



زمین-دماسنجی اسکارن‌های سرانجیک (جنوب غرب قروه، استان کردستان)

فرهاد شیخی^{۱*}، زهره اعلمی نیا^۲، امیر علی طباح شعبانی^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی

۲- عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز

۳- پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

(دریافت مقاله: ۹۰/۱/۱۵، نسخه نهایی: ۹۰/۴/۲۹)

چکیده: تزریق توده‌های گرانودیوریتی به درون آهک‌های کلسیتی منطقه‌ی قروه منجر به تشکیل مرم‌های سیلیکات قلیایی دار و انواع اسکارن شده است. اسکارن‌ها حاوی کانی‌های کلسیت، کلینوپیروکسن، گارنت، ولاستونیت، ایدوکراز و اپیدوت است. بر پایه‌ی بررسی‌های ژئوشیمیایی، دو نوع گارنت گراسولار و آندرادیت قابل تشخیص‌اند. کلینوپیروکسن‌های موجود در این اسکارن‌ها از نوع دیوپسیدند. با توجه به مجموعه‌ی کانی‌شناسی موجود در اسکارن‌ها و با استفاده از مدرج کردن‌های گوناگون در زمین-دماسنجی گارنت - کلینوپیروکسن، دمای تشکیل این اسکارن‌ها در حدود ۴۵۰ تا ۵۷۸ درجه‌ی سانتیگراد و رخداد دگرگونی در حد رخساره‌ی هورنبلند هورنفلس تا بخشی از رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس تعیین شده است.

واژه‌های کلیدی: اسکارن، زمین‌دماسنجی، سرانجیک، قروه، کردستان.

مقدمه

با توجه به اهمیت تعیین شرایط فشار و دما در بررسی‌های مربوط به پهنه‌های زمین‌شناسی، تا کنون روش‌های گوناگونی بدین منظور ارایه شده‌اند که قدیمی‌ترین آنها استفاده از شبکه‌های سنگ‌زایی است. به مرور زمان، با پیشرفت روزافزون علم و اختراع دستگاه‌های گوناگون و پیشرفت در اندازه‌گیری عناصر، این روش جای خود را به استفاده از داده‌های ترمودینامیکی داده است.

بررسی‌های زمین-دماسنجی و زمین-فشارسنجی برای شناخت شرایط دما و فشار تشکیل سنگ‌ها، در دهه‌های اخیر به‌عنوان یک روش مفید مطرح شده‌اند. در این زمینه تجربیات آزمایشگاهی دانشمندی از قبیل [۱-۴]، محاسبات و مدل-سازی ترمودینامیکی بر اساس تجزیه شیمیایی کانی‌ها با ریزکامدنه به شناخت بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها در خلال فرآیندهای زمین‌شناسی کمک موثری کرده است. اساس این پژوهش‌ها بر این فرض مبتنی است که مجموعه

کانی‌های سنگ در شرایط تعادلی تشکیل شده باشد. به عقیده-ی [۳]، این شرایط برای سنگ‌هایی که به سرعت سرد شده‌اند یا اینکه دمای پایینی داشته‌اند ممکن است معتبر باشد. در واقع این دما-فشارسنج‌ها بر اساس حساسیت توزیع عناصر در ساختار کانی‌ها یا طی تبدلات شیمیایی، نسبت به دما و یا فشار طراحی شده‌اند. یکی از معروف‌ترین اینگونه دماسنج‌ها، روش گارنت - کلینوپیروکسن است. از آنجایی که دو کانی گارنت و کلینوپیروکسن از متداول‌ترین کانی‌های سنگ‌های اسکارنی است، از این‌رو می‌توان بر اساس تبادل Fe-Mg بین این دو کانی به زمین-دماسنجی اسکارن‌های مورد بررسی پرداخت. با توجه به میزان کلسیم بالای اسکارن‌ها و تشکیل آنها در شرایط فشار پایین‌تر نسبت به گرانولیت‌ها و اکلویت‌ها، کاربرد این زمین-دماسنج برای آنها می‌تواند توأم با خطا باشد [۳،۵]. از آنجا که تاکنون زمین-دماسنج خاصی برای اسکارن‌ها ارائه نشده، لذا در این مقاله سعی شد تا با توجه به مجموعه کانی‌های موجود در اسکارن‌ها و نیز از میان

بررسی شده است. در واقع این نوع دگرگونی، پس از شکل گیری سنگ های دگرگونی و تشکیل توده های آذرین ایجاد شده است. سنگ های آذرین و دگرگونی موجود در این منطقه تاکنون توسط پژوهشگران متعدد [۸-۲۴] مورد بررسی قرار گرفته اند. بر اساس بررسی های صحرایی، این اسکارن ها همراه با چرت های دگرگون نواری روی سنگ های گرانودیوریتی قرار گرفته اند. به طور کلی این اسکارن ها که در نقاط مختلف این منطقه رخنمون دارند فاقد گسترش چشمگیر و ارزش اقتصادی اند و در برخی از رخنمون ها ضخامت آنها به ۲ متر می رسد. اسکارن ها و متاچرت ها در پی نفوذ توده های گرانیت - گرانودیوریتی بدرون آهک ها و لایه های متناوب آهک و چرت به وجود آمده اند.

در مختصات $47^{\circ}47'16''$ طول شرقی و $35^{\circ}09'54''$ عرض شمالی سنگ های دیگری از جنس هورنفلس در اسکارن ها یافت می شوند که پورفیروبلست آن کانی آندالوزیت سریسیتیزه است به طوری که در مقاطع، فقط قالبی از آن باقی مانده است (شکل ۲-الف).

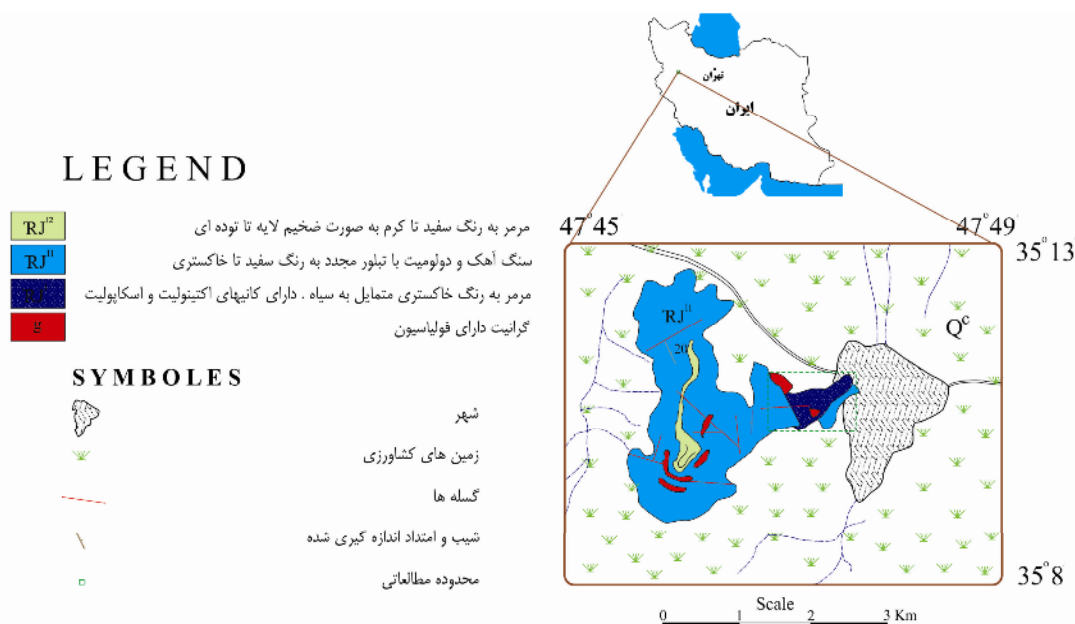
توده های نفوذی در نقاط مختلف این گستره پراکنده اند که برخی از این توده ها دارای برگوارگی و برخی فاقد برگوارگی اند. توده های نفوذی جوان شامل گرانیت، دیوریت و گابرواند که فاقد برگوارگی هستند (شکل ۲-ب) و توده های قدیمی تر که دارای برگوارگی اند، شامل گابرو، گابرو دیوریتی، دیوریت و گرانیت هستند که به صورت موضعی میلونیتیزه شده اند [۱۸].

درجه بندی های مختلف زمین - دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن، گستره ای دمایی حاکم برای اسکارن های سرانجیک برای نخستین بار برآورد شود.

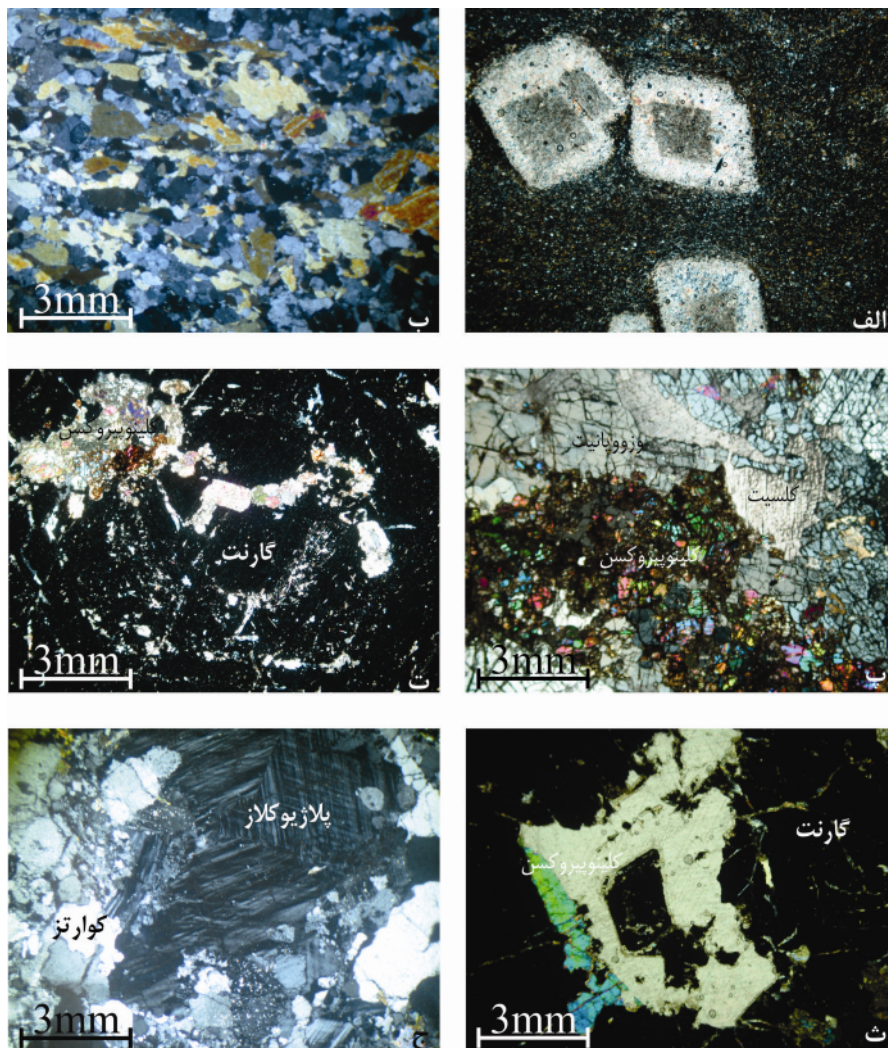
زمین شناسی منطقه

توده ای مورد بررسی در جنوب غربی شهرستان قروه در استان کردستان در منطقه ای به نام سرانجیک با مختصات جغرافیایی $47^{\circ}45'07''$ تا $47^{\circ}50'11''$ طول شرقی و $35^{\circ}13'14''$ تا $35^{\circ}08'01''$ عرض شمالی قرار دارد و از نظر ساختاری در زون سندج - سیرجان قرار گرفته و به تبع آن دارای ویژگی های زون یاد شده است (شکل ۱). با این همه، چهره ی ظاهری جنوب ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ قروه با شمال آن کاملاً متفاوت است. سنگ های نیمه جنوبی بیشتر دگرگونی اند. دگرگونی به عنوان مهمترین و بارزترین پدیده ی حاکم و به صورت دگرگونی ناحیه ای، مجاورتی و دگرگونی دینامیک (کاتاکلاستیک) دیده می شود که تمامی آنها طی رخداد کوهزایی سیمین میانی شکل گرفته اند [۶]. علاوه بر این، ماگماتیسم و پدیده های وابسته تأثیر به سزایی در سرنوشت زمین شناسی این منطقه داشته است. عملکرد عوامل یاد شده باعث شکل گیری مسایل پیچیده ای در این بخش از زون سندج - سیرجان شده که حل آن مستلزم تفکیک دقیق دگرگونی، ماگماتیسم و دگرشکلی - های موجود در سنگ ها و تعیین قلمرو خاص هریک از آنها شده است.

ویژگی های دگرگونی دینامیک گسترده قروه توسط [۷]



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه ای مورد بررسی.



شکل ۲ الف) آندالوزیت هورنفلس، کانی آندالوزیت تحت تأثیر دگرسانی به طور کامل به سریسیت تبدیل شده است. نمونه‌ی شماره GR۵ در نور قطبیده متقاطع. ب) گابرو دیوریت، نمونه‌ی شماره GR۱۱ در نور قطبیده‌ی متقاطع. پ) انواع کانی‌هایی که در اسکارنهای قروه می‌توان مشاهده کرد. نمونه‌ی شماره GR۱۵ در نور قطبیده‌ی متقاطع. ت) کانی‌های وزوویانیت و کلینوپیروکسن در داخل اسکارنهای قروه. نمونه‌ی شماره GR۴ در نور قطبیده‌ی متقاطع. ث) بقایایی از کلینوپیروکسن در درون درشت دانه‌ی گارنت نمونه‌ی شماره GR۴ در نور قطبیده‌ی متقاطع. ج) کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز و ارتوکلاز در گرانیت قروه. نمونه شماره GR۲۲ در نور قطبیده‌ی متقاطع.

روش کار

مورد آنالیز الکترون میکروپروب قرار گرفتند. آنالیزها با استفاده از یک ریزکاونده‌ی الکترونی Cameca مدل SX-۵۰ و با ولتاژ شتاب‌دهنده‌ی ۱۵ kV و شدت جریان ۱۵ nA برای ۱۰ عنصر اصلی و فرعی در مؤسسه‌ی زمین‌شناسی دانشگاه لاس‌پاینزا، رم - ایتالیا انجام گرفت. برای تعیین زمین-دمای اسکارن‌های قروه، نخست با بررسی مجموعه‌های کانی‌شناسی موجود در مقاطع نازک و نیز ترسیم آنها روی شبکه‌ی پتروژنتیک به صورت تجربی، تا حدودی توانستیم دما و فشار یا به عبارت دیگر شرایط دگرگونی منطقه آگاهی یابیم. پس از کمک آنالیزهای

پس از جمع آوری و بررسی داده‌های موجود زمین‌شناسی گستره‌ی مورد بررسی، نمونه‌های متعددی برداشت شدند. به منظور بررسی‌های سنگ‌نگاری، تعداد ۳۰ مقطع نازک از اسکارن‌ها و گرانیت‌ها تهیه و سپس بوسیله میکروسکوپ قطبشی Olympus مدل BH-2 مورد بررسی قرار گرفتند. از میان مقاطع بررسی شده تعداد ۷ مقطع از اسکارن‌ها و گرانیت‌ها انتخاب و از آنها مقاطع نازک صیقلی تهیه شدند و پس از پوشش سطح آنها با لایه‌ای از کربن پوشش داده شد

آمده‌اند. سمت‌گیری رخ‌های موجود در بلورهای کلسیت اولیه نشانه‌دهنده‌ی بریدگی حاصل از تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای با درجه پایینی است که پس از تشکیل اسکارن‌ها حالت خرد شده دارند [۱۹]. ولی کلاینوپیروکسن، ولاستونیت و اسفن که مقاومت بیشتری در برابر فشارهای زمین‌ساختی دارند، نسبتاً سالم‌تر باقی مانده‌اند. در درون دانه‌های درشت گارنت می‌توان بقایایی از کلاینوپیروکسن را نیز مشاهده کرد (شکل ۲-ت). وجود باقیمانده‌هایی از کلاینوپیروکسن در گارنت (بافت باقیمانده) بیانگر تبدیل برخی کلاینوپیروکسن‌ها به گارنت و تقدم تشکیل کلاینوپیروکسن و ولاستونیت نسبت به گارنت است (شکل ۲-ج). در مواردی هم گارنت در راستای رخ‌های کلاینوپیروکسن مشاهده می‌شود که همگی شواهدی برای تبدیل کلاینوپیروکسن به گارنت است. در چند مورد از مقاطع نازک مورد بررسی علاوه بر گارنت‌های همسانگرد، گارنت‌های ناهمسانگرد به صورت هاله ای در پیرامون گارنت همسانگرد مشاهده می‌شوند که دلیل آن می‌تواند تغییر ترکیب گارنت‌ها در طی مراحل دگرته‌ی باشد. بافت اصلی این سنگ‌ها گرانوبلاستیک است ولی با توجه به وجود نفوذیه‌هایی از کلاینوپیروکسن و ولاستونیت در گارنت‌ها، بافت فرعی پویی کیلوبلاستیک نیز در آن‌ها مشاهده می‌شود. به این ترتیب بر پایه‌ی ترکیب کانی‌شناسی، اسکارن‌های قروه از نوع اسکارن‌های گارنت و کلاینوپیروکسن محسوب می‌شوند.

مناظرهای نواری

این سنگ‌ها همراه با اسکارن‌ها، طی دگرگونی مجاورتی از لایه‌های متناوب چرت و آهک حاصل شده‌اند. این گروه از سنگ‌ها در بخش‌های آهکی خود، کانی‌هایی شبیه اسکارن‌ها (کلسیت، کلاینوپیروکسن، گارنت، ولاستونیت، اسفن و اپیدوت) هستند ولی در بخش‌های سیلیسی آنها کانی‌هایی همچون گارنت، فلدسپار، کانی‌های رسی و کلریت دیده می‌شوند.

گرانیتوئیدها

مجموعه‌ی پلوتونیک قروه به‌طور کلی دارای ترکیب کوارتز دیوریتی، گرانودیوریتی تا گرانیتی است که رگه‌های آپلیتی آن را قطع کرده‌اند و به دلیل اینکه تنوع در وسعت کمی مشاهده می‌شود، از این رو تمامی آن‌ها را تحت عنوان واحد گرانیتی یاد می‌کنیم. این واحد گرانیتی که عامل دگرگونی مجاورتی و تشکیل اسکارن‌هاست به لحاظ کانی شناسی عموماً از کوارتز با حاشیه‌ی مضرس و خاموشی موجی، فلدسپار پتاسیم (ارتوکلاز)، پلاژیوکلاز (الیگوکلاز)، اسفن، بیوتیت، هورنبلند و

ریزکاوشی با استفاده از نرم‌افزارهای Rockworks و Excel و زمین - دماسنج گارنت-کلینوپیروکسن شرایط دمایی حاکم بر اسکارن را تعیین کردیم. در نهایت با مقایسه‌ی نتایج حاصل از بررسی‌های کانی‌شناسی با نتایج آنالیزهای شیمیایی منطقه را تعیین کردیم.

سنگ‌نگاری اسکارن‌ها

اسکارن‌ها به طور کلی دارای ساخت توده‌ای‌اند ولی در برخی موارد به‌صورت نواری (مربوط به لایه‌بندی اولیه‌ی سنگ مادر) دیده می‌شوند. در واقع این نوارها از تراکم متناوب کلاینوپیروکسن (دیوپسید) و گارنت (گراسولار-آندرادیت) تشکیل شده‌اند که احتمالاً لایه‌های غنی از گارنت، لایه‌های مارنی-آهکی بوده‌اند. در فواصل کمی دورتر از این اسکارن‌های نواری به سبب دگرته‌ی گرمایی، زون‌های غنی از گارنت دیده می‌شوند که در آن زون‌ها گارنت‌های قهوه‌ای متمایل به سبز (گراسولار)، گارنت‌های قهوه‌ای (آندرادیت) را دربر گرفته‌اند. از توده‌ی نفوذی به سمت سنگ آهک‌های منطقه، یک منطقه-بندی در اسکارن‌ها دیده می‌شود که به‌ترتیب شامل اسکارن-های کلاینوپیروکسن، اسکارن‌های کلاینوپیروکسن - وزوویانیت، اسکارن‌های گارنت و زون مرمرهای سیلیکات-قلیایی است. اسکارن‌های قروه سنگ‌هایی همگن نیستند و حتی در یک نمونه دستی دارای تمرکزهای مختلفی از کانی‌ها هستند به‌طوری که در برخی نقاط انباشت گارنت موجب پیدایش سنگ‌هایی به نام گارنتیت^۱ شده است که بیشتر از گارنت‌های نیمه شکل‌دار تشکیل شده‌اند ولی کلاینوپیروکسن (دیوپسید) و کلسیت نیز در آنها مشاهده می‌شود. به‌طور کلی، انواع کانی‌هایی که در اسکارن‌های قروه می‌توان شناسایی کرد، شامل کربنات (کلسیت)، کلاینوپیروکسن (دیوپسید)، گارنت (گراسولار-آندرادیت)، وزوویانیت، ولاستونیت، اسفن و اپیدوت می‌شوند (شکل ۲-پ). از این رو در اسکارن‌های قروه مجموعه کانی‌های زیر را می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد:

کلسیت + کلاینوپیروکسن + وزوویانیت

کلسیت + کلاینوپیروکسن + گارنت + وزوویانیت

کلسیت + کلاینوپیروکسن + گارنت + ولاستونیت + اپیدوت

کلسیت در این سنگ‌ها به دو شکل اولیه و ثانویه وجود دارد. کلسیت‌های اولیه طی دگرگونی کانی‌های کربناتی و کلسیت-های ثانویه از کانی‌هایی مانند کلاینوپیروکسن و گارنت به وجود

شناسایی شده در اسکارن‌های سرانجیک که در نمودار ACF (شکل ۴-الف) و در نمودار $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2(+\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ [۲۵] (شکل ۴-ب) دیده می‌شوند، و نیز وجود کلینوپیروکسن، می‌توان استنباط کرد که پدیده‌ی دگرگونی مجاورتی تا حد رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس پیشرفت کرده است. همچنین در شکل ۵ تعادل‌های فازی وابسته به کانی‌های موجود در اسکارن‌ها در شرایط دما و فشارهای گوناگون نمایش داده شده‌اند. با توجه به این نمودار می‌توان پایداری مجموعه کانی‌های موجود در اسکارن‌های قروه را بین دو منحنی ۱ و ۲ در نظر گرفت. یعنی در گستره‌ی دمایی کمتر از ۸۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد و فشار کمتر از ۳ کیلو بار تا دمایی بیش از ۴۰۰ درجه‌ی سانتی-گراد و فشار بیش از صفر کیلو بار. به نظر [۲۶] بهتر است که برای واکنش ۲ از گسترده‌ای که این خط دارای شیب کمتری است (فشار بیشتر از ۱ کیلو بار) استفاده شود. چنانکه در شکل ۵ مشاهده می‌شود X_{CO_2} می‌تواند بر شرایط دما - فشