۳۸.۷۷	۳۹.۱۳	۳۸.۷۳	۳۸.۹۳	۳۸.۹۰	۳۹.۰۰
TiO ₂	۲.۶۳	۲.۵۶	۲.۵۷	۲.۶۶	۲.۵۹	۲.۵۴	۲.۰۷	۲.۲۲	۲.۲۹	۲.۲۰
Al ₂ O ₃	۱۳.۵۸	۱۳.۴۸	۱۳.۵۸	۱۳.۶۰	۱۳.۵۳	۱۳.۷۳	۱۳.۷۵	۱۳.۸۲	۱۳.۵۷	۱۳.۶۳
FeO	۱۷.۷۸	۱۷.۵۸	۱۷.۷۱	۱۷.۸۳	۱۷.۸۰	۱۷.۶۸	۱۸.۱۱	۱۷.۸۳	۱۸.۱۲	۱۷.۷۰
MnO	۰.۴۹	۰.۴۶	۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۴۳	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۴۴	۰.۴۸
MgO	۹.۰۳	۹.۰۹	۹.۰۷	۹.۱۷	۹.۱۹	۹.۲۹	۹.۱۵	۹.۲۲	۹.۲۳	۹.۳۶
CaO	۱۱.۹۲	۱۱.۸۵	۱۱.۸۷	۱۱.۷۲	۱۱.۹۱	۱۱.۸۳	۱۱.۸۷	۱۱.۸۱	۱۱.۸۰	۱۱.۸۵
Na ₂ O	۲.۲۲	۲.۲۲	۲.۱۹	۲.۲۶	۲.۲۲	۲.۲۱	۲.۲۱	۲.۲۱	۲.۲۴	۲.۲۱
K ₂ O	۲.۳۸	۲.۴۲	۲.۴۴	۲.۴۴	۲.۳۵	۲.۴۰	۲.۴۳	۲.۴۴	۲.۴۳	۲.۴۴
Total	۹۸.۸۶	۹۸.۴۹	۹۸.۷۴	۹۸.۹۶	۹۸.۷۸	۹۹.۲۱	۹۸.۷۷	۹۸.۹۵	۹۹.۱۲	۹۸.۸۷
Cations on the basis of 23 (O)										
T site										
Si	۵.۹۰۴	۵.۸۹۶	۵.۹۲۳	۵.۹۰۳	۵.۹۰۰	۵.۹۱۹	۵.۸۹۳	۵.۹۰۷	۵.۸۹۶	۵.۹۲۰
Al	۲.۰۹۶	۲.۱۰۴	۲.۰۷۷	۲.۰۹۷	۲.۱۰۰	۲.۰۸۱	۲.۱۰۷	۲.۰۹۳	۲.۱۰۴	۲.۰۸۰
Sum	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰	۸.۰۰۰
C site										
Al	۰.۳۴۲	۰.۳۲۳	۰.۳۵۹	۰.۳۳۷	۰.۳۲۵	۰.۳۶۵	۰.۳۵۶	۰.۳۷۷	۰.۳۱۹	۰.۳۵۶
Fe ³⁺	۰.۰۷۵	۰.۱۳۰	۰.۰۸۷	۰.۱۳۰	۰.۱۳۳	۰.۱۲۷	۰.۱۲۲	۰.۱۷۰	۰.۱۲۴	۰.۱۷۷
Ti	۰.۳۰۲	۰.۲۹۴	۰.۲۹۴	۰.۳۰۴	۰.۲۹۶	۰.۲۸۹	۰.۲۳۷	۰.۲۵۴	۰.۲۶۱	۰.۲۵۱
Mg	۲.۰۵۲	۲.۰۷۱	۲.۰۶۰	۲.۰۷۸	۲.۰۸۵	۲.۰۹۵	۲.۰۷۶	۲.۰۸۶	۲.۱۰۵	۲.۱۱۸
Fe ²⁺	۲.۱۹۱	۲.۱۵۱	۲.۱۷۰	۲.۱۲۳	۲.۱۳۲	۲.۰۹۸	۲.۰۸۰	۲.۰۸۴	۲.۰۶۳	۲.۰۶۶
Mn	۰.۰۳۹	۰.۰۳۲	۰.۰۳۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۳۷	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۸	۰.۰۳۱
Ca	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
Sum	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰	۵.۰۰۰
B site										
Fe ²⁺	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۱۳	۰.۰۰۰	۰.۰۱۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۸	۰.۰۱۱	۰.۰۰۳
Mn	۰.۰۲۵	۰.۰۲۸	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۷	۰.۰۳۷	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۳۱
Ca	۱.۹۴۷	۱.۹۴۰	۱.۹۳۸	۱.۹۰۹	۱.۹۴۳	۱.۹۱۷	۱.۹۳۵	۱.۹۲۰	۱.۹۱۵	۱.۹۲۶
Na	۰.۰۲۹	۰.۰۳۲	۰.۰۳۳	۰.۰۴۹	۰.۰۳۱	۰.۰۴۴	۰.۰۳۵	۰.۰۴۳	۰.۰۴۵	۰.۰۳۹
Sum	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰	۲.۰۰۰
A site										
Ca	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰
Na	۰.۶۵۶	۰.۶۲۵	۰.۶۱۵	۰.۶۱۹	۰.۶۲۴	۰.۶۰۴	۰.۶۱۸	۰.۶۰۸	۰.۶۱۴	۰.۶۱۲
K	۰.۴۶۲	۰.۴۷۱	۰.۴۷۴	۰.۴۷۳	۰.۴۵۷	۰.۴۶۲	۰.۴۷۲	۰.۴۷۳	۰.۴۷۰	۰.۴۷۲
Sum	۱.۱۱۷	۱.۰۹۶	۱.۰۹۰	۱.۰۹۱	۱.۰۸۱	۱.۰۶۶	۱.۰۹۰	۱.۰۸۱	۱.۰۸۴	۱.۰۸۴
Cations	۱۶.۱۱۷	۱۶.۰۹۶	۱۶.۰۹۰	۱۶.۰۸۱	۱۶.۰۸۱	۱۶.۰۶۶	۱۶.۰۹۰	۱۶.۰۸۱	۱۶.۰۸۴	۱۶.۰۸۴
Sum_Oxy	۲۳.۰۰۷	۲۳.۰۰۰	۲۳.۰۰۷	۲۳.۰۱۰	۲۳.۰۰۰	۲۳.۰۰۵	۲۳.۰۰۰	۲۳.۰۰۰	۲۳.۰۰۰	۲۳.۰۰۰
Mg(Mg+Fe ²⁺)	۰.۴۸۴	۰.۴۹۱	۰.۴۸۷	۰.۴۹۳	۰.۴۹۴	۰.۴۹۸	۰.۴۹۹	۰.۴۹۹	۰.۵۰۴	۰.۵۰۶

توده آذرین بزقوش: سینیت‌های نفلین دار ترکیب غالب توده‌ی آذرین آلکالن بزقوش را تشکیل می‌دهند. پتاسیم فلدسپار کانی فراوان و اصلی در این سنگها بوده و غالباً بافت میکروپریتیتی دارد. پلاژیوکلازها بر اساس زاویه‌ی خاموشی و ماکل‌بندی ترکیب آلبیت تا الیگوکلاز دارند. در برخی نمونه‌ها پلاژیوکلازها دارای منطقه‌بندی هستند. نفلین به صورت بلورهای مجزا و یا هم‌رشدی با فلدسپارها یافت می‌شود. بیوتیت به عنوان مهمترین کانی آبدار تا مقادیر ۱۰ درصد در نمونه‌ها مشاهده شده و غالباً کانیهای کدر و مافیک را همراهی می‌کند. کلینوپیروکسن، به عنوان کانی فرعی، کمتر از ۵ درصد بوده؛ معمولاً چند رنگی نداشته، گاهی بافت پوئی‌کلیتیک از خود نشان می‌دهد. الیون در برخی نمونه‌ها در مقادیر کمتر از ۲ درصد حضور دارد. کانی اخیر معمولاً در کنار سایر کانیهای تیره و اکسیدهای آهن مشاهده شده و گاهی به‌وسیله‌ی کلینوپیروکسن دربرگرفته می‌شود. آمفیبول معمولاً به صورت کانی‌های مجزا و یا در حاشیه کلینوپیروکسن و بیوتیت مشاهده می‌شود و مقدار آن معمولاً در حدود ۳ درصد است (شکل ۱).

ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها

فرمول عمومی کانی‌های گروه آمفیبول به صورت $\text{A}_{0-1}\text{B}_2\text{C}_5\text{IVT}_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2$ است [۱۱، ۱]؛ که در آن A: کاتیونهای بزرگ (Na, K)؛ B: شامل کاتیونهای مختلف (Ca, Mg, Fe²⁺, Mn, Na)؛ C: کاتیونهای با اندازه‌ی متوسط (Mg, Mn, Fe²⁺)؛ و T: شامل کاتیونهای (Al, Si) را مشخص می‌سازند. ترکیب آمفیبول‌های بررسی شده از قلیایی-گابرو و نفلین-سینیت کلیبر و سینیت نفلین‌دار بزقوش در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. محاسبه‌ی عنصر سنجی به صورت میانگین روش 15eNK و 13eCNK و با فرض ۲۳ اکسیژن انجام گرفته است؛ لازم به یادآوری است که محاسبه به روش‌های 15eNK و 13eCNK به ترتیب کمترین و بیشترین نسبت آهن فریک را به دست می‌دهند. محاسبه و اختصاص Fe²⁺ و Fe³⁺ به موقعیت‌های مربوطه به ویژه زمانی که $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ یا $\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+} + \text{VIAl})$ آمفیبول‌ها نزدیک به ۰/۵ باشد مهم است، زیرا ممکن است برای یک ترکیب نامگذاری‌های متفاوتی صورت گیرد [۱۱، ۱۲].

بر اساس نمودار Si نسبت به $\text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})$ ترکیب آمفیبول‌های قلیایی-گابرو و نفلین-سینیت کلیبر منیزیه‌هسته‌سینیت‌گازیت $\text{NaCa}_2(\text{Mg}_4\text{Fe}^{3+})\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

جدول ۳ نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای آمفیبول‌های نفلین سینیت بزقوش

Sample	31B1	31B2	31B3	31B4	31B5	31B6	31B7	31B8	31B9	31B10
SiO ₂	۳۸٫۹۸	۳۹٫۳۵	۳۹٫۷۰	۳۹٫۴۰	۳۹٫۱۲	۳۹٫۳۶	۳۹٫۳۹	۳۹٫۶۶	۳۹٫۲۰	۳۹٫۲۰
TiO ₂	۳٫۲۹	۳٫۶۴	۳٫۶۲	۳٫۷۰	۳٫۴۰	۳٫۴۱	۳٫۶۵	۳٫۷۰	۳٫۳۶	۳٫۶۲
Al ₂ O ₃	۱۱٫۹۹	۱۱٫۸۴	۱۱٫۹۹	۱۱٫۹۳	۱۱٫۹۰	۱۱٫۸۷	۱۱٫۹۹	۱۲٫۱۴	۱۱٫۹۹	۱۱٫۹۴
FeO	۲۱٫۲۵	۲۰٫۱۰	۲۰٫۲۰	۲۰٫۳۷	۲۱٫۳۶	۲۲٫۷۹	۲۰٫۲۷	۱۹٫۶۸	۲۰٫۶۳	۲۰٫۲۴
MnO	۰٫۶۰	۰٫۶۲	۰٫۵۷	۰٫۵۴	۰٫۶۳	۰٫۶۸	۰٫۵۹	۰٫۵۰	۰٫۵۷	۰٫۵۹
MgO	۶٫۴۵	۶٫۷۹	۶٫۹۲	۶٫۷۸	۶٫۲۱	۶٫۳۱	۶٫۶۲	۷٫۱۶	۶٫۷۵	۶٫۹۴
CaO	۱۱٫۵۵	۱۱٫۶۶	۱۱٫۵۹	۱۱٫۵۳	۱۱٫۵۸	۱۱٫۶۸	۱۱٫۵۵	۱۱٫۵۲	۱۱٫۵۴	۱۱٫۵۸
Na ₂ O	۲٫۵۱	۲٫۶۷	۲٫۵۷	۲٫۶۰	۲٫۵۳	۲٫۳۹	۲٫۵۸	۲٫۷۳	۲٫۵۶	۲٫۵۷
K ₂ O	۱٫۹۷	۱٫۹۰	۱٫۸۸	۱٫۸۸	۱٫۹۶	۰٫۰۴	۱٫۹۵	۱٫۹۱	۲٫۰۵	۱٫۸۸
Total	۹۸٫۵۹	۹۸٫۵۴	۹۹٫۰۴	۹۸٫۷۲	۹۸٫۶۸	۹۷٫۵۲	۹۸٫۵۹	۹۸٫۹۹	۹۸٫۶۵	۹۸٫۶۶
Cations on the basis of 23 (O)										
T site										
Si	۶٫۰۸۵	۶٫۱۳۹	۶٫۱۴۵	۶٫۱۷۲	۶٫۱۱۵	۶٫۰۹۲	۶٫۱۴۲	۶٫۱۳۶	۶٫۱۰۸	۶٫۰۹۸
Al	۱٫۹۱۵	۱٫۸۶۱	۱٫۸۵۵	۱٫۸۷۳	۱٫۸۸۵	۱٫۹۰۸	۱٫۸۵۸	۱٫۸۶۴	۱٫۸۹۲	۱٫۹۰۲
Sum	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰
C site										
Al	۰٫۳۸۹	۰٫۳۱۵	۰٫۳۳۰	۰٫۳۱۳	۰٫۳۰۶	۰٫۲۵۵	۰٫۳۴۴	۰٫۳۴۸	۰٫۳۰۸	۰٫۲۸۶
Fe ³⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۴۳۷	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Ti	۰٫۳۸۷	۰٫۴۲۷	۰٫۴۲۱	۰٫۴۳۳	۰٫۴۰۰	۰٫۲۸۰	۰٫۴۲۸	۰٫۴۳۱	۰٫۳۹۳	۰٫۴۲۴
Mg	۱٫۵۰۲	۱٫۵۷۸	۱٫۵۹۷	۱٫۵۷۱	۱٫۴۴۶	۱٫۴۵۵	۱٫۵۴۰	۱٫۶۵۱	۱٫۵۶۷	۱٫۶۱۰
Fe ²⁺	۲٫۷۷۴	۲٫۶۲۲	۲٫۶۱۴	۲٫۶۴۸	۲٫۷۹۳	۲٫۵۱۳	۲٫۶۴۴	۲٫۵۳۳	۲٫۶۸۹	۲٫۶۳۴
Mn	۰٫۰۴۷	۰٫۰۵۷	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۵	۰٫۰۵۵	۰٫۰۵۹	۰٫۰۴۵	۰٫۰۳۳	۰٫۰۴۳	۰٫۰۴۶
Ca	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Sum	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰
B site										
Fe ²⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Mn	۰٫۰۳۲	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۶	۰٫۰۳۵	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۹	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۲
Ca	۱٫۹۳۲	۱٫۹۴۸	۱٫۹۲۲	۱٫۹۲۲	۱٫۹۳۹	۱٫۹۳۷	۱٫۹۳۰	۱٫۹۰۹	۱٫۹۲۹	۱٫۹۳۰
Na	۰٫۰۳۶	۰٫۰۲۸	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۲	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴۹	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۷
Sum	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰
A site										
Ca	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Na	۰٫۷۲۴	۰٫۷۸۰	۰٫۷۳۰	۰٫۷۴۱	۰٫۷۳۳	۰٫۶۸۲	۰٫۷۴۱	۰٫۷۶۹	۰٫۷۳۵	۰٫۷۳۷
K	۰٫۳۹۱	۰٫۳۷۷	۰٫۳۷۲	۰٫۳۷۳	۰٫۳۹۱	۰٫۰۰۷	۰٫۳۸۹	۰٫۳۷۷	۰٫۴۰۷	۰٫۳۹۳
Sum	۱٫۱۱۵	۱٫۱۵۷	۱٫۱۰۲	۱٫۱۱۵	۱٫۱۲۴	۰٫۶۸۹	۱٫۱۳۰	۱٫۱۴۶	۱٫۱۴۲	۱٫۱۳۰
Cations	۱۶٫۱۱۵	۱۶٫۱۵۷	۱۶٫۱۰۲	۱۶٫۱۱۵	۱۶٫۱۲۴	۱۶٫۶۸۹	۱۶٫۱۳۰	۱۶٫۱۴۶	۱۶٫۱۴۲	۱۶٫۱۳۰
Sum_Oxy	۲۳٫۱۱۴	۲۳٫۱۲۹	۲۳٫۱۸۹	۲۳٫۱۸۹	۲۳٫۱۵۶	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۲۱۷	۲۳٫۲۱۲	۲۳٫۱۵۴	۲۳٫۱۶۳
Mg(Mg+Fe ²⁺)	۰٫۳۵۱	۰٫۳۷۶	۰٫۳۷۹	۰٫۳۷۲	۰٫۳۴۱	۰٫۳۶۷	۰٫۳۶۸	۰٫۳۹۳	۰٫۳۶۸	۰٫۳۷۹

جدول ۲ نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای آمفیبول‌های نفلین سینیت کلیر

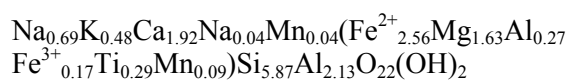
Sample	63K1	63K2	63K3	63K4	63K5	63K6	63K7	63K8	63K9	63K10
SiO ₂	۳۷٫۹۲	۳۷٫۵۲	۳۷٫۸۲	۳۷٫۷۹	۳۸٫۰۲	۳۷٫۹۰	۳۸٫۰۹	۳۷٫۵۲	۳۷٫۴۵	۳۷٫۳۶
TiO ₂	۱٫۷۵	۲٫۳۲	۲٫۶۱	۲٫۸۱	۲٫۹۲	۱٫۹۴	۱٫۸۷	۲٫۳۱	۱٫۸۶	۱٫۸۸
Al ₂ O ₃	۱۳٫۰۹	۱۳٫۲۷	۱۳٫۹۳	۱۳٫۰۳	۱۳٫۱۲	۱۳٫۹۸	۱۳٫۹۳	۱۳٫۲۷	۱۳٫۲۸	۱۳٫۴۱
FeO	۲۱٫۳۶	۲۱٫۶۰	۲۰٫۷۵	۲۰٫۲۰	۲۰٫۱۹	۲۱٫۲۰	۲۱٫۶۵	۲۲٫۰۶	۲۲٫۲۸	۲۲٫۰۷
MnO	۰٫۹۶	۰٫۹۹	۰٫۹۴	۰٫۸۸	۰٫۸۷	۱٫۰۴	۱٫۱۰	۰٫۹۳	۱٫۰۱	۱٫۰۰
MgO	۶٫۶۸	۶٫۶۲	۶٫۷۹	۷٫۰۰	۷٫۰۵	۶٫۷۰	۶٫۶۶	۶٫۲۶	۶٫۴۱	۶٫۳۳
CaO	۱۱٫۶۲	۱۱٫۵۵	۱۱٫۵۳	۱۱٫۸۰	۱۱٫۵۶	۱۱٫۴۳	۱۱٫۵۸	۱۱٫۴۸	۱۱٫۳۸	۱۱٫۵۱
Na ₂ O	۲٫۵۱	۲٫۵۶	۲٫۴۲	۲٫۴۳	۲٫۴۱	۲٫۳۷	۲٫۵۳	۲٫۳۹	۲٫۵۰	۲٫۲۷
K ₂ O	۲٫۲۶	۲٫۲۸	۲٫۳۰	۲٫۲۷	۲٫۳۴	۲٫۳۰	۲٫۲۷	۲٫۲۸	۲٫۳۱	۲٫۲۴
Total	۹۸٫۱۷	۹۸٫۷۳	۹۸٫۰۹	۹۸٫۲۱	۹۸٫۴۸	۹۷٫۸۵	۹۸٫۶۷	۹۸٫۷۰	۹۸٫۵۷	۹۸٫۲۷
Cations on the basis of 23 (O)										
T site										
Si	۵٫۹۳۰	۵٫۸۴۵	۵٫۹۱۹	۵٫۹۰۱	۵٫۹۱۴	۵٫۹۳۶	۵٫۹۳۱	۵٫۸۵۵	۵٫۸۴۱	۵٫۸۴۴
Al	۲٫۰۷۰	۲٫۱۵۵	۲٫۰۸۱	۲٫۰۹۹	۲٫۰۸۶	۲٫۰۶۴	۲٫۰۶۹	۲٫۱۵۵	۲٫۱۵۹	۲٫۱۵۶
Sum	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰
C site										
Al	۰٫۳۴۱	۰٫۲۷۹	۰٫۳۰۱	۰٫۲۹۸	۰٫۳۱۷	۰٫۳۳۰	۰٫۳۰۲	۰٫۳۱۱	۰٫۲۹۸	۰٫۳۱۶
Fe ³⁺	۰٫۱۶۵	۰٫۱۸۲	۰٫۰۷۷	۰٫۰۱۱	۰٫۰۴۸	۰٫۱۸۶	۰٫۱۸۸	۰٫۱۸۴	۰٫۳۱۶	۰٫۲۸۹
Ti	۰٫۲۰۶	۰٫۲۷۲	۰٫۳۰۸	۰٫۳۳۰	۰٫۳۴۱	۰٫۲۲۸	۰٫۲۱۹	۰٫۲۲۲	۰٫۲۱۸	۰٫۲۲۱
Mg	۱٫۵۵۷	۱٫۵۳۸	۱٫۵۸۳	۱٫۶۳۰	۱٫۶۳۵	۱٫۵۶۴	۱٫۵۶۶	۱٫۴۵۵	۱٫۴۹۱	۱٫۴۷۶
Fe ²⁺	۲٫۶۲۹	۲٫۶۳۲	۲٫۶۳۸	۲٫۶۳۷	۲٫۵۹۹	۲٫۵۹۱	۲٫۶۲۲	۲٫۶۹۵	۲٫۵۹۰	۲٫۵۹۹
Mn	۰٫۱۰۳	۰٫۰۹۷	۰٫۰۹۳	۰٫۱۰۴	۰٫۰۸۱	۰٫۱۰۱	۰٫۱۱۳	۰٫۰۸۴	۰٫۰۸۸	۰٫۱۰۰
Ca	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Sum	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰
B site										
Fe ²⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Mn	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۱	۰٫۰۱۲	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۸	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۸	۰٫۰۴۶	۰٫۰۳۳
Ca	۱٫۹۴۶	۱٫۹۲۷	۱٫۹۳۳	۱٫۹۷۵	۱٫۹۲۷	۱٫۹۱۹	۱٫۹۳۱	۱٫۹۱۸	۱٫۹۰۲	۱٫۹۳۰
Na	۰٫۰۲۹	۰٫۰۳۹	۰٫۰۳۶	۰٫۰۱۴	۰٫۰۳۹	۰٫۰۴۴	۰٫۰۳۷	۰٫۰۴۴	۰٫۰۵۲	۰٫۰۳۷
Sum	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰
A site										
Ca	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Na	۰٫۷۳۰	۰٫۷۳۵	۰٫۶۹۹	۰٫۷۲۳	۰٫۶۸۸	۰٫۶۷۵	۰٫۷۲۸	۰٫۶۷۸	۰٫۷۰۳	۰٫۶۸۱
K	۰٫۴۵۰	۰٫۴۵۳	۰٫۴۵۹	۰٫۴۵۱	۰٫۴۶۴	۰٫۴۵۹	۰٫۴۳۰	۰٫۴۳۳	۰٫۴۶۰	۰٫۴۶۶
Sum	۱٫۱۸۱	۱٫۱۸۸	۱٫۱۵۸	۱٫۱۷۴	۱٫۱۵۲	۱٫۱۳۴	۱٫۱۷۷	۱٫۱۵۱	۱٫۱۶۳	۱٫۱۴۷
Cations	۱۶٫۱۸۱	۱۶٫۱۸۸	۱۶٫۱۵۸	۱۶٫۱۷۴	۱۶٫۱۵۲	۱۶٫۱۳۴	۱۶٫۱۷۷	۱۶٫۱۵۱	۱۶٫۱۶۳	۱۶٫۱۴۷
Sum_Oxy	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۱۷	۲۳٫۰۱۵	۲۳٫۰۳۷	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۰۰	۲۳٫۰۰۰
Mg(Mg+Fe ²⁺)	۰٫۳۷۲	۰٫۳۶۹	۰٫۳۷۵	۰٫۳۸۲	۰٫۳۸۸	۰٫۳۷۶	۰٫۳۷۰	۰٫۳۵۱	۰٫۳۶۵	۰٫۳۶۲

دارای نفلین در نورم (Monteregian Hills)، گابرو/ادیوریت نفلین بهنجار، گرانیت و سینیت با کوارتز بهنجار، و سینیت پرقلیایی از WMMS (White Mountain Magma Series) مورد مقایسه قرار گرفته است؛ چنانکه از نمودار (شکل ۲ ت) پیداست آمفیبول‌های مورد بررسی به ترکیب آمفیبول‌ها از سنگ‌های نفلین بهنجار Monteregian Hills شباهت داشته و از نظر مقادیر $Ca^{IV}Al$ نسبت به انواع موجود در سنگ‌های کوارتز بهنجار غنی شده‌ترند [۴]. این نمودار و نمودار (شکل ۳ ب) همچنین نشان می‌دهد که آمفیبول‌های کلیر نسبت به بزقوش از لحاظ $Ca^{IV}Al$ غنی بوده و جان‌نشینی

این موقعیت در اغلب موارد بیش از مقدار پیشنهادی [۱۱] یعنی یک باشد. ترکیب میانگین آمفیبول (هستینگزیت) قلیایی گابروی کلیر را می‌توان به صورت

$$Na_{0.60}K_{0.49}Ca_{1.93}Na_{0.04}Mn_{0.03}(Mg_{2.12}Fe^{2+}_{2.05}Al_{0.30}Fe^{3+}_{0.22}Ti_{0.27}Mn_{0.03})Si_{5.88}Al_{2.12}O_{22}(OH)_2$$

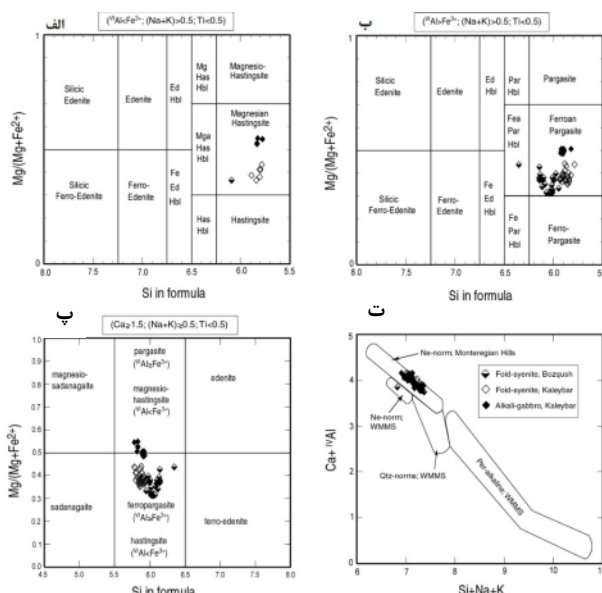
نفلین سینیت کلیر دارای آمفیبولی با ترکیب میانگین زیر است؛



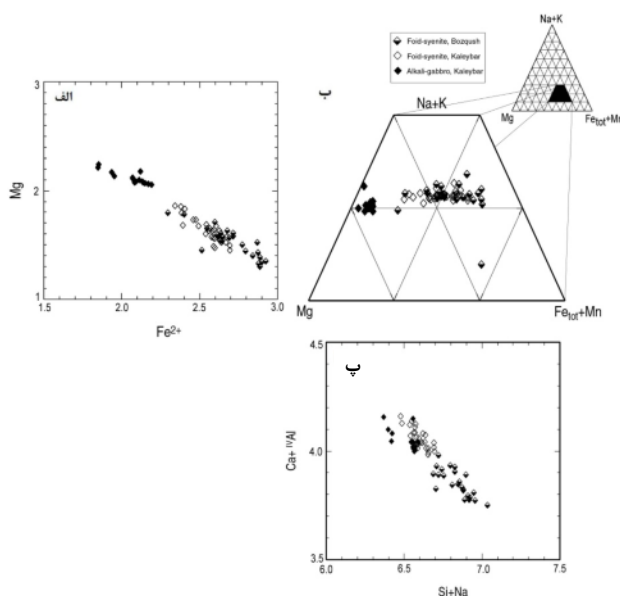
ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی، در نمودار Si+Na+K در مقابل $Ca^{IV}Al$ با آمفیبول‌های کامپتونیت و تراکی آندزیت

از آرایش دگرنهادی (کشیده شدن به گوشه ی $(Na+K)$) پیروی نمی کنند و تبادل $Mg=Fe$ و $Mg=Mn$ بین آنها مهم بوده است (شکل ۳ ب).

در بین آنها مهم بوده است. جانشینی $Ca^{IV}Al=SiNa$ نیز از مهم ترین جانشینی ها برای آمفیبول های مورد بررسی است (شکل ۳ الف). نمودار مثلی $Mg-(Na+K)$ ($Fe_{tot}+Mn$) [۵] نشان می دهد که آمفیبول های مورد بررسی



شکل ۲ طبقه بندی آمفیبول های مورد بررسی؛ الف) نمودار Si در مقابل $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ برای آمفیبول های با $^{VI}Al < Fe^{3+}$ که در آن برخی آمفیبول ها در محدوده هستینگزیت منیزیم دار ترسیم می شوند؛ ب) نمودار Si در مقابل $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ برای آمفیبول های با $^{VI}Al > Fe^{3+}$ که در آن معمولاً آمفیبول های مورد بررسی در محدوده پارگازیت آهنگار واقع می شوند؛ پ) نمودار Si در مقابل $Mg/(Mg+Fe^{2+})$ [۱۱] که تمام نقاط آنالیز شده در آن ترسیم شده اند؛ ت) مقایسه آمفیبول های مورد بررسی با برخی آمفیبول ها از Monterey Hills و White WMMS (Mountain Magma Series) [۴].



شکل ۳ نمودارهای نشان دهنده ی برخی از جانشینی های عنصری مهم؛ الف) نمودار Fe^{2+} در مقابل Mg ؛ ب) نمودار مثلی $Mg-(Na+K)$ ($Fe_{tot}+Mn$)؛ پ) نمودار $Si+Na$ در مقابل $Ca^{IV}Al$ [۵].

ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها

فرمول عمومی کانی‌های گروه پیروکسن به صورت $[(M_2)(M_1)(Si,Al)_2O_6]$ ، $M_2M_1T_2O_6$ ، است که مکان M_2 به‌وسیله‌ی Ca (پیروکسن‌های کلسیک)، Na (پیروکسن-های سدیک)، Mn ، Fe^{2+} ، Mg ، مکان M_1 به‌وسیله‌ی Al ، Cr ، Fe^{3+} ، Ti ، Fe^{2+} ، Mg و مکان T به‌وسیله‌ی Si ، Al اشغال می‌شود. ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های معرف مناطق مورد بررسی در جدول‌های ۴، ۵ و ۶ ارائه شده‌اند. رده‌بندی کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی بر اساس نمودار Q-J [۱۳] نشان می‌دهد که آنها جزو کلینوپیروکسن‌های $Ca-Mg-Fe$ هستند (شکل ۴). همچنین بر اساس نمودار مثلی $En-Wo-Fs$ آنها غالباً ترکیب دیوپسید داشته و تغییرات در اعضای نهایی غالباً به صورت تبادل En و Fs است که جایگزینی انستاتیت به‌وسیله‌ی فروسیلیت در طول تبلور جدایشی را به نمایش می‌گذارد [۱۵، ۱۴].

ترسیم ضریب جدایش $(Na-Mg)$ نسبت به Na و Fe_{tot} برای کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی، که روند مثبت نشان می‌دهند (شکل ۵ ب، ت)، و نیز $Na^{+IV}Al$ نسبت به $^{VI}Fe^{3+} + ^{VI}Al + 2Ti$ [۶]، که در آن غالباً کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی روی یا نزدیک به خط ایده‌ال ۱:۱ ترسیم می‌شوند (شکل ۵ ج)، نشان می‌دهد که جانشینی $M_2Ca^{M1}(Fe^{2+}, Mg)$ $M_2Na^{M1}Fe^{3+} =$ نیز مهم بوده است. همان طوری که از نمودار ^{IV}Al نسبت به Ti [۴] (شکل ۵ ث) پیداست کلینوپیروکسن-های مورد بررسی در گستره بالای خط $^{IV}Al/Ti=2$ واقع شده‌اند که نشانگر غنی نشدن آنها از Ti بوده و می‌تواند بیانگر اهمیت جانشینی $CaAlSiAlO_6$ در کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی باشد.

بحث و بررسی

ترکیب پیروکسن‌ها در نفلین سینیت‌های میاسکیتی از دیوپسید-هیدنبرژیت تا اوژیت در تغییر است؛ این ویژگی در مورد پیروکسن‌های مورد بررسی صادق است. با توجه به اینکه پیروکسن‌های غنی از Na ، از ماگماهای غنی از قلیایی‌ها متبلور می‌شوند؛ مقادیر پایین‌تر Al ، Ti و Na در پیروکسن‌های مورد بررسی، احتمالاً نشانگر پیروکسن‌های با ماگماهای مادر تحت اشباع از سیلیس ضعیف تا متوسط است [۴]. در سنگ‌های مورد بررسی، به استثنای سنگ‌های رزگاه، معمولاً شکل‌گیری کلینوپیروکسن‌ها با تبلور آمفیبول خاتمه یافته است. به عبارتی، در بیشتر موارد کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی قبل از

تشکیل حاشیه با سدیک قابل ملاحظه، توسط آمفیبول احاطه شده‌اند. مقدار Na کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی با Fe^{3+} برای هر یک از توده‌ها به ویژه رزگاه افزایش نشان می‌دهد، اگرچه این تغییرات زیاد محسوس نیست. این ویژگی می‌تواند بیانگر اهمیت جزئی عضو نهایی اژرین $(NaFe^{3+}Si_2O_6)$ در کلینوپیروکسن‌های رزگاه باشد. بحث‌های زیادی مبنی بر اینکه چرا پیروکسن‌ها به سمت اژرین شکل می‌گیرند وجود دارد که

جدول ۴ نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های نفلین سینیت بزقوش

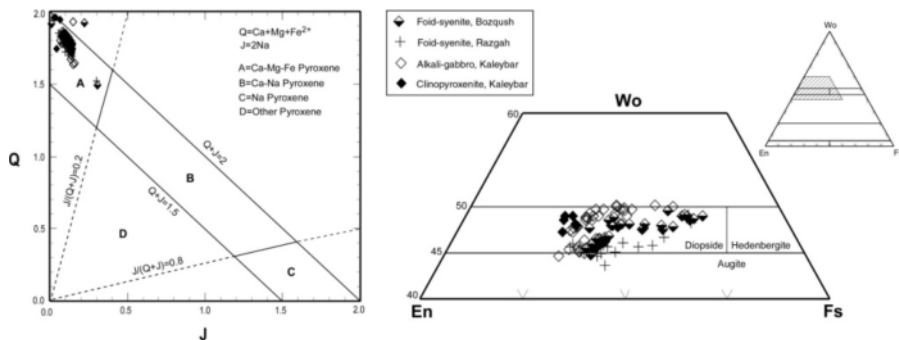
Sample	16B6	16B8	16B10	31B1	31B3	31B5	31B7	31B8	31B9	31B12
SiO ₂	۵۲.۳۹	۵۱.۸۷	۵۲.۳۱	۵۲.۷۹	۵۲.۷۹	۵۱.۸۷	۵۱.۷۷	۵۲.۰۴	۵۰.۵۰	۵۲.۶۲
TiO ₂	۰.۸۹	۰.۴۷	۰.۵۸	۰.۴۸	۰.۴۹	۰.۸۳	۰.۸۷	۰.۹۲	۰.۷۲	۰.۴۹
Al ₂ O ₃	۲.۳۶	۲.۵۲	۲.۵۱	۲.۰۵	۱.۶۷	۲.۳۳	۲.۳۶	۲.۳۳	۳.۲۳	۲.۰۵
FeO	۸.۷۶	۱۱.۸۷	۱۰.۳۵	۹.۰۰	۸.۶۲	۸.۶۹	۸.۴۸	۸.۷۹	۱۲.۶۷	۹.۱۴
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	۰.۵۰	۰.۷۲	۰.۵۸	۰.۵۲	۰.۵۲	۰.۵۰	۰.۴۳	۰.۴۶	۰.۶۰	۰.۵۱
NiO	۰.۰۲	n.d.	n.d.	۰.۰۱	n.d.	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۲
MgO	۱۳.۶۶	۱۰.۷۲	۱۱.۶۲	۱۲.۷۸	۱۳.۰۱	۱۳.۶۱	۱۳.۶۴	۱۳.۵۱	۹.۹۱	۱۲.۵۲
CaO	۲۲.۵۱	۲۲.۶۶	۲۲.۸۱	۲۳.۱۳	۲۳.۲۶	۲۲.۳۳	۲۲.۴۵	۲۲.۴۸	۲۲.۸۰	۲۳.۱۳
Na ₂ O	۰.۷۴	۰.۹۶	۰.۹۴	۰.۷۲	۰.۵۹	۰.۶۵	۰.۶۶	۰.۶۷	۰.۸۸	۰.۷۱
K ₂ O	n.d.	n.d.	۰.۰۰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰.۰۰	n.d.
Total	۱۰۱.۸۳	۱۰۱.۸۰	۱۰۱.۷۱	۱۰۱.۴۹	۱۰۰.۹۵	۱۰۰.۸۱	۱۰۰.۶۶	۱۰۱.۱۹	۱۰۱.۳۳	۱۰۱.۱۹
Cations on the basis of 6 (O)										
T site										
Si	۱/۹۱۳	۱/۹۲۴	۱/۹۲۹	۱/۹۴۱	۱/۹۵۱	۱/۹۱۴	۱/۹۱۳	۱/۹۱۴	۱/۸۹۰	۱/۹۴۳
Al	۰/۰۸۷	۰/۰۷۶	۰/۰۷۱	۰/۰۵۹	۰/۰۴۹	۰/۰۸۶	۰/۰۸۸	۰/۰۸۶	۰/۱۱۰	۰/۰۵۷
Fe ³⁺	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
M1 site										
Al	۰/۰۱۵	۰/۰۳۴	۰/۰۳۸	۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲
Ti	۰/۰۲۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	۰/۰۲۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۰	۰/۰۱۴
Fe ³⁺	۰/۰۷۵	۰/۰۸۵	۰/۰۶۸	۰/۰۵۳	۰/۰۴۰	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲	۰/۰۶۷	۰/۱۰۲	۰/۰۴۸
Fe ²⁺	۰/۱۴۱	۰/۲۷۵	۰/۲۳۹	۰/۲۰۲	۰/۲۰۶	۰/۱۴۲	۰/۱۳۸	۰/۱۵۱	۰/۲۹۳	۰/۲۱۶
Cr	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Mg	۰/۷۴۴	۰/۵۹۳	۰/۶۳۹	۰/۷۰۱	۰/۷۱۷	۰/۷۴۹	۰/۷۵۱	۰/۷۴۱	۰/۵۵۳	۰/۶۸۹
Ni	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
M2 site										
Mg	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Fe ²⁺	۰/۰۵۱	۰/۰۰۸	۰/۰۱۳	۰/۰۲۱	۰/۰۲۱	۰/۰۵۵	۰/۰۵۱	۰/۰۵۲	۰/۰۰۲	۰/۰۱۸
Mn	۰/۰۱۵	۰/۰۲۳	۰/۰۱۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۳	۰/۰۱۴	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶
Ca	۰/۸۸۱	۰/۹۰۰	۰/۹۰۲	۰/۹۱۱	۰/۹۲۱	۰/۸۸۳	۰/۸۸۸	۰/۸۸۶	۰/۹۱۴	۰/۹۱۵
Na	۰/۰۵۲	۰/۰۶۹	۰/۰۶۸	۰/۰۵۱	۰/۰۴۲	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷	۰/۰۴۸	۰/۰۶۴	۰/۰۵۱
K	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
Cations	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰	۴/۰۰۰
Wo	۴۶/۱۶۶	۴۷/۷۹۴	۴۸/۰۰۳	۴۷/۸۴۸	۴۷/۹۵۵	۴۶/۰۹۶	۴۶/۴۰۱	۴۶/۳۵۱	۴۸/۵۶۰	۴۸/۰۹۷
En	۳۸/۹۹۷	۳۱/۴۵۴	۳۴/۰۳۱	۳۶/۷۸۷	۳۷/۳۲۴	۳۹/۰۸۹	۳۹/۲۲۲	۳۸/۷۶۱	۲۹/۳۶۲	۳۶/۲۲۹
Fs	۱۴/۸۳۷	۲۰/۷۵۲	۱۷/۹۶۶	۱۵/۳۷۱	۱۴/۷۲۱	۱۴/۸۱۵	۱۴/۳۷۷	۱۴/۸۸۸	۲۲/۰۷۸	۱۵/۶۷۴

جدول ۵ نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های سودولوسیت
سینیت رزگاه.

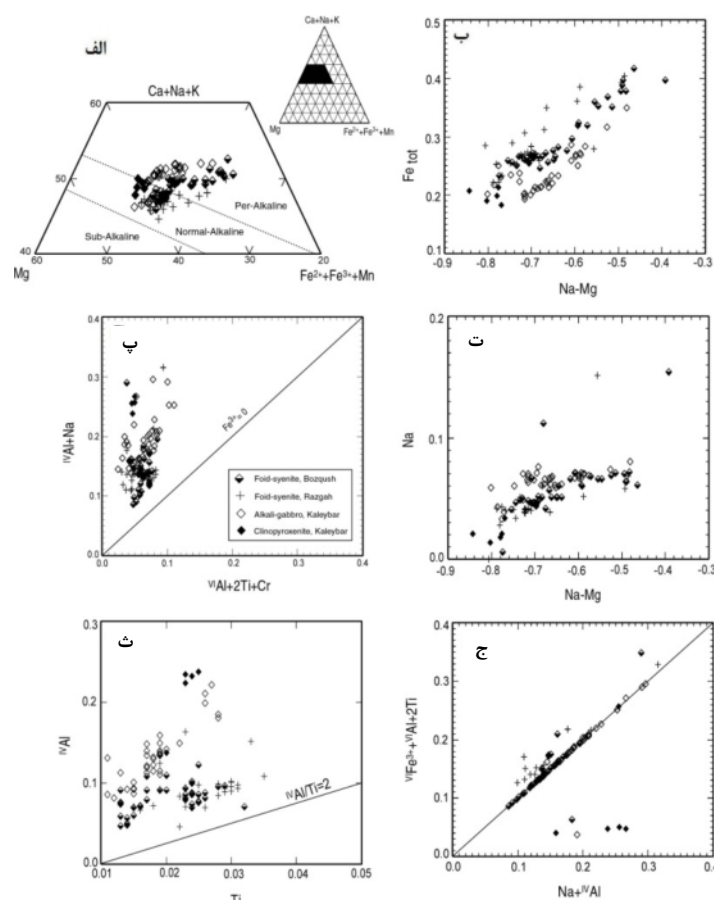
Sample	11R1	11R2	11R3	11R4	11R5	11R6	11R7	11R8	11R9	11R10
SiO ₂	۵۱٫۸۱	۵۱٫۷۰	۵۱٫۷۲	۵۱٫۷۲	۵۱٫۶۸	۵۱٫۷۴	۵۱٫۹۱	۵۱٫۴۷	۵۰٫۸۴	۵۱٫۲۸
TiO ₂	۱٫۱۲	۱٫۰۹	۱٫۰۵	۱٫۰۸	۱٫۰۷	۱٫۰۹	۱٫۰۶	۱٫۰۴	۱٫۰۰	۰٫۹۲
Al ₂ O ₃	۲٫۷۳	۲٫۶۲	۲٫۴۹	۲٫۶۴	۲٫۵۲	۲٫۵۰	۲٫۴۹	۲٫۳۲	۲٫۵۲	۲٫۰۲
FeO	۸٫۵۶	۸٫۷۵	۸٫۵۵	۸٫۷۳	۸٫۶۶	۸٫۸۸	۸٫۸۳	۹٫۱۰	۱۲٫۴۹	۱۲٫۸۳
Cr ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MnO	۰٫۴۱	۰٫۴۰	۰٫۳۵	۰٫۴۰	۰٫۳۷	۰٫۴۳	۰٫۴۰	۰٫۴۲	۰٫۴۹	۰٫۵۸
NiO	۰٫۰۰	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۳
MgO	۱۳٫۸۹	۱۳٫۹۷	۱۳٫۹۳	۱۳٫۹۸	۱۳٫۸۷	۱۳٫۹۱	۱۳٫۸۵	۱۳٫۴۶	۹٫۸۱	۹٫۸۷
CaO	۲۲٫۲۳	۲۲٫۲۴	۲۲٫۱۶	۲۲٫۱۵	۲۲٫۲۳	۲۲٫۱۱	۲۲٫۳۰	۲۱٫۹۸	۲۲٫۹۸	۲۲٫۴۹
Na ₂ O	۰٫۵۴	۰٫۵۵	۰٫۵۹	۰٫۵۸	۰٫۵۷	۰٫۵۶	۰٫۵۹	۰٫۶۲	۰٫۸۰	۰٫۹۴
K ₂ O	n.d.	۰٫۰۰	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۰	n.d.	n.d.	n.d.	۰٫۰۲
Total	۱۰۱٫۲۹	۱۰۱٫۳۱	۱۰۰٫۸۴	۱۰۱٫۲۸	۱۰۰٫۹۷	۱۰۰٫۹۲	۱۰۱٫۴۲	۱۰۰٫۹۲	۱۰۰٫۹۲	۱۰۰٫۹۸
Cations on the basis of 6 (O)										
T site										
Si	۱٫۹۰۲	۱٫۸۹۸	۱٫۹۰۶	۱٫۸۹۹	۱٫۹۰۴	۱٫۹۱۰	۱٫۹۰۴	۱٫۹۱۱	۱٫۹۱۵	۱٫۹۳۰
Al	۰٫۰۹۸	۰٫۱۰۲	۰٫۰۹۴	۰٫۱۰۱	۰٫۰۹۶	۰٫۰۹۰	۰٫۰۹۶	۰٫۰۸۹	۰٫۰۸۵	۰٫۰۷۰
Fe ³⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
M1 site										
Al	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۳	۰٫۰۲۷	۰٫۰۲۰
Ti	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۹	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۶
Fe ³⁺	۰٫۰۵۳	۰٫۰۷۰	۰٫۰۶۴	۰٫۰۷۰	۰٫۰۶۴	۰٫۰۵۰	۰٫۰۶۷	۰٫۰۶۲	۰٫۰۶۰	۰٫۰۶۶
Fe ²⁺	۰٫۱۳۵	۰٫۱۲۵	۰٫۱۲۷	۰٫۱۲۳	۰٫۱۳۲	۰٫۱۵۲	۰٫۱۲۵	۰٫۱۵۱	۰٫۱۳۳	۰٫۱۳۳
Cr	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Mg	۰٫۷۶۰	۰٫۷۶۴	۰٫۷۶۵	۰٫۷۶۵	۰٫۷۶۱	۰٫۷۴۹	۰٫۷۵۷	۰٫۷۴۵	۰٫۵۵۱	۰٫۵۵۴
Ni	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱
M2 site										
Mg	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Fe ²⁺	۰٫۰۷۵	۰٫۰۷۴	۰٫۰۷۲	۰٫۰۷۵	۰٫۰۷۱	۰٫۰۷۲	۰٫۰۶۹	۰٫۰۷۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵
Mn	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۲	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۹
Ca	۰٫۸۷۵	۰٫۸۷۵	۰٫۸۷۵	۰٫۸۷۱	۰٫۸۷۷	۰٫۸۷۵	۰٫۸۷۷	۰٫۸۷۲	۰٫۹۲۷	۰٫۹۰۷
Na	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۹	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۱	۰٫۰۴۰	۰٫۰۴۰	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۵	۰٫۰۵۸	۰٫۰۶۸
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱
Cations	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۳٫۹۹۹
Wo	۴۵٫۷۷۸	۴۵٫۵۴۹	۴۵٫۶۶۶	۴۵٫۴۶۴	۴۵٫۷۶۷	۴۵٫۷۶۲	۴۵٫۷۲۳	۴۵٫۵۹۰	۴۵٫۱۴۱	۴۸٫۱۶۱
En	۳۹٫۸۰۲	۳۹٫۸۱۱	۳۹٫۹۷۵	۳۹٫۹۰۷	۳۹٫۷۱۷	۳۹٫۱۹۲	۳۹٫۵۰۵	۳۹٫۹۵۳	۳۹٫۱۸۳	۳۹٫۴۱۱
Fs	۱۴٫۴۲۰	۱۴٫۶۴۰	۱۴٫۳۲۸	۱۴٫۶۳۰	۱۴٫۵۱۶	۱۵٫۰۴۶	۱۴٫۷۷۲	۱۵٫۴۵۷	۱۴٫۶۷۶	۱۲٫۴۲۸

جدول ۶ نتایج تجزیه‌ی نقطه‌ای کلینوپیروکسن‌های آلکالی گابرو و
کلینوپیروکسنیت کلیر

Sample	کلینوپیروکسنیت					آلکالی گابرو				
	2KP1	2KP2	2KP3	2KP4	2KP5	2K1	2K2	2K3	2K4	2K5
SiO ₂	۴۷٫۷۴	۴۸٫۶۸	۴۸٫۲۷	۴۸٫۱۲	۴۸٫۲۳	۵۲٫۱۳	۵۰٫۴۷	۵۰٫۴۸	۴۸٫۶۳	۴۷٫۳۵
TiO ₂	۰٫۸۵	۰٫۸۴	۰٫۷۳	۰٫۸۲	۰٫۹۰	۰٫۳۹	۰٫۷۳	۰٫۶۹	۰٫۹۴	۰٫۹۶
Al ₂ O ₃	۵٫۳۳	۵٫۲۴	۳٫۱۷	۵٫۴۲	۵٫۵۷	۲٫۰۰	۳٫۲۷	۲٫۶۸	۴٫۵۷	۵٫۵۱
FeO	۵٫۹۵	۶٫۲۵	۶٫۷۱	۶٫۹۴	۶٫۵۴	۶٫۶۴	۷٫۰۸	۷٫۰۰	۹٫۲۵	۱۰٫۱۱
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۶
MnO	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۰۴	۰٫۱۶	۰٫۲۳	۰٫۵۳	۰٫۴۱	۰٫۵۵	۰٫۴۴	۰٫۵۴
NiO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۰
MgO	۱۴٫۵۹	۱۵٫۰۲	۱۵٫۶۸	۱۴٫۶۰	۱۴٫۷۴	۱۵٫۵۵	۱۵٫۱۰	۱۴٫۱۲	۱۲٫۲۵	۱۰٫۷۳
CaO	۲۴٫۰۴	۲۴٫۳۴	۲۴٫۲۷	۲۴٫۹۵	۲۴٫۷۴	۲۲٫۲۵	۲۲٫۳۰	۲۴٫۰۹	۲۳٫۵۹	۲۳٫۳۲
Na ₂ O	۰٫۴۷	۰٫۲۰	۰٫۲۹	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۸۴	۰٫۶۰	۱٫۰۸	۰٫۹۴	۱٫۰۲
K ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۴
Total	۹۹٫۱۴	۱۰۰٫۶۷	۹۹٫۳۱	۱۰۰٫۳۰	۱۰۱٫۲۵	۱۰۰٫۶۹	۹۹٫۹۰	۱۰۰٫۷۱	۱۰۰٫۶۶	۹۹٫۶۴
Cations on the basis of 6 (O)										
T site										
Si	۱٫۷۶۵	۱٫۷۷۶	۱٫۷۸۵	۱٫۷۶۵	۱٫۷۵۱	۱٫۸۹۷	۱٫۸۵۸	۱٫۸۴۵	۱٫۷۹۷	۱٫۷۷۸
Al	۰٫۲۳۲	۰٫۲۲۴	۰٫۱۳۸	۰٫۲۳۴	۰٫۲۳۸	۰٫۰۸۶	۰٫۱۴۲	۰٫۱۱۵	۰٫۱۹۹	۰٫۲۲۲
Fe ³⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۰
M1 site										
Al	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۲
Ti	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۳	۰٫۰۲۵	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۶	۰٫۰۲۷
Fe ³⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۰	۰٫۱۴۰	۰٫۱۴۷	۰٫۰۰۰	۰٫۱۲۹	۰٫۱۲۰
Fe ²⁺	۰٫۱۷۱	۰٫۱۵۹	۰٫۱۱۳	۰٫۰۰۰	۰٫۱۷۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۲۱۱	۰٫۰۶۳	۰٫۰۹۷
Cr	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲
Mg	۰٫۸۰۴	۰٫۸۱۷	۰٫۸۶۴	۰٫۷۶۷	۰٫۷۹۸	۰٫۸۴۸	۰٫۸۲۹	۰٫۷۶۹	۰٫۶۷۵	۰٫۶۰۱
Ni	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰
M2 site										
Mg	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۳۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Fe ²⁺	۰٫۰۱۳	۰٫۰۳۲	۰٫۰۹۴	۰٫۰۰۲	۰٫۰۲۳	۰٫۰۴۵	۰٫۰۶۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Mn	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۷
Ca	۰٫۹۵۲	۰٫۹۵۱	۰٫۹۶۲	۰٫۹۴۱	۰٫۹۶۳	۰٫۸۶۷	۰٫۸۷۶	۰٫۹۴۳	۰٫۹۳۴	۰٫۹۳۸
Na	۰٫۰۳۴	۰٫۰۱۴	۰٫۰۲۱	۰٫۰۲۱	۰٫۰۱۸	۰٫۰۵۹	۰٫۰۴۳	۰٫۰۷۶	۰٫۰۶۷	۰٫۰۷۴
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲
Cations	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۳٫۹۹۸	۴٫۰۰۰	۳٫۹۹۹	۳٫۹۹۸	۳٫۹۹۸
Wo	۴۸٫۹۹۸	۴۸٫۵۰۰	۴۷٫۲۶۱	۴۸٫۰۸۷	۴۸٫۹۵۹	۴۴٫۵۸۱	۴۵٫۲۵۴	۴۸٫۵۳۳	۴۸٫۹۴۱	۵۰٫۰۷۹
En	۴۱٫۲۷۶	۴۱٫۶۴۷	۴۲٫۴۸۸	۴۰٫۷۸۶	۴۰٫۵۸۲	۴۴٫۱۹۸	۴۳٫۸۲۰	۳۹٫۵۷۴	۳۵٫۳۶۷	۳۲٫۰۵۸
Fs	۹٫۶۲۵	۹٫۸۵۳	۱۰٫۲۵۱	۱۱٫۱۲۷	۱۰٫۴۶۱	۱۱٫۲۲۱	۱۱٫۹۲۶	۱۱٫۸۹۳	۱۵٫۶۹۲	۱۷٫۸۶۳



شکل ۴ طبقه‌بندی پیروکسن‌های مورد بررسی با نمودار Q-J و نمودار مثلثی En-Wo-Fs [13] که غالباً به ترتیب در محدوده پیروکسن‌های Ca-Mg-Fe و دیوپسید قرار می‌گیرند.



شکل ۵ ترکیب کلاینوپیروکسن‌های مورد بررسی در نمودارهای دو متغیره و سه متغیره؛ الف) نمودار مثلثی $(Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn)-Mg$ (ب) نمودار $(Na-Mg)$ نسبت به Fe_{tot} برای بررسی جدایش؛ پ) نمودار $(Ca+K+Na)$ که بیانگر غنی بودن کلاینوپیروکسن‌ها از عناصر آikalی است؛ ب) نمودار $(Na-Mg)$ نسبت به Fe_{tot} برای بررسی جدایش؛ پ) نمودار $^{VI}Al+2Ti+Cr$ نسبت به $^{IV}Al+Na$ [۱۹] که نشانگر فوگاسیته بالای اکسیژن ماگمای سازنده است؛ ت) نمودار $(Na-Mg)$ نسبت به Na برای بررسی تفریق؛ ث) نمودار $Ti-^{IV}Al$ که نشانگر غنی نشدن از $CaTiAl_2O_6$ است [۴]؛ ج) نمودار $Na+^{IV}Al$ نسبت به $^{VI}Fe^{3+}+^{VI}Al+2Ti$ [۶] برای نشان دادن جانمایی‌های عنصری.

نسبت به Ti [۲۱]، که سری‌های توله‌ایتی و آهکی-قلیایی را از قلیایی جدا می‌کند، کلاینوپیروکسن‌های مورد بررسی به سری-های قلیایی تعلق دارند (شکل ۶ الف). از لحاظ محیط تشکیل، می‌توان کلاینوپیروکسن‌های تشکیل شده در MORB و توله-ایت را از قوس آتشفشانی جدا کرد [۲۱]. همان طوری که از نمودار Ca نسبت به $Ti+Cr$ پیداست غالباً کلاینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره قوس آتشفشانی ترسیم می‌گردند (شکل ۶ ب).

فشارسنجی کلاینوپیروکسن‌ها بر اساس ^{VI}Al و ^{IV}Al و Ti [۲۴-۲۲] نشان می‌دهد (شکل ۶ پ، ت) که آنها در گستره یا نزدیک به گستره‌ی کلاینوپیروکسن‌های در فشار پایین قرار دارند؛ کلاینوپیروکسن‌های موجود در کلاینوپیروکسنیت و گابروی کلیبر قلیایی در گستره‌ی فشارهای ۱-۱.۵ GPa

بیشتر پژوهشگران علت آن را fO_2 در نظر می‌گیرند. علاوه بر تغییرات fO_2 ، پراکالینیتی ماگمای شکل گرفته (نه اشباع شدگی از سیلیس) [۱۶، ۱۷] و شانس شرکت‌پذیری Na و Fe^{3+} [۱۸] در شکل‌گیری پیروکسن‌ها نقش مهمی دارند. در مورد کلاینوپیروکسن‌های مورد بررسی، چنانکه از نمودار $^{VI}Al+2Ti+Cr$ نسبت به $^{IV}Al+Na$ [۱۹] پیداست، گریزندگی بالای اکسیژن برای آنها در طول تبلور قابل تصور است (شکل ۵ ب). به‌منظور تعیین ماهیت ماگمای خاستگاه کلاینوپیروکسن -های مورد بررسی، از نمودارهای مختلف استفاده شد. [۲۰] نمودار مثلثی $(Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn)-Mg-(Ca+K+Na)$ را برای جدایش سریهای ماگمایی به کار برده است؛ ماگمای سازنده‌ی کلاینوپیروکسن‌های مورد بررسی بر این اساس، قلیایی بهنجار و پرقلیایی می‌باشد (شکل ۵ الف). بر اساس نمودار $Ca+Na$

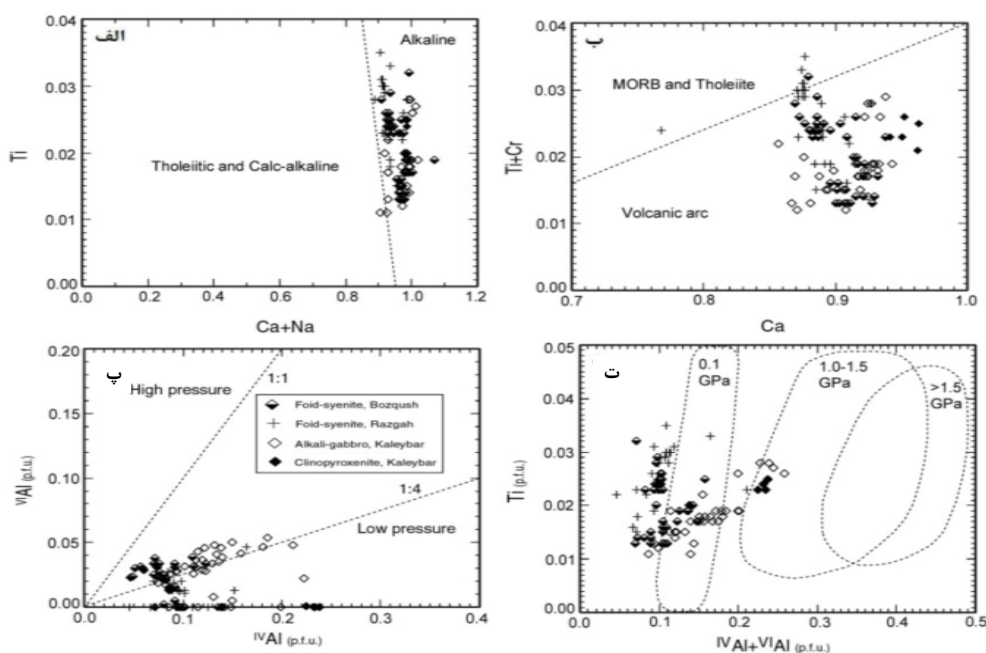
نسبت آهن $[(Fe_{tot}/Fe_{tot}+Mg)=0.40-0.65]$ و $[Fe^{3+}/(Fe^{3+}+Fe^{2+})=0.20-0.25]$ در آمفیبول‌هایی که در فشارسنجی به کار می‌روند بایستی در نظر گرفته شوند تا دقت نتایج بالاتر باشد. با این وجود، برای به دست آوردن برآوردهایی از فشار تشکیل سنگ‌های مورد بررسی، فشارسنجی بر اساس مقدار Al در آمفیبول‌ها در دماهای ۷۵۰-۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد صورت گرفت؛ بر این اساس، گستره فشاری ۶.۷-۸.۷ kb برای نفلین سینیت‌ها و قلیایی‌گابروهای کلیبر و ۵.۹-۷.۸ kb برای نفلین سینیت بزقوش بنابر درجه بندی‌های مختلف [۲۷-۲۹] به دست آمده است (شکل ۷ ب).

بر اساس مقادیر Al و Ti آمفیبول‌ها نیز می‌توان تخمینی از فشار و حرارت تبلور یا تعادل نهایی سنگ‌های آذرین به دست آورد [۳۰]. مقدار میانگین TiO_2 و Al_2O_3 آمفیبول‌ها در گابروی قلیایی کلیبر به ترتیب ۲/۴ و ۱۳/۵ درصد؛ در نفلین سینیت کلیبر به ترتیب برابر ۲/۵ و ۱۳ درصد؛ و در آمفیبول-های بزقوش به ترتیب برابر با ۳/۴ و ۱۲ درصد به دست آمده‌اند. بر این اساس، دمای در حدود ۹۰۰-۸۹۰ درجه‌ی سانتیگراد و فشار به ترتیب ۷/۵ و ۸ کیلو بار برای نفلین سینیت و گابروی قلیایی کلیبر؛ و دما ۹۷۰ درجه سانتیگراد و فشار در حدود ۴/۹ کیلو بار برای نفلین سینیت بزقوش برآورد می‌شود (شکل ۷ الف).

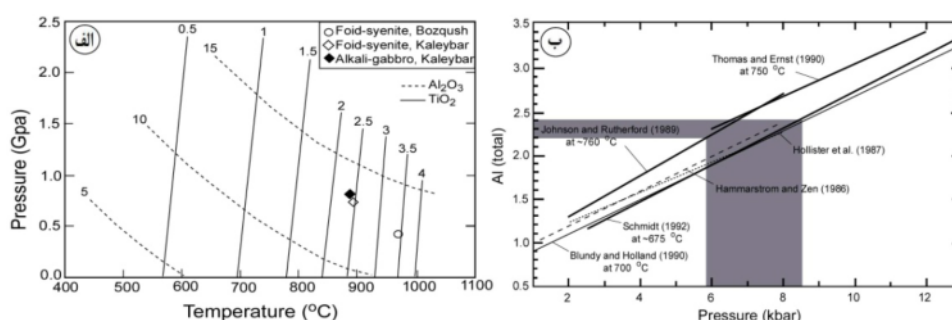
(معادل ۱۰ تا ۱۵ کیلو بار) ترسیم می‌شوند که به نظر می‌رسد به تشکیل آنها در فشارهای بالاتر نسبت به کلینوپروکسن‌های رزگاه و بزقوش اشاره دارد.

در توده‌های سینیتی نفلین‌دار و گابروهای قلیایی همراه آنها، ترکیب آمفیبول‌ها از کاتوفوریت و هورنبلند فروپارگازیتی تا هستینگزیت تغییر می‌کند و این روند به عنوان روند ماگمای اولیه میاسکیتی شناخته شده است [۱۶]. با توجه به ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی روند یاد شده برای فوئید سینیت‌های بزقوش و کلیبر صدق می‌کند. همچنین در این روند کاهش نسبت Mg/Fe در مقادیر ثابت Si/Al و Ca صورت می‌گیرد و غنی‌شدگی سدیم در آمفیبول‌ها مشاهده نمی‌شود. با توجه به اینکه تغییرات در $P(H_2O)$ حین تبلور می‌تواند باعث حضور حاشیه‌ها یا همرشدی‌های آمفیبول روی پروکسن باشد [۲۵]؛ به نظر می‌رسد که این تغییرات در تبلور سنگ‌های رزگاه وجود نداشته یا تاثیری در تشکیل کانی‌های آبداری چون آمفیبول نگذاشته است. در عین حال، فعالیت بالاتر F باعث می‌شود که آمفیبول نسبت به پروکسن پایدارتر باشد [۵].

با استفاده از مقدار Al موجود در آمفیبول می‌توان فشار تبلور یا تعادل نهایی را تعیین کرد. برای این کار، آمفیبول‌های مورد بررسی ممکن است شرایط کاملاً مناسب نداشته باشند؛ چرا که به اعتقاد [۲۶] مقادیر عدد آهن



شکل ۶ تعیین سری ماگمایی و شرایط محیط تشکیل کلینوپروکسن‌های مورد بررسی؛ الف و ب) نمودارهای [۲۱] برای تعیین سری ماگمایی و محیط زمین‌ساختی؛ پ، ت) تعیین فشار تشکیل پروکسن‌ها بر اساس مقادیر Al و Ti [۲۴، ۲۳].



شکل ۷ دما - فشارسنجی توده‌ی آذرین کلبیر و بزقوش بر اساس مقدار Al و Ti در آمفیبول‌ها؛ الف) میزان فشار و دمای توده‌ها بر اساس مقادیر TiO_2 و Al_2O_3 آمفیبول‌ها [۳۰]؛ ب) منطقه‌ی خاکستری بیانگر گستره‌ی فشار توده‌ها بر اساس مقادیر Al در آمفیبول‌ها را نشان می‌دهد [۲۶].

برداشت

آمفیبول‌های بررسی شده از توده‌های آذرین قلیایی کلبیر و بزقوش دارای ترکیب هورنبلند منیزیه‌ستنگزیتی تا فروپارگازیتی است که به ترکیب آمفیبول توده‌های قلیایی میاسکیتی و نفیلین پهنجار شباهت دارند. آمفیبول‌های کلبیر نسبت به بزقوش از لحاظ Ca^{IV}Al غنی بوده و جانشینی $\text{Ca}^{IV}\text{Al}=\text{SiNa}$ در بین آنها مهم بوده است. کلینوپیروکسن‌ها از نوع دیوپسید بوده و با توجه به نسبت‌های اتمی En ، Wo و تغییرات در ترکیب اعضای نهایی غالباً شامل تبادل En و Fs است. همچنین جانشینی $\text{M}^2\text{Ca}^{\text{M}1}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}) = \text{M}^2\text{Na}^{\text{M}1}\text{Fe}^{3+}$ تا اندازه‌ای بین کلینوپیروکسن‌ها مهم بوده است. ترکیب آمفیبول‌ها و کلینوپیروکسن‌ها بیانگر جدا شدن آنها از یک ماگمای میاسکیتی قلیایی (نه پرآلکان) وابسته به قوس-های آتشفشانی در فشارهای نسبتاً پایین است. دما-فشارسنجی آمفیبول‌ها بر اساس مقدار Al و Ti، فشارهای 6 ± 1 و 7 ± 1 کیلوبار به ترتیب برای توده‌های بزقوش و کلبیر و دمای 900 ± 100 درجه‌ی سانتیگراد را نشان می‌دهد. در مورد توده رزگاه، چنانکه ترکیب کلینوپیروکسن‌ها نشان می‌دهد؛ فشارهای پایین تبلور برای آن قابل تصور است؛ همچنین رخداد سودولوسیت نیز فشاری حدود ۲ کیلوبار [۳۱] برای تشکیل آن در توده رزگاه پیشنهاد می‌کند.

قدردانی

نویسندگان مقاله از سر دبیر و داوران محترم مجله، به خاطر نظرات و پیشنهادات سازنده شان، کمال تشکر و قدردانی را دارند.

مراجع

[1] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "An introduction to the rock forming minerals", Second Edition, Longman, London, (1992) 696 p.

[2] Giret A., Bonin B., Leger J.M., "Amphibole compositional trends in oversaturated and undersaturated alkaline plutonic ring complexes", Canadian Mineralogist 18 (1980) 481–495.

[3] Strong D.F., Taylor R.P., "Magmatic-subsolidus and oxidation trends in composition of amphiboles from silica-saturated peralkaline igneous rocks", Tschermaks Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 32 (1984) 211–222.

[4] Dorais M.J., "Compositional variations in pyroxenes and amphiboles of the Belknap Mountain complex, New Hampshire: evidence for the origin of silica saturated alkaline rocks", American Mineralogist 75 (1990) 1092–1105.

[5] Coulson I.M., "Evolution of the North Qôroq centre nepheline syenites, South Greenland: alkali-mafic silicates and the role of metasomatism", Mineralogical Magazine 67 (5) (2003) 873–892.

[6] Vuorinen J.H., Halenius U., Whitehouse M.J., Mansfeld J., Skelton A.D.L., "Compositional variations (major and trace elements) of clinopyroxene and Ti-andradite from pyroxenite, ijolite and nepheline syenite, Alnf Island, Sweden", Lithos 81 (2005) 55–77.

[۷] باباخانی ع.، امینی آذر ر.، گزارش عملیات اکتشافی بر روی توده نفیلین سینیتی کلبیر به عنوان ماده اولیه تولید آلومینا، شیشه، سرامیک و سنگهای تزئینی و نما، سازمان زمین شناسی کشور، شرکت توسعه علوم زمین (۱۳۷۳) ۷۵ ص.

[۸] شهریار و.، "بررسی‌های پترولوژی و پتروگرافی توده نفوذی بزقوش، جنوب سراب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز (۱۳۸۴) ۱۰۷ ص.

[۹] اشرفی ن.، عامری ع.، جهانگیری ا.، هسیب ن.، ابدی ن.، "شیمی گارنت‌های توده آذرین قلیایی کلبیر، شمال غرب ایران"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۳ (۱۳۸۸) ۳۵۷–۳۶۸.

[۱۰] اشرفی ن.، جهانگیری ا.، عامری ع.، هسیب ن.، ابدی ن.، "شیمی کانی بیوتیت در توده‌های آذرین قلیایی بزقوش و کلبیر، شمال غرب ایران"، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ۳ (۱۳۸۸) ۳۹۴–۳۸۱.

- [21] Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girad D., Marchel 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.
- [22] Wass S.Y., "*Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks*", Lithos 12 (1979) 115–132.
- [23] Steward R.B., Price R.C., Schmith I.E.M., "*Evolution of high-K arc magma, Egmont volcano, Taranaki, New Zealand: evidence from mineral chemistry*", Journal of Volcanology and Geothermal Research 74 (1996) 275–295.
- [24] Lassen B., "*Petrogenesis of the late Archean Quetico alkaline suite intrusions, Western Superior province, Canada*", Ph.D. thesis, University of Ottawa, Canada (2004) 240 pp.
- [25] Parsons I., Mason R.A., Becker S.M., Finch A.A., "*Biotite equilibria and fluid circulation in the Klokken intrusion*", Journal of Petrology 32 (1991) 1299–1333.
- [26] Anderson J.L., Smith D.R., "*The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer*", American Mineralogist 80 (1995) 549–559.
- [27] Johnson M.C., Rutherford M.J., "*Experimental calibration of the aluminum-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California)*", Geology 17 (1989) 837–841.
- [28] Blundy J.D., Holland T.J.B., "*Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer*", Contributions to Mineralogy and Petrology 104 (1990) 208–224.
- [29] Schmidt M.W., "*Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer*", Contribution to Mineralogy Petrology 110 (1992) 304–310.
- [30] Ernst W.G., Liu J., "*Experimental phase-equilibrium study of Al- and Ti-contents of calcic amphibole in MORB- A semiquantitative thermobarometer*", American Mineralogist 83 (1998) 952–969.
- [31] Lünel A.T., Akiman O., "*Pseudoleucite from Hamitköy area, Kaman, Kırşehir occurrence and its use as a pressure indicator*", Bulletin of the Mineral Research and Exploration (1986) 29–35.
- [11] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Kato A., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J.A., Maresch W.V., Nickel E.H., Rock N.M.S., Schumacher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N., Ungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., "*Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, Commission on new minerals and minerals name*", American Mineralogist 82 (1997) 1019–1037.
- [12] Schumacher J.C., "*The estimation of ferric iron in electron microprobe analysis of amphiboles*", Mineralogical Magazine 61 (1997) 312–321.
- [13] Morimoto N., "*Nomenclature of pyroxenes*", Canadian Mineralogist 27 (1989) 143–56.
- [14] Gibb F.G.F., "*The zoned clinopyroxenes of the Shiant Isles sill, Scotland*", Journal of Petrology 14 (1973) 203–230.
- [15] Moazzen M., Oberhänsli R., "*Whole rock and relict igneous clinopyroxene geochemistry of ophiolite-related amphibolites from NW Iran – Implications for protolith nature*", Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen 185 (1) (2008) 51–62.
- [16] Mitchell R.H., Platt R.G., "*Mafic mineralogy of ferroaugite syenite from the Coldwell alkaline complex, Ontario, Canada*", Journal of Petrology 19 (1978) 627–651.
- [17] Stephenson D., Upton B.G.J., "*Ferromagnesian silicates in a differentiated alkaline complex: Kûngnât Fjeld, South Greenland*", Mineralogical Magazine 46 (1982) 283–300.
- [18] Piilonen P.C., McDonald A.M., Lalonde A.E., "*The crystal chemistry of aegirine from Mont Saint-Hilaire, Quebec*", Canadian Mineralogist 36 (1998) 779–791.
- [19] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence A.E., "*Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts*", American Mineralogist 64 (1979) 501–513.
- [20] Le Bas M.J., "*The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage*", American Journal of Science 260 (1962) 267–288.