



شیمی کانی کلینوپیروکسن در سنگ‌های گابرویی گنبد نمکی دره بید، چهارمحال و بختیاری، ایران

مریم آهنگوب^۱، ناهید شبانیان بروجنی^{۲*}، علیرضا داوودیان دهکردی^۲، محمد علی مکی‌زاده^۳

۱- دانشگاه پیام نور واحد شهرکرد

۲- دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۱/۸، نسخه نهایی: ۹۰/۲/۱۵)

چکیده: سنگ‌های گابرویی مورد بررسی در اطراف گنبد نمکی دره بید در استان چهارمحال و بختیاری و در فاصله‌ی حدود ۱۳۰ کیلومتری جنوب شهرکرد رخنمون یافته‌اند. ناحیه‌ی مورد بررسی در پهنه‌ی ساختاری زاگرس قرار دارد. بررسی‌های شیمیایی کانی-های کلینوپیروکسن توده‌ی نفوذی گابرویی همراه گنبد نمکی دره‌بید نشان می‌دهند که این کلینوپیروکسن‌ها دارای ترکیب دیوپسید و اوژیت بوده و در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های با فشار پایین قرار می‌گیرند. ماگمایی که این کلینوپیروکسن‌ها از آن‌ها متبلور شده‌اند در حدود ۱۰ درصد آب داشته و فشار حاکم بر محیط تبلور کمتر از ۵ کیلو بار است و غنی از تیتانیم بوده و ماهیت مورب داشته است. میزان آهن فریک در کلینوپیروکسن‌ها نشان دهنده‌ی گریزندگی بالای آکسیژن ماگماست. ترکیب کلینوپیروکسن‌ها این گستره دمایی ۶۵۰-۸۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کلینوپیروکسن؛ گابرو؛ گنبد نمکی؛ دره بید.

مقدمه

گستره‌ی مورد نظر را در راستای رودخانه‌ی کارون به روستاهای دورک شاهپوری، دره عشق، سرخون بالا و پائین، دره یاس، دره بید ارتباط می‌دهد (شکل ۱).

با توجه به این‌که گنبد‌های نمکی به خاطر دارا بودن ذخایر تبخیری، سنگ‌های ماگمایی و کانی‌های با ارزشی مانند ایلمنیت از دیرباز مورد توجه بوده‌اند، و نیز حضور تعداد زیادی از توده‌های نمکی و سنگ‌های تبخیری همراه آن به ویژه در زون زاگرس چین‌خورده و مرتفع، بررسی اصولی و سیستماتیک این گنبد‌های نمکی ضروری به نظر می‌رسد [۱].

گنبد مورد نظر از واحدهای چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی جزئی از پهنه‌ی ساختاری زاگرس است که با سری هرمز همخوانی دارد. گنبد نمکی مورد بررسی با سنگ‌های آذرین بازی (بازالت

منطقه‌ی مورد بررسی در استان چهارمحال و بختیاری و در فاصله‌ی حدود ۱۳۰ کیلومتری جنوب شهرکرد و در جنوب شرقی شهرستان اردل بین طول‌های جغرافیائی ۴۳°۵۰ تا ۵۵°۵۰ شرقی و عرض‌های جغرافیائی ۴۰°۳۱ تا ۴۹°۳۱ شمالی واقع است.

راه ارتباطی اصلی این ناحیه خاکی است که از جاده‌ی آسفالت‌های شهرکرد- ایزه پس از گذشتن از نوغان و پیش از رسیدن به دهکده‌ی دو پلان جدا می‌شود. این جاده پس از عبور از رودخانه‌ی کارون و روستای جوزستان و پوراز در نزدیکی دهکده‌ی برنجکان دوباره از رودخانه کارون گذر کرده و پس از ۴ کیلومتر وارد گستره‌ی مورد نظر می‌شود. این جاده

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۳۱۸۰۲۴۲، پست الکترونیکی: nahid.shabanian@gmail.com

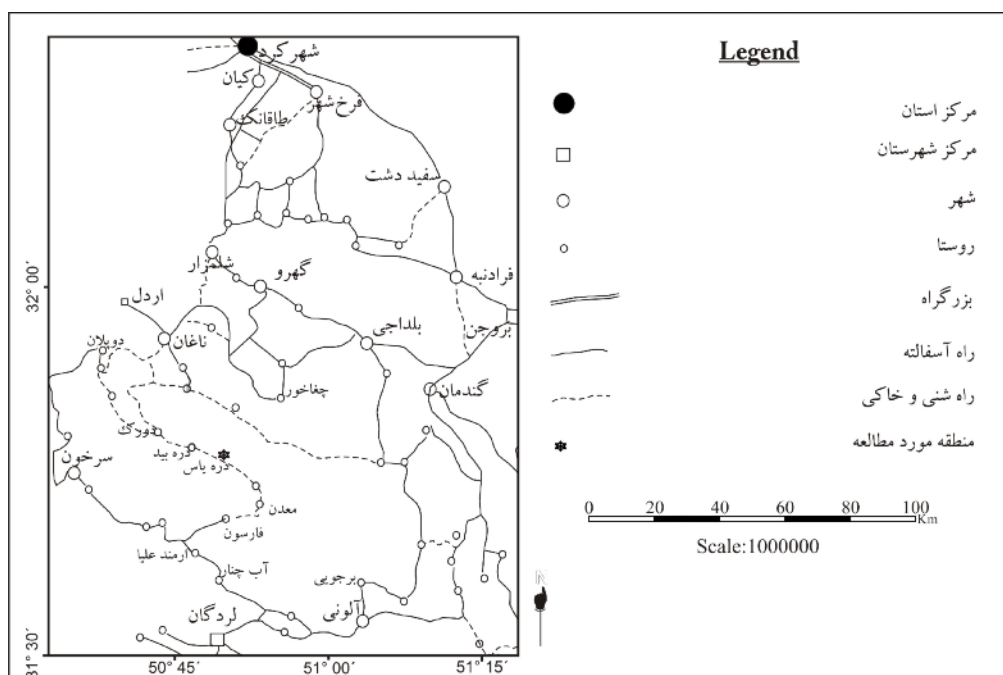
این گنبد نمکی از نظر سنگ‌شناسی از دو بخش رسوبی و آذرین تشکیل شده است. بخش آذرین این گنبد نمکی از یک ترکیب ماگمایی واحد ریشه می‌گیرد و به‌صورت دایک‌ها و توده‌های نامنظم و پراکنده در درون واحدهای رسوبی جای گرفته است. ماهیت ماگمایی قرابت تولییتی تا تحولی دارد [۲] و سنگ‌های حاصل از این ترکیب واحد ماگمایی بیشتر ماهیت سنگ‌های بازی را دارند و عناوین سنگ‌شناسی آن‌ها دلریت - دیاباز، مونزودیوریت، گابرو، تراکیت، الیوین بازالت، بازالت دیوریت، آندزی بازالت، مونزوسینیت و مونزومیکرو دیوریت و گابرو است، و مهم‌ترین وجه مشترک آن وجود کانی‌های تیتانیوم‌دار و پشت سرگذاشتن دگرسانی شدید است. به‌طوری‌که ترکیب کانی‌شناسی توده‌های نفوذی بیانگر سه مرحله‌ی ماگمایی، تاخیری و کانی‌زایی است [۳]. ترکیب کانی‌شناسی دو مرحله‌ی آخر بیانگر شرایط رخساره‌ی شیبست سبز و ترکیب کانی‌شناسی توده‌های خروجی شرایط رخساره‌ی پایین‌تر (پره‌نیت-پومپله‌ایت) را در اثر دگرگونی کف دریا نشان می‌دهند [۲]. از طرف دیگر ظاهراً ماگمای تزریق شده در رسوب‌های این گنبد نمکی از تیتانیوم غنی است و این تراکم به صورت کانی‌سازی ایلمنیت تبلور یافته و سپس از تأثیر گرفتن از فرآیندهای دگرسانی، ایلمنیت به صورت کانی‌های فرعی لوکوکسن - اسفن تغییر شکل یافته است.

و دلریت) همراهی می‌شود. با توجه به این‌که تاکنون کار سنگ‌شناسی دقیقی روی این سنگ‌های مافیک انجام نشده در این مقاله با بررسی‌های دقیق شیمی کانی کلینوپیروکسن سعی می‌شود تا موقعیت زمین‌ساختی و شرایط تبلور توده‌های مافیک همراه این گنبد شناسایی شود.

زمین‌شناسی عمومی

با توجه به موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی استان چهارمحال و بختیاری، گنبد‌های نمکی این منطقه را که تعداد آن‌ها به ۱۶ گنبد می‌رسد، می‌توان جزء گنبد‌های نمکی زاگرس به حساب آورد و لذا از نظر سن، لیتولوژی، دنباله‌ی چینه‌شناسی، پتانسیل‌های معدنی و... با گنبد‌های نمکی دیگر جنوب و غرب ایران همخوانی دارند [۱].

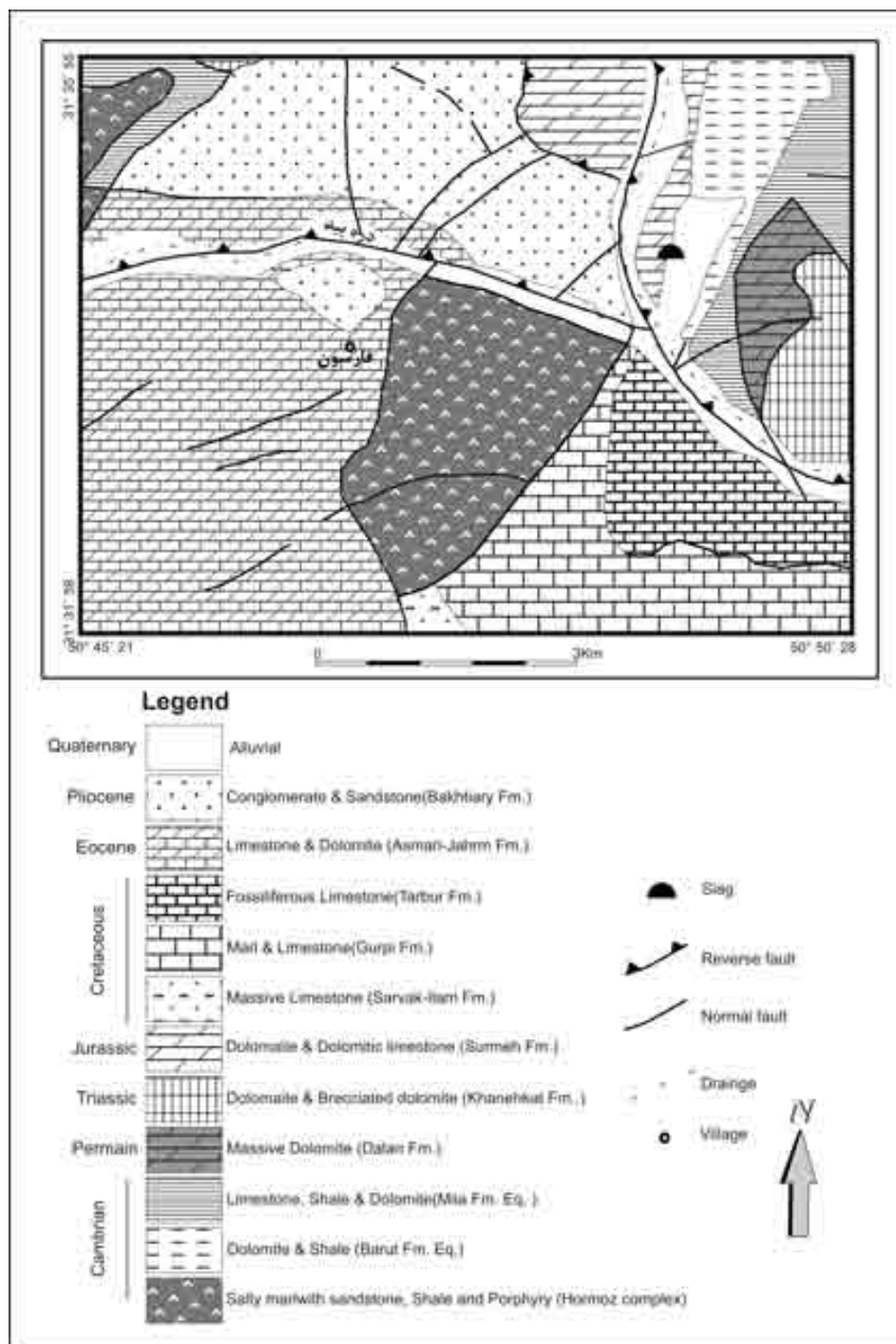
شانزده گنبد اخیر به‌علاوه پنج گنبد نمکی شرق و شمال یاسوج (استان کهگیلویه و بویراحمد) در تماس مستقیم با گسل‌های مهم منطقه از جمله گسل‌های اردل، زردکوه، دوپلان به حساب می‌آیند. این گسل‌ها به موازات گسل رورانده‌ی زاگرس است. غالب این گنبد‌ها بیضوی شکل بوده که بزرگ‌ترین بعد آن‌ها به موازات گسل رورانده‌ی زاگرس است. بنابراین سازوکار به سطح رسیدن آن‌ها از یکسو گسله و از سوی دیگر چگالی پایین نمک نسبت به سنگ‌های همجوار است [۱].



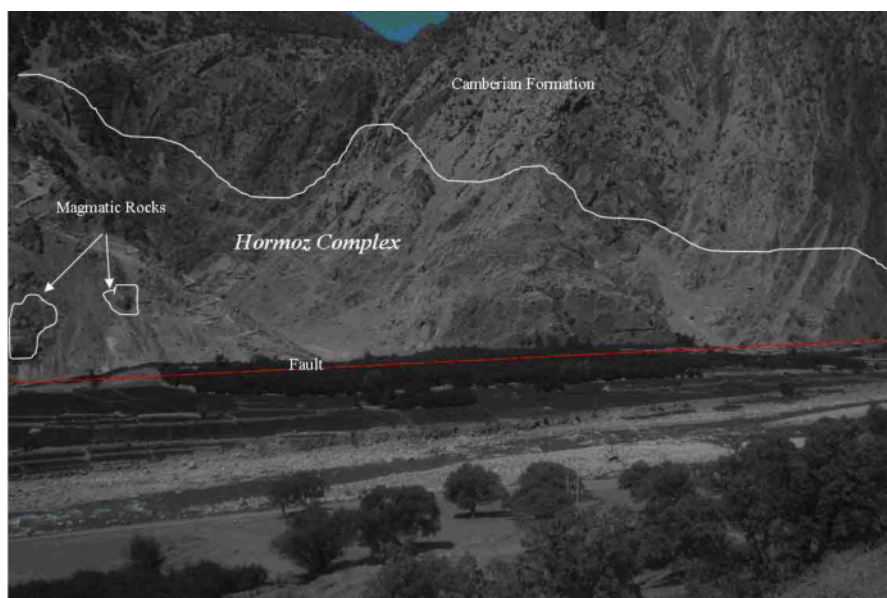
شکل ۱. راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی.

واحد رسوبی شامل تناوبی از شیل‌های سرخ و سبز و دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه است. به دلیل وجود آثار تریلوبیتی در رسوب‌های کربناتی این دنباله‌ی رسوبی، را می‌توان به پالئوزوئیک پائینی وابسته دانست. در این چشمه‌ها تظاهر می‌یابد (شکل‌های ۳ و ۲).

بخش رسوبی شامل تناوبی از شیل‌های سرخ و سبز و دولومیت‌ها و آهک‌های دولومیتی ضخیم لایه است. به دلیل وجود آثار تریلوبیتی در رسوب‌های کربناتی این دنباله‌ی رسوبی، را می‌توان به پالئوزوئیک پائینی وابسته دانست. در این



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه‌ی مورد بررسی (دره بید).



شکل ۳ رخنمون مجموعه سازندهای تبخیری (گنبد نمکی) در امتداد گسل‌ها.

روش بررسی

در این کار پژوهشی به‌منظور بررسی این گابروها از دیدگاه سنگ‌شناسی، نخست از آن‌ها نمونه‌برداری کامل شد و سپس به‌منظور بررسی ترکیب کانی‌ها پس از تهیه‌ی مقاطع نازک از نمونه‌های با کمترین دگرسانی و بررسی‌های میکروسکوپی تعدادی از نمونه‌های مناسب انتخاب و پس از تهیه‌ی مقاطع نازک صیقلی با استفاده از یک ریزکاونده‌ی الکترونی آنالیز نقطه‌ای شدند. آنالیزهای ریزکاونده‌ی الکترونی در گروه زمین‌شناسی دانشگاه اکلاهای آمریکا با استفاده از یک سیستم Cameca SX50 در شرایط ۲۰ کیلو ولت، جریان ۲۰ نانو آمپر و بازه‌ی زمانی ۱۰ ثانیه با انتخاب نقاط ۲ میکرومتری شمارش شدند. آنالیز کانی‌ها با نرم‌افزار کامپیوتری PET [۴] و محاسبه‌ی مقادیر Fe^{+3} بر مبنای ملاحظات عضوسنجی ارایه شده توسط [۵] انجام گرفت.

سنگ نگاری سنگ‌های گابرویی

همراه با گنبد نمکی دره بید تعداد زیادی سنگ آذرین درونی و بیرونی با ظاهر کاملاً متفاوت دیده می‌شوند که طی بازدید صحرایی برداشت شدند و سپس از نمونه‌های مناسب ۶۰ مقطع نازک تهیه و از نظر سنگ‌نگاری مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از سنگ‌نگاری این مقاطع نشان می‌دهند که کانی‌های موجود در این سنگ‌ها متنوع بوده و گاهی از نظر سنگ‌شناسی مهم به شمار می‌آیند.

بخش آذرین این گنبد نمکی از نظر سنگ‌شناسی شامل بازالت‌های اولیوین‌دار، آندزیت‌ها و آندزی بازالت‌ها، دلریت‌ها - دیابازها، دیوریت‌ها تا میکرودیوریت‌ها، مونزونیت‌ها، اپی دیوریت‌ها، میکروگابروها و گابروهاست.

بازالت‌های اولیوین‌دار با بافت پورفیری تا گلومروپورفیریتیک و گاهی بادامی و کانی‌های اصلی اولیوین (فنوکریست)، پلاژیوکلاز (میکرولیت)، کلینوپیروکسن (میکروفنوکریست) و کانی‌های تجزیه‌ای کلریت، کلسیت و اپیدوت مشخص می‌شوند.

آندزی بازالت‌ها دارای بافت میکروولیتیک و جریان‌ی هستند که کانی‌شناسی آن‌ها شامل کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، اولیوین و کدر و کانی‌های تجزیه‌ای کلریت، اپیدوت، کلسیت و اسفن است.

آندزیت‌ها با بافت ریز بلور پورفیریتیک حاوی فنوکریست و میکروفنوکریست پلاژیوکلاز و کانی‌های تجزیه‌ای کلریت، اپیدوت و کلسیت‌اند.

تراکیت‌ها و لاتیت‌ها با بافت‌های بین دانه‌ای شامل کانی‌های پلاژیوکلازهای کاملاً تجزیه شده و کدر در حال هماتیتی شدن و کلسیت درشت دانه‌ای دیده می‌شوند.

دلریت‌ها- دیابازها با بافت تقریباً بین دانه‌ای که به خاطر تجزیه‌ی زیاد بافت خیلی مشخص نیستند و کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز تجزیه شده و زونه با ماکل تکراری، بقایایی از

متوسط دانه دانه‌ای که گاه تجزیه و اورالیتی شده و گاه به بیوتیت و در نهایت به کلریت تبدیل شده و گاهی به طور کامل اپیدوتی شده‌اند. بیوتیت‌ها در حال تبدیل به کلریت‌اند، و در برخی از بخش‌ها خمیدگی در بلور بیوتیت دیده می‌شود. گاهی در اطراف بیوتیت‌ها اپیدوت حضور دارد. آثار تجزیه به کلسیت و اپیدوت در تمامی بلورها محسوس است

در این میان نمونه‌های گابرویی که موضوع مورد بررسی در این مقاله‌اند، با بافت دانه‌ای و بین دانه‌ای دیده می‌شوند، و کانی‌شناسی نسبتاً ساده‌ای دارند و از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن، هورنبلند و کانی کدر و کانی‌های تاخیری بیوتیت، کلریت، کلسیت و اسفن تشکیل شده‌اند (شکل ۴).

پلاژیوکلاز

این کانی از نظر اندازه به صورت دانه‌های بلوری متوسط تا درشت بوده و به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شود و تشکیل تیغه‌های (لات‌های) پلاژیوکلاز با ماکل تکراری (پلی‌سینتتیک) را می‌دهد و در اثر تجزیه سوسوریتی در حال تبدیل به کلسیت با اندکی کلریت و اپیدوت هستند. از نظر ترکیبی پلاژیوکلازها در گستره‌ی آندزین تا آل‌بیت قرار می‌گیرند. چون پلاژیوکلازهای بازی سوسوریتی شده‌اند، بنابراین بخش کمتری از آن سوسوریتی شده در گستره‌ی آندزین قرار می‌گیرند و بخش شدیداً سوسوریتی شده ترکیب آل‌بیت را تشکیل می‌دهند (شکل ۵).

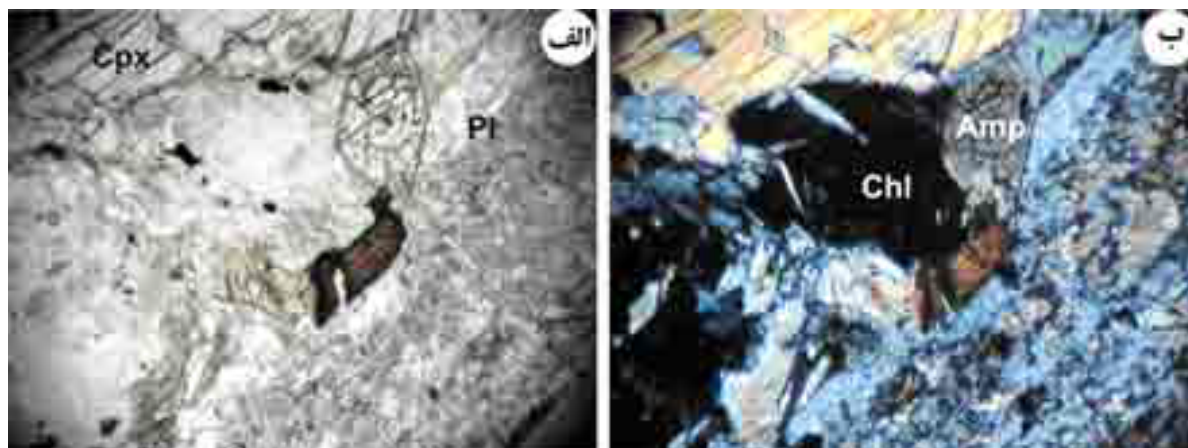
پیروکسن با حواشی اورالیتی شده و آمفیبول و کانی‌های تجزیه‌ای کلریت و اورالیت مشخص می‌شوند

دیوریت‌ها- میکرودیوریت‌ها: با بافت دانه‌ای تا بین دانه‌ای بسیار درشت تا ریز متغیرند و دارای کانی‌های پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سینتتیک سوسوریتی و کلسیتی شده، پیروکسن‌های نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در حال اورالیتی شدن، آمفیبول‌های نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل که دستخوش خردشدگی و تجزیه به کلریت و اسفن شده‌اند، بیوتیت که در حال تبدیل به کلریت است، تورمالین شکل‌دار و قهوه‌ای تا سبز دارای منطقه‌بندی، اسفن شکل‌دار اولیه و زیرکن را تشکیل می‌دهند.

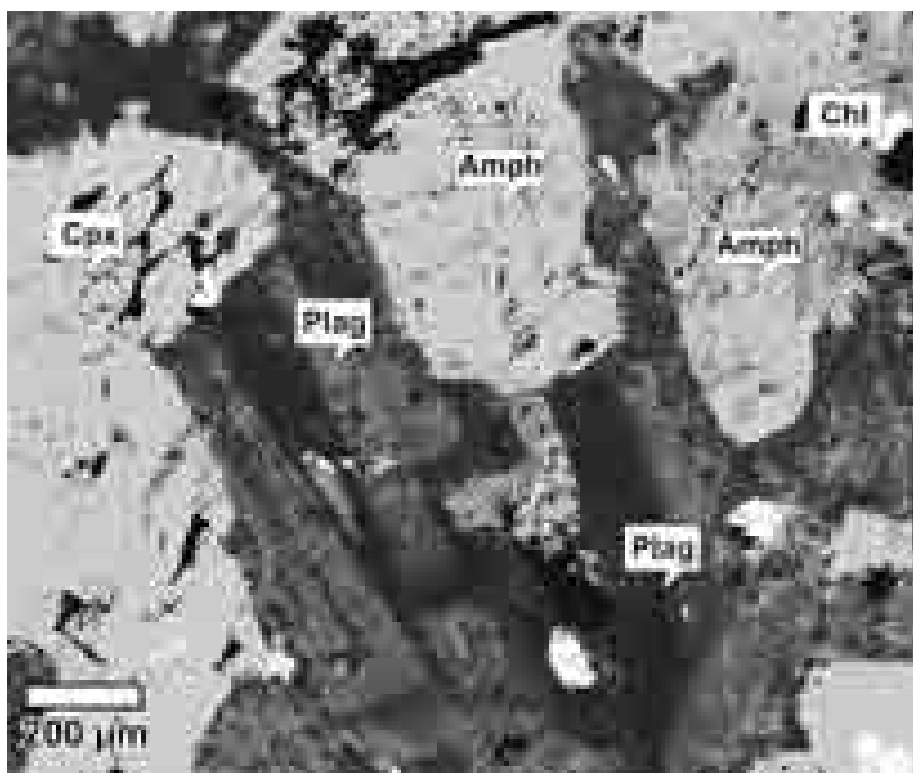
مونوزونیت‌ها دارای بافت غالب دانه‌ای تا بین دانه‌ای هستند که حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل آل‌بیتی (گاهی سوسوریتی شده) اند. علاوه بر این پلاژیوکلازها، با منطقه‌بندی و بافت پرتیتی نیز دیده می‌شوند و بسیاری از نمونه‌ها کدرند.

اپی‌دیوریت‌ها با بافت بین دانه‌ای و ریزدانه‌ای که آثار تجزیه‌ی زیادی را نشان می‌دهند و زمینه حالت کلریتی و کلسیتی پیدا کرده در حالی که کلریت بیشتر از کلسیت است. کانی‌های پلاژیوکلازی تجزیه شده، کانی کدر اسکلتی، آمفیبول تجزیه شده در آن‌ها دیده می‌شوند.

میکروگابروها دارای بافت دانه‌ای هم بعد تا بین دانه‌ای بوده و حاوی پلاژیوکلازهای درشت بلور با ماکل پلی‌سینتتیک هستند. پیروکسن‌های نیمه‌شکل‌دار تا کمی شکل‌دار - از نظر اندازه



شکل ۴ مقطع میکروسکوپی از کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ. پلاژیوکلاز (Pl) دارای آثار تجزیه‌ی سوسوریتی و آمفیبول‌های (Amp) به صورت شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار با تجزیه کلریتی شدن (Chl) و کلینوپیروکسن‌ها (Cpx) در بالای مقطع نازک. پهنای میدان دید ۰/۸ میلی‌متر الف: نور عادی PPL، ب: نور قطبیده متقاطع XPL



شکل ۵ تصویر ریزپردازشی الکترونی از کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ مورد بررسی. بخش‌های روشن پلاژیوکلاز ترکیب آلبیتی و بخش تیره ترکیب غنی‌تر از آنورتیت (آندزین) نشان می‌دهند.

پیروکسن

این کانی نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل بوده و گاهی با پلاژیوکلازهای بافت افیتیک تا ساب‌افیتیک دیده می‌شود.

هورنبلند

این کانی از لحاظ اندازه میان بلوری بوده و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار است. مقاطع عرضی آن دو دسته رخ ۱۲۴ و ۵۶ را نشان می‌دهند و مقاطع طولی یک دسته رخ دارند و چند رنگی قهوه‌ای (ماگمایی) و سبز (تاخیری) نشان می‌دهند. تجزیه به کلریت (بلورهای شعاعی) و کانی کدر دیده می‌شوند. از نظر ترکیب شیمیایی، از ادنیت، منیزیوهستینگزیت، منیزیوهورنبلند و اکتینوت تشکیل شده‌اند.

کانی کدر

این کانی به صورت میان بلور تا ریز بلور دیده می‌شود و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار است. با توجه به این که غالباً با اسفن تجزیه شده (که از لحاظ اندازه ریز بلور و بی‌شکل است) احاطه شده است، ایلمنیت خوانده می‌شود. ایلمنیت به کانی‌های تجزیه شده اسفن - لوکوکسن تغییر شکل یافته است.

شیمی کانی پیروکسن

کوشش‌های زیادی در شناخت رابطه‌ی بین ترکیب شیمیایی کلینوپيروكسن‌های آذرین با ماهیت سنگ‌های میزبان آن‌ها صورت گرفته است [۶]. کوشیرو و لوباس [۸،۷] نشان دادند که محتوای Ti و Al کلینوپيروكسن‌ها از یک طرف به فعالیت سیلیس که از آن متبلور شده‌اند، وابسته بوده و از طرف دیگر به نسبت این عناصر که به ترتیب در انواع ماگماهای توله‌ایتی، آلکالن و پرآلکالن افزایش می‌یابد، بستگی دارد.

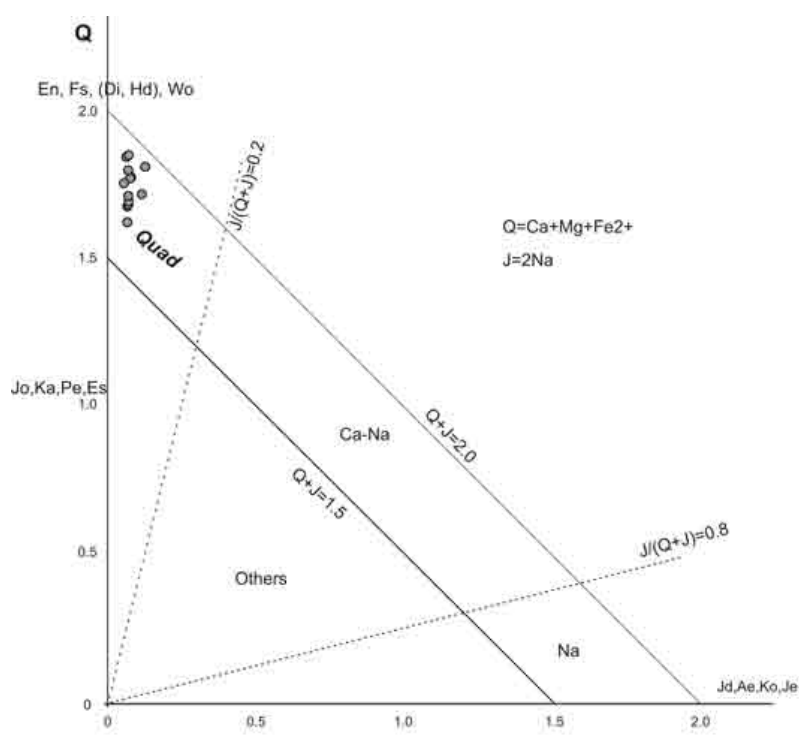
نتایج ریزکاوش الکترونی از کلینوپيروكسن‌های توده‌ی نفوذی مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده‌اند. در نمودار Q-J نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی پیروکسن‌های کلسیم-آهن-منیزیم‌دار (Quad) قرار می‌گیرند (شکل ۶). کلیه پیروکسن‌های مورد بررسی در میدان اوژیت و دیوپسید [۹] تصویر می‌شوند (شکل ۷). چنان‌که در جدول ۱ مشاهده می‌شود ترکیب اعضای انتهایی کلینوپيروكسن‌ها از این توده برابر با $En_{40.95-44.13}$ $Wo_{43.97-45.69}$ $Fs_{10.92-14.25}$ است.

جدول ۱ نتایج آنالیز نقطه‌ای کلینوپیروکسن و محاسبه‌ی فرمول ساختاری آن.

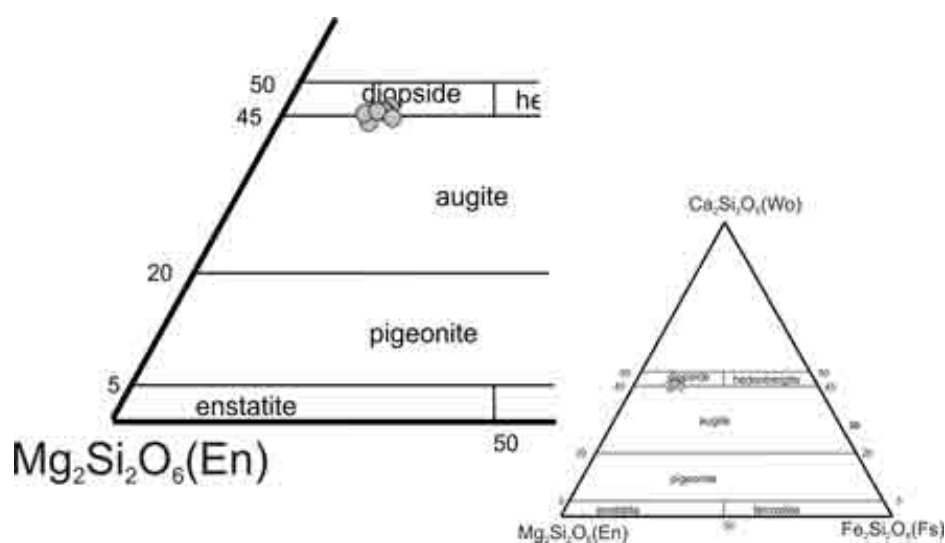
Label	D1- Cpx1-1	D1- Cpx1-2	D1-Cpx1-5	D1-Cpx1-6	D2-Cpx-1	D2-Cpx-2	D2- Cpx-3
SiO ₂	۵۰٫۹۸	۵۰٫۴۶	۵۰٫۶۱	۵۰٫۸۱	۵۱٫۱۴	۵۱٫۴۱	۵۰٫۸۵
TiO ₂	۰٫۹۴	۱٫۱۳	۱٫۰۷	۱٫۰۵	۰٫۸۵	۰٫۸۲	۱٫۲۶
Al ₂ O ₃	۳٫۶۴	۴٫۱۳	۳٫۵۲	۳٫۶۷	۲٫۸۷	۲٫۸۸	۳٫۵۷
Cr ₂ O ₃	۰٫۵۷	۰٫۴۷	۰٫۳۲	۰٫۳۴	۰٫۵۴	۰٫۴۷	۰٫۱۲
FeO	۷٫۰۸	۷٫۵۳	۷٫۴۸	۷٫۴۲	۷٫۲۰	۷٫۱۹	۷٫۸۹
MnO	۰٫۱۴	۰٫۱۲	۰٫۱۴	۰٫۱۴	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۱۶
MgO	۱۴٫۶۵	۱۴٫۴۳	۱۴٫۴۱	۱۴٫۴۳	۱۵٫۲۷	۱۵٫۱۰	۱۴٫۱۱
CaO	۲۱٫۵۵	۲۱٫۴۸	۲۱٫۴۸	۲۱٫۵۰	۲۱٫۱۹	۲۱٫۴۰	۲۱٫۴۲
Na ₂ O	۰٫۳۹	۰٫۴۳	۰٫۴۳	۰٫۴۲	۰٫۳۳	۰٫۴۱	۰٫۴۷
K ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰
P ₂ O ₅	۰٫۹۳	۰٫۰۰	۰٫۱۸	۰٫۰۰	۰٫۲۵	۰٫۰۵	۰٫۰۱
NiO	۰٫۰۴	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۴
F	۰٫۰۰	۰٫۳۲	۰٫۰۹	۰٫۳۹	۰٫۲۶	۰٫۸۰	۰٫۱۵
Total	۱۰۰٫۹۱	۱۰۰٫۳۹	۹۹٫۷۲۲	۱۰۰٫۰۳	۹۹٫۹۸	۱۰۰٫۳۷	۹۹٫۹۹
محاسبات بر مبنای ۶ اتم اکسیژن می‌باشد							
Si	۱٫۸۶۷	۱٫۸۴۶	۱٫۸۷۵	۱٫۸۶۰	۱٫۸۸۰	۱٫۸۶۰	۱٫۸۸۰
Ti	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۴۰
Al	۰٫۱۵۷	۰٫۱۷۸	۰٫۱۵۴	۰٫۱۶۰	۰٫۱۲۰	۰٫۱۲۰	۰٫۱۶۰
Cr	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۰
Fe ³⁺	۰٫۰۰۰	۰٫۱۵۹	۰٫۰۶۳	۰٫۱۷۰	۰٫۱۲۰	۰٫۲۲۰	۰٫۰۸۰
Fe ²⁺	۰٫۲۱۷	۰٫۰۷۲	۰٫۱۶۹	۰٫۰۶۰	۰٫۱۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۱۶۰
Mn	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰
Mg	۰٫۸۰۰	۰٫۷۸۷	۰٫۷۹۶	۰٫۷۹۰	۰٫۸۴۰	۰٫۸۱۰	۰٫۷۸۰
Ca	۰٫۸۴۶	۰٫۸۴۲	۰٫۸۵۳	۰٫۸۴۰	۰٫۸۳۰	۰٫۸۳۰	۰٫۸۵۰
Na	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۰	۰٫۰۲۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۳۰
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
P	۰٫۰۲۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Ni	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
F	۰٫۰۰۰	۰٫۰۳۷	۰٫۰۱۱	۰٫۰۵۰	۰٫۰۳۰	۰٫۰۹۰	۰٫۰۲۰
Sum	۳٫۹۹۲	۴٫۰۰۲	۴٫۰۰۲	۳٫۹۹۹	۳٫۹۹۹	۳٫۹۹۹	۴٫۰۰۰
Name	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید	اوژیت	اوژیت	دیوپسید
Al(IV)	۰٫۱۳۳	۰٫۱۵۴	۰٫۱۲۵	۰٫۱۳۸	۰٫۱۲۲	۰٫۱۲۳	۰٫۱۲۱
Al(VI)	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۲۸	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۳۵
Mg(Fe ²⁺ +Mg)	۰٫۷۸۷	۰٫۹۱۶	۰٫۸۲۵	۰٫۹۳۱	۰٫۸۸۹	۱٫۰۰۰	۰٫۸۲۷
Q	۱٫۸۶۲	۱٫۷۰۱	۱٫۸۱۷	۱٫۶۹۱	۱٫۷۷۴	۱٫۶۴	۱٫۷۸۹
J	۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۱	۰٫۰۶۲	۰٫۰۶۰	۰٫۰۴۷	۰٫۰۵۷	۰٫۰۶۷
Q+J	۱٫۹۱۸	۱٫۷۶۲	۱٫۸۷۹	۱٫۷۵۱	۱٫۸۲۱	۱٫۶۹۸	۱٫۸۵۶
J(J+Q)	۰٫۰۲۹	۰٫۰۳۵	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۴	۰٫۰۲۶	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۶
MolWo	۴۵٫۳۰	۴۵٫۱۹	۴۵٫۲۴	۴۵٫۲۸	۴۳٫۹۷	۴۴٫۹۵	۴۵٫۲۵
MolEn	۴۲٫۸۵	۴۲٫۲۴	۴۲٫۲۳	۴۲٫۲۹	۴۴٫۰۹	۴۴٫۱۳	۴۱٫۴۷
MolFs	۱۱٫۸۵	۱۲٫۵۷	۱۲٫۵۳	۱۲٫۴۳	۱۱٫۹۴	۱۰٫۹۲	۱۳٫۲۸
group	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px

ادامه جدول ۱

Label	D2-Cpx-4	D3-Cpx-1	D3-Cpx-2	D3-Cpx-3	D3-Cpx-4	D3-Cpx-5
SiO ₂	۵۰٫۶۸	۵۲٫۳۵	۵۰٫۴۸	۵۰٫۳۶	۵۰٫۰۶	۵۲٫۱۱
TiO ₂	۱٫۲۳	۰٫۸۸	۱٫۱۷	۱٫۱۹	۱٫۰۶	۰٫۸۲
Al ₂ O ₃	۳٫۰۱	۱٫۹۷	۳٫۰۶	۳٫۸۶	۳٫۷۸	۱٫۶۶
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۴	۰٫۲۶	۰٫۰۲	۰٫۳۴	۰٫۵۶	۰٫۳۶
FeO	۷٫۹۱	۷٫۹۳	۷٫۹۴	۷٫۶۹	۷٫۲۷	۸٫۳۷
MnO	۰٫۱۷	۰٫۲۰	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۱۶	۰٫۲۰
MgO	۱۴٫۲۴	۱۳٫۹۸	۱۴٫۳۴	۱۴٫۲۹	۱۴٫۴۸	۱۳٫۹۴
CaO	۲۱٫۵۵	۲۱٫۷۰	۲۱٫۶۱	۲۱٫۳۶	۲۱٫۴۹	۲۰٫۸۷
Na ₂ O	۰٫۴۹	۰٫۷۶	۰٫۴۴	۰٫۴۳	۰٫۴۴	۰٫۸۲
K ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
P ₂ O ₅	۰٫۲۰	۰٫۰۹	۰٫۴۵	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۱۳
NiO	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲
F	۰٫۱۶	۰٫۲۹	۰٫۰۰	۰٫۲۷	۰٫۲۹	۰٫۰۶
Total	۹۹٫۶۱	۱۰۰٫۳۳	۹۹٫۶۷	۹۹٫۹۰	۹۹٫۵۴	۹۹٫۳۴
محاسبات بر مبنای ۶ اتم اکسیژن می‌باشد						
Si	۱٫۸۷۹	۱٫۹۲۲	۱٫۸۷۸	۱٫۸۵۵	۱٫۸۴۷	۱٫۹۴۵
Ti	۰٫۰۳۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۳	۰٫۰۲۹	۰٫۰۲۳
Al	۰٫۱۳۲	۰٫۰۸۵	۰٫۱۳۴	۰٫۱۶۸	۰٫۱۶۴	۰٫۰۷۳
Cr	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۱	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۱
Fe ³⁺	۰٫۰۹۵	۰٫۱۲۸	۰٫۰۳۴	۰٫۱۳۶	۰٫۱۶۱	۰٫۰۴۲
Fe ²⁺	۰٫۱۵۱	۰٫۱۱۶	۰٫۲۱۳	۰٫۱۰۱	۰٫۰۶۳	۰٫۲۱۹
Mn	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۶
Mg	۰٫۷۸۷	۰٫۷۶۵	۰٫۷۹۵	۰٫۷۸۵	۰٫۷۹۶	۰٫۷۷۶
Ca	۰٫۸۵۶	۰٫۸۵۴	۰٫۸۶۱	۰٫۸۴۳	۰٫۸۵۰	۰٫۸۳۴
Na	۰٫۰۳۵	۰٫۰۵۴	۰٫۰۳۲	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۱	۰٫۰۵۹
K	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
P	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۴
Ni	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۱
F	۰٫۰۱۹	۰٫۰۳۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۳۱	۰٫۰۳۴	۰٫۰۰۷
Sum	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۴٫۰۰۰	۳٫۹۹۹	۴٫۰۰۰
Name	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید	دیوپسید
Al(IV)	۰٫۱۲۱	۰٫۰۷۸	۰٫۱۲۲	۰٫۱۴۵	۰٫۱۵۳	۰٫۰۵۵
Al(VI)	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۲	۰٫۰۲۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۸
Mg(Fe ²⁺ +Mg)	۰٫۸۳۹	۰٫۸۶۸	۰٫۷۸۹	۰٫۸۸۶	۰٫۹۲۷	۰٫۷۸۰
Q	۱٫۷۹۴	۱٫۷۳۵	۱٫۸۷۰	۱٫۷۲۹	۱٫۷۱۰	۱٫۸۲۹
J	۰٫۰۷۰	۰٫۱۰۸	۰٫۰۶۳	۰٫۰۶۱	۰٫۰۶۳	۰٫۱۱۹
Q+J	۱٫۸۶۴	۱٫۸۴۳	۱٫۹۳۳	۱٫۷۹۰	۱٫۷۷۲	۱٫۹۴۸
J(J+Q)	۰٫۰۳۸	۰٫۰۵۹	۰٫۰۳۳	۰٫۰۳۴	۰٫۰۳۶	۰٫۰۶۱
MolWo	۴۵٫۲۰	۴۵٫۶۸	۴۵٫۱۳	۴۵٫۱۰	۴۵٫۳۰	۴۴٫۴۴
MolEn	۴۱٫۵۶	۴۰٫۹۵	۴۱٫۶۷	۴۱٫۹۸	۴۲٫۴۷	۴۱٫۳۱
MolFs	۱۳٫۲۳	۱۳٫۳۶	۱۳٫۱۹	۱۲٫۹۲	۱۲٫۲۳	۱۴٫۲۵
group	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px	quad-Px



شکل ۶ کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در نمودار Q-J در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار قرار می‌گیرند [۹].



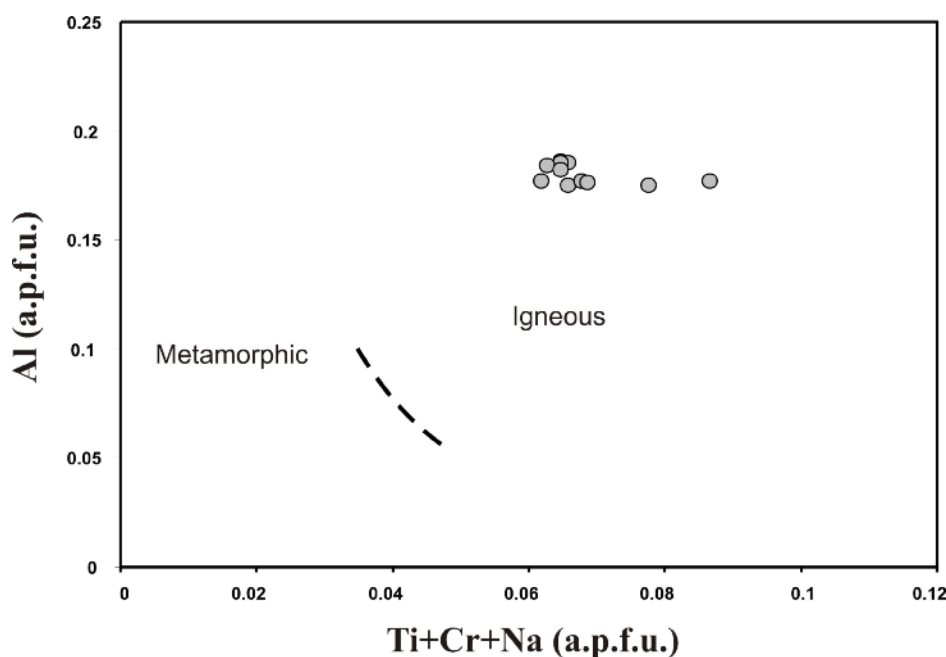
شکل ۷ در نمودار سه‌تایی En-Wo-Fs، کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در گستره‌ی دیوپسید و اوژیت قرار می‌گیرند [۹].

براساس نمودار تغییرات $Ti + Na + Cr$ در برابر Al [۱۰] تمامی کلینوپیروکسن‌ها ماهیت آذرین دارند (شکل ۸). در نمودار توزیع Al و Si در پیروکسن‌های گابروهای مورد بررسی، در بالای خط اشباع جایگاه چهاروجهی قرار می‌گیرند (شکل ۹). بنابراین موقعیت این کلینوپیروکسن‌های چهاروجهی به‌طور کامل با Si و به‌طور بخشی با $Al(Al^{IV})$ پر می‌شود و

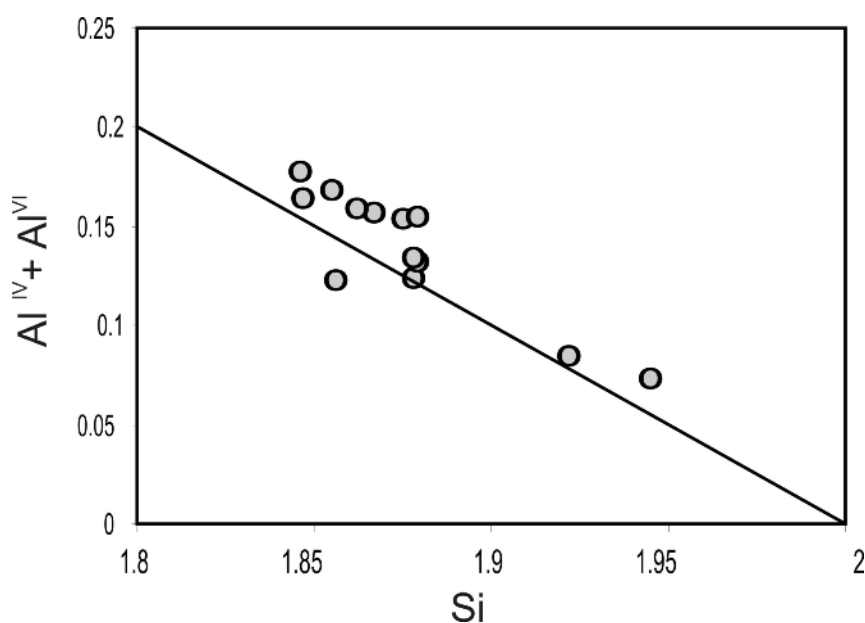
میزان تغییرات Al_2O_3 از ۱۶۶ تا ۴۱۳ درصد وزنی بوده و تغییرات CaO نیز بسیار کم است و از ۲۰/۸۷ تا ۲۱/۷۰ درصد وزنی است. مقدار $Mg\#$ نیز به‌طور متوسط در حدود ۰/۸۸ است. میزان Al^{IV} از ۰/۱۵۵ تا ۰/۱۵۴ اتم در واحد فرمول (a.p.f.u) و Al^{VI} نیز از ۰/۰۲ تا ۰/۰۳۴ a.p.f.u متغیر است.

است [۱۲، ۱۱]. قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط $Fe^{3+} = 0$ موید بالا بودن گریزندگی اکسیژن است (شکل ۱۰) و با توجه به فاصله‌ی نمونه‌ها با خط $Fe^{3+} = 0$ گریزندگی محیط تبلور نسبتاً بالاست [۱۳]. با توجه به نمودار تغییرات $Ti - Al^{IV}$ ، میزان پایین تیتانیم در کلینوپیروکسن‌ها بیانگر وجود کانی‌های تیتانیم‌دار (اسفن و ایلمنیت) در سنگ است (شکل ۱۱).

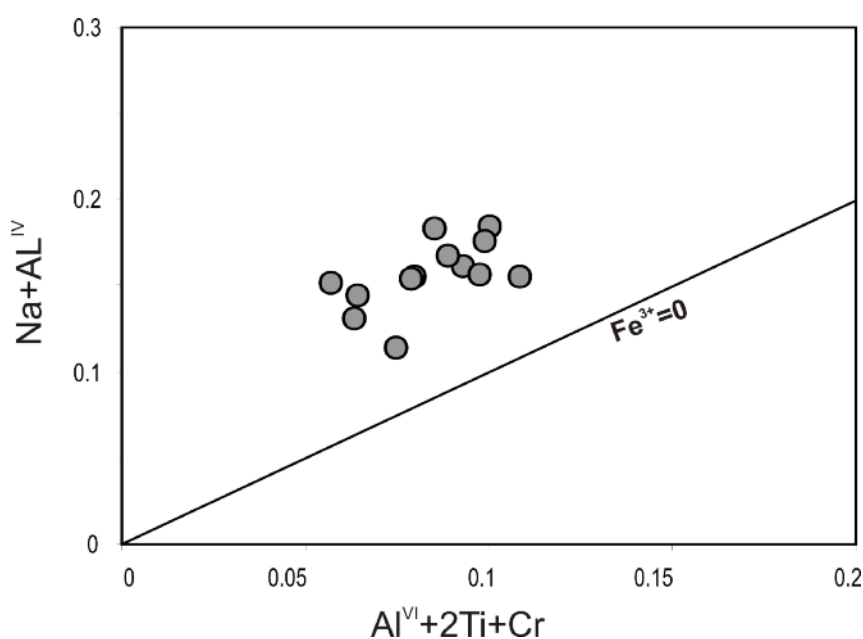
نمی‌تواند با کاتیون‌های سه ظرفیتی مثل Fe^{+3} ، Ti و Cr اشغال شود. Al اضافی همراه با عناصر سه ظرفیتی نیز وارد ساختار هشت وجهی می‌شوند. بنابراین میزان Fe^{3+} در کلینوپیروکسن‌ها تابعی از گریزندگی اکسیژن و میزان Al در موقعیت چهاروجهی و هشت وجهی است، نمودار $Al^{VI} + 2Ti + Cr$ نسبت به $Na + Al^{IV}$ گویای این مطلب



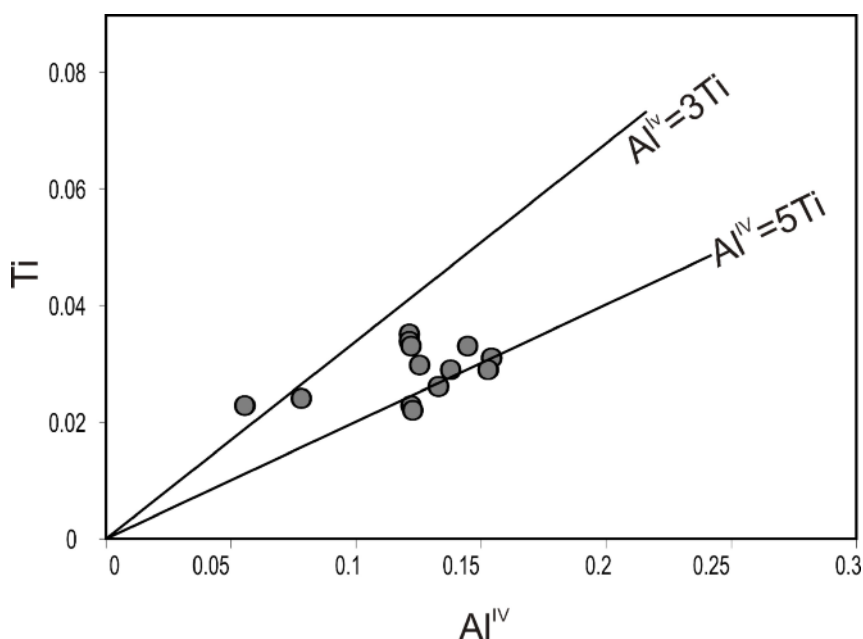
شکل ۸ تمامی کلینوپیروکسن‌ها در نمودار تغییرات $Ti + Na + Cr$ نسبت به Al ماهیت آذرین نشان می‌دهند [۱۰].



شکل ۹ در نمودار توزیع Al و Si نمونه‌های کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی در بالای خط اشباع جایگاه چاروجهی قرار می‌گیرند [۱۲].



شکل ۱۰ در نمودار $Al^{VI} + 2Ti + Cr$ نسبت به $Na + Al^{IV}$ ، قرارگیری نمونه‌ها در بالای خط $Fe^{3+} = 0$ موید بالا بودن گریزندگی اکسیژن است [۱۲].



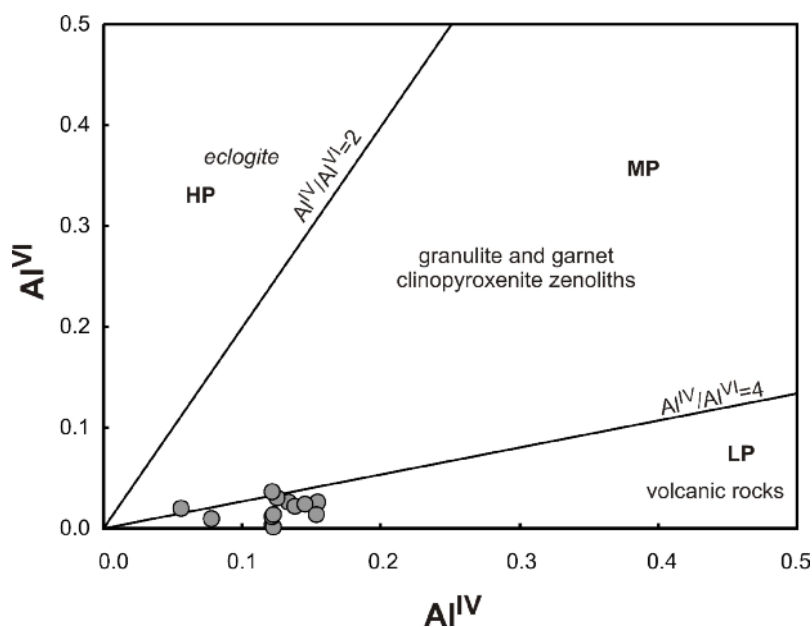
شکل ۱۱ در نمودار تغییرات $Ti - Al^{IV}$ ، میزان پایین تیتانیم در کلینوپیروکسن‌ها بیانگر وجود کانی‌های تیتانیم‌دار در سنگ است [۱۳].

در نمودار Ca نسبت به $Cr + Ti$ [۱۴] این کلینوپیروکسن‌ها محیط کشتی را نشان می‌دهند (شکل ۱۴)، در حالی‌که نمودار $Ca + Na$ نسبت به Ti و نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 ماهیت تولییتی - قلیایی [۱۷] را نشان می‌دهد (شکل ۱۵ و ۱۶). همچنین در نمودار سه‌تایی

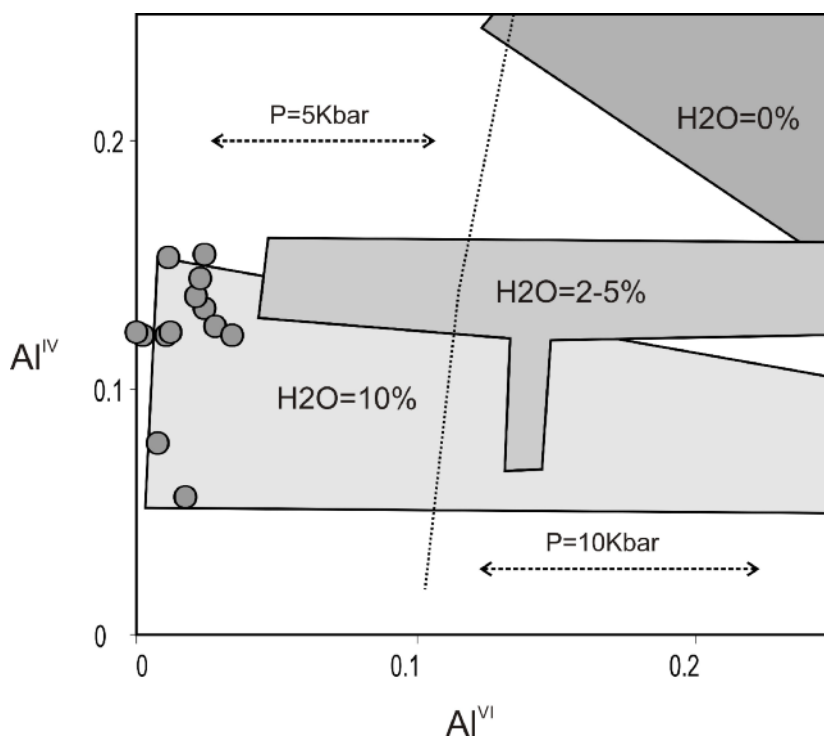
براساس نمودار توزیع آلومینیم در موقعیت چهاروجهی و هشت وجهی (Al^{VI} نسبت به Al^{IV}) میزان آب ماگما هنگام تبلور متغیر و کمتر از ۱۰٪ بوده و فشار حاکم بر محیط تبلور کمتر از ۵ کیلو بار است و نشانگر یک محیط کم فشارند (شکل ۱۲ و ۱۳) [۱۴، ۱۵].

با توجه به نمودار دمای تبلور کلینوپیروکسن‌ها برای فشار ۵ کیلو بار که توسط [۲۰] ارائه شده است، ترکیب کلینوپیروکسن‌های گستره‌ای یک محدوده‌ای از ۶۵۰ تا ۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد را به نمایش می‌گذارند (شکل ۱۸).

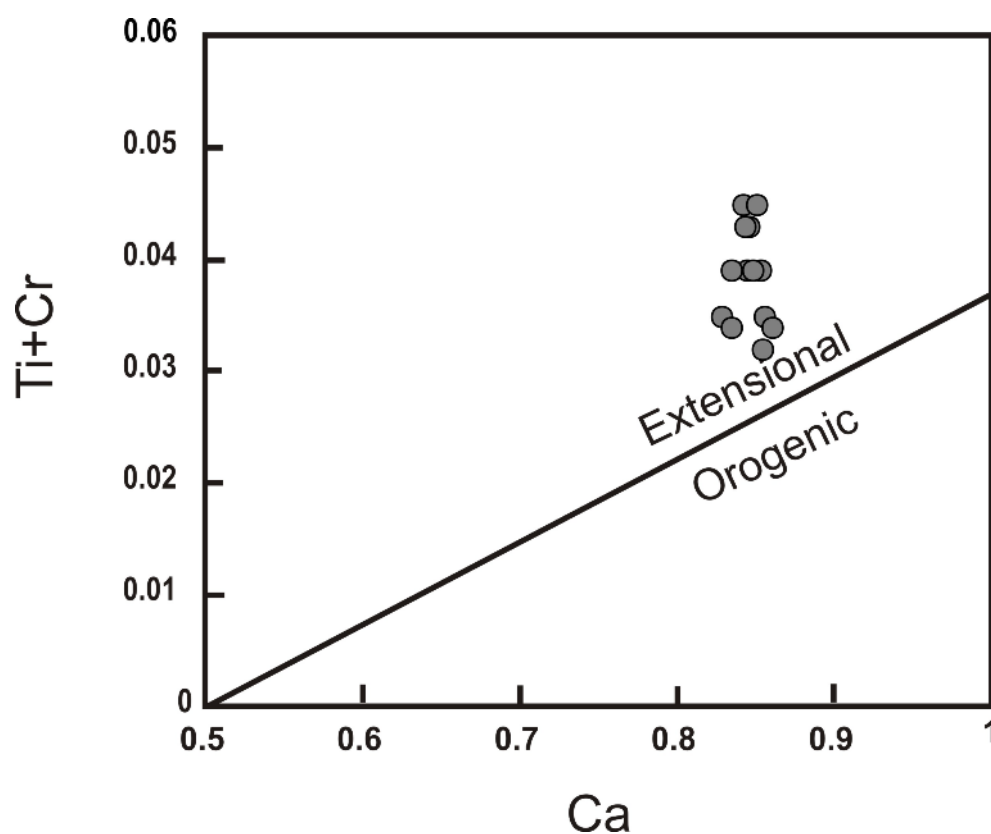
شکل $\text{SiO}_2/100 - \text{TiO}_2 - \text{Na}_2\text{O}$ ماهیت ماگما مورب است (شکل ۱۷) [۱۸]. دلیل قرار گرفتن نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی مورب این است که کافت‌های درون قاره‌ای با پیشرفت و تولید آبگون پوسته‌ی اقیانوسی در نهایت مورب می‌شوند [۱۹].



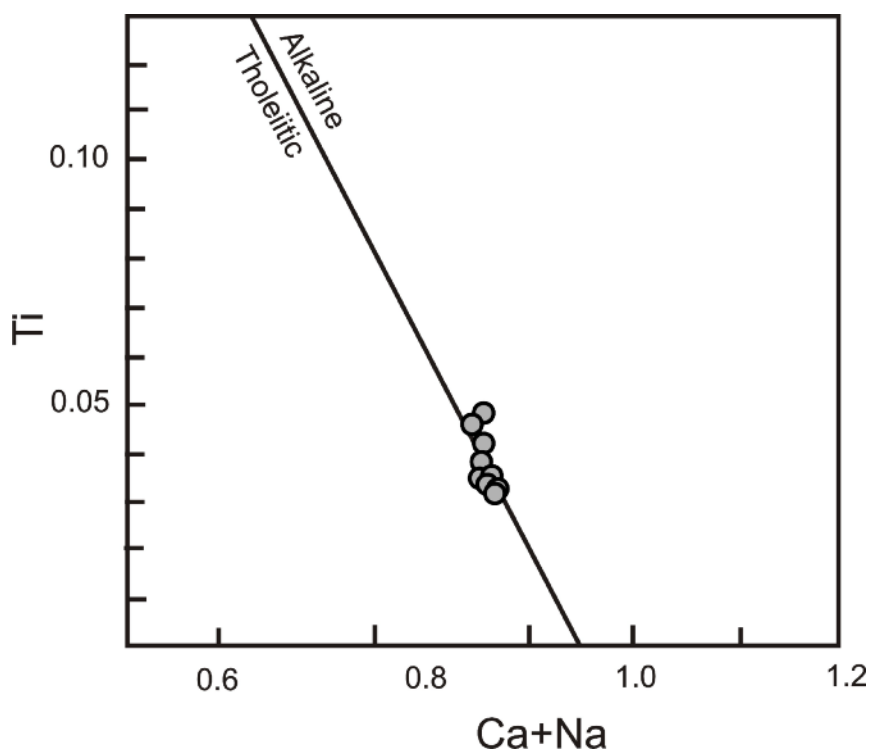
شکل ۱۲ نمودار توزیع آلومینیم در موقعیت چاروچی و هشت وجهی نشان‌گر تبلور در یک محیط کم فشار می‌باشد [۱۶].



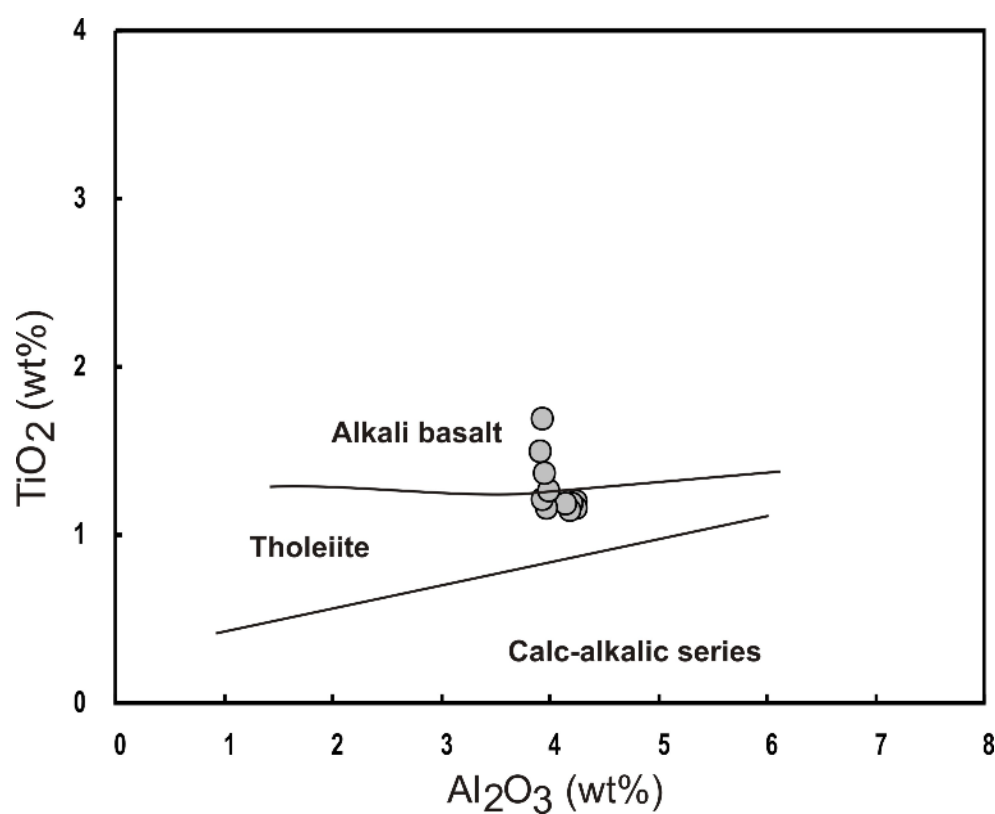
شکل ۱۳ نمودار توزیع آلومینیم در موقعیت چهاروچی و هشت وجهی میزان آب ماگما هنگام تبلور حدود ۱۰٪ بوده و فشار حاکم بر محیط تبلور کمتر از ۵ کیلو بار است [۱۵].



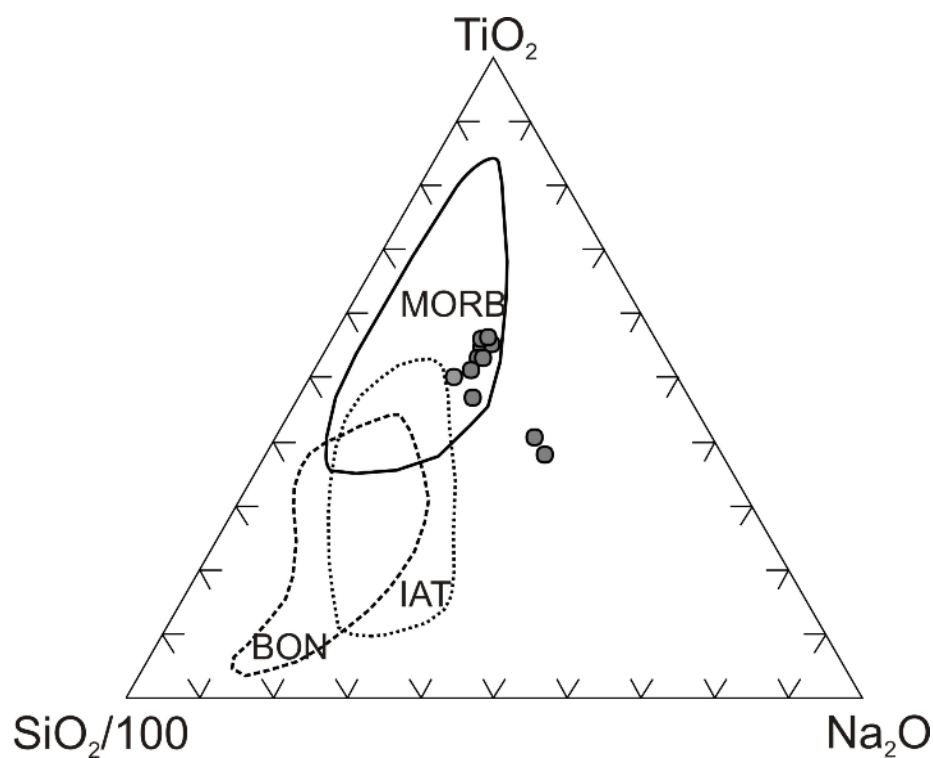
شکل ۱۴ در نمودار Ca نسبت به Cr + Ti این کلینوپیروکسن‌ها محیط کشتی را نشان می‌دهند [۱۴].



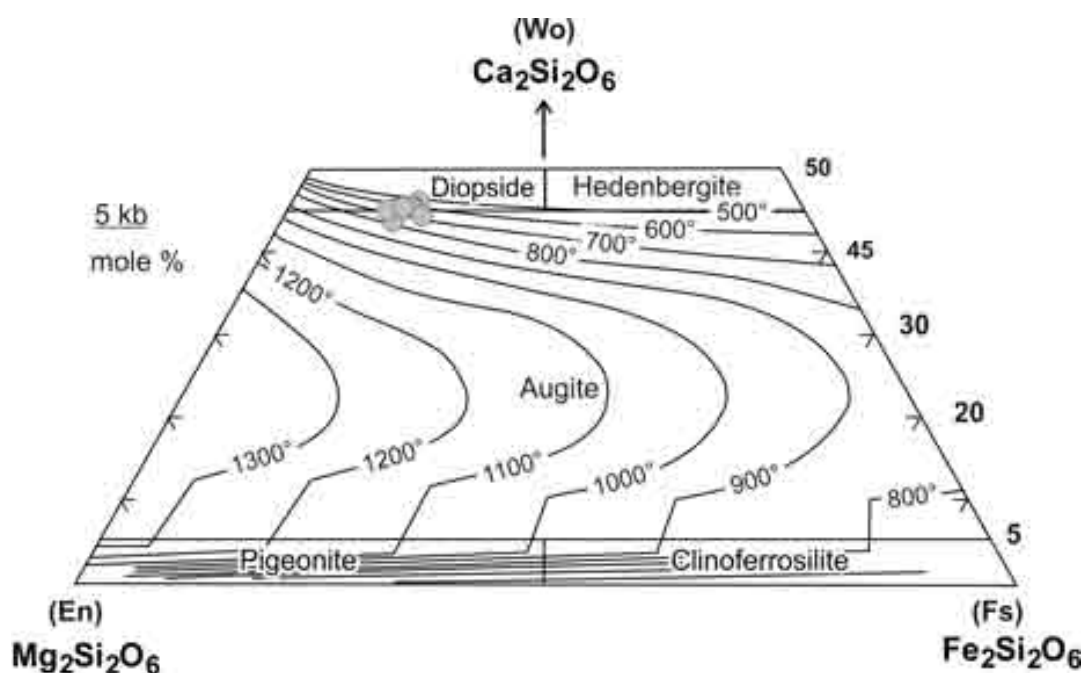
شکل ۱۵ کلینوپیروکسن‌ها در نمودار Ca + Na نسبت به Ti ماهیت تولیتتی - قلیایی را نشان می‌دهد [۱۴].



شکل ۱۶ کلاینوپیروکسن‌ها در نمودار TiO_2 نسبت به Al_2O_3 ماهیت تولییتی - قلیایی را نشان می‌دهد [۱۷].



شکل ۱۷ در نمودار سه‌تایی $\text{SiO}_2/100$ - TiO_2 - Na_2O ماهیت ماگما از نوع مورب است [۱۸].



شکل ۱۸ با توجه به نمودار دمای تبلور، کلینوپیروکسن‌ها برای فشار ۵ کیلو بار گستره‌ای ۶۵۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد را به نمایش می‌گذارند [۲۰].

برداشت

تفسیر داده‌های ترکیب کانیایی این کلینوپیروکسن‌های آذرین که در گستره‌ی کلینوپیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن‌دار قرار می‌گیرند و از نوع دیوپسید و اوژیت هستند، نشان می‌دهد که ماگمای سازنده این سنگ‌های گابرویی، غنی از تیتانیوم بوده که حضور ایلمنیت و اسفن-لوکوکسن دال بر این ادعاست و مورب است. همچنین گریزندگی اکسیژن ماگما نسبتاً بالا بوده و میزان آب ماگما هنگام تبلور متغیر و کمتر از ۱۰٪، و فشار حاکم بر محیط تبلور کمتر از ۵ کیلو بار است. ترکیب کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی گستره‌ای از ۶۵۰ تا ۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد در فشارهایی تا ۵ کیلو بار را نشان می‌دهد.

قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشگاه پیام نور شهرکرد به سبب حمایت مالی سپاسگزاری می‌شود. همچنین از آقای دکتر محمود خلیلی که ما را در کاوش الکترونی یاری کردند، کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [۱] نجفی د، "گزارش پی‌جوئی گنبد نمکی کاج و رستم آباد"، سازمان صنایع و معادن استان چهارمحال و بختیاری (۱۳۷۵) ص ۲۱۲.
- [۲] اصفهانی ف، "پترولوژی سنگ‌های آذرین و دگرگونی گنبد‌های نمکی جنوب استان چهارمحال و بختیاری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۷۲) ص ۸۵.
- [۳] تقی‌پور ص. و تقی‌پور ب، "کانی‌شناسی کانی‌های دگرنهادی در سنگ‌های آتشفشانی گنبد‌های نمکی در بلندهای زاگرس"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴ (۱۳۸۸) ص ۵۳۵-۵۵۰.

[4] Dachs E., "PET: 'Petrological elementary tools for mathematica: an update", Computers and Geoscience 30(2004) 173-182.

[5] Droop G.T.R., "A general equation for estimating Fe^{+3} concentrations. in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria", Mineralogical Magazine 51(1987) 431-435.

- [14] Letterrier 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) 139-54.
- [15] Helz R.T., "Phase relationships of basalts in their melting range at $pH_2O = 5$ kb as a function of oxygen fugacity", Journal of Petrology 14 (1973) 249-302.
- [16] Aoki K., Shiba I., "Pyroxene from Iherzolite inclusions of Itinomegata, Japan", Lithos 6 (1973) 41-51
- [17] Le BAS M. J., "The role of aluminum in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", American Journal of Science, 260 (1962) 267-88.
- [18] Beccaluva L., Macciotta G., Piccardo G.B., Zeda O., "Clinopyroxene composition of ophiolite basalts as petrogenetic indicator", Chemical Geology 77 (1989) 165-182.
- [۱۹] تقی‌پور ص.، خلیلی م.، نقره‌ئیان م.، ترابی ق.، مکی‌زاده م.ع.، تقی‌پور ب.، "کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های ماگمایی سازند هرمز (گنبد‌های نمکی کاج و دوآب)"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۸۷) ص ۳۸۸-۳۷۷.
- [20] Lindsley I., "Pyroxene thermometry", American Mineralogist 68 (1983) 477-493.
- [6] Nisbet E.G., Pearce J.A., "Clinopyroxene composition of mafic lavas from different tectonic settings", Contributions to Mineralogy and Petrology 63 (1977) 161-173.
- [7] Kushiro I., "Si-Al relation in clinopyroxenes from igneous rocks", American Journal of Science 258 (1960) 548-554.
- [8] Le Bas M.J., "The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage", American Journal of Science 260 (1962) 267-288.
- [9] Morimoto N., "The nomenclature of pyroxenes", Mineralogical Magazine 52 (1988) 535-550.
- [10] Berger J., Femenias O., Mercier J.C.C., Demaiffe D., "Ocean-floor hydrothermal metamorphism in the Limousin ophiolites (western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker", Journal of Metamorphic Geology 23 (2005) 795-812.
- [11] Bence A.E., Papike J.J., Ayuso R.A., "Petrology of Atlantic island arcs", Bulletin of Volcanology 32 (1975) 189-206.
- [12] Schweitzer E.L., Papike J.J., Bence E., "Statistical analysis of clinopyroxenes from deep-sea basalts", American Mineralogist 64 (1979) 501-513.
- [۱۳] کنعانیان ع.، صلواتی م.، اسماعیلی د.، آسیابانها ع.، "شیمی-کانی‌شناسی کلینوپیروکسن در سنگ‌های آذرین منطقه املش (شمال ایران)"، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۲ (۱۳۸۳) ۲۴۵-۲۲۹.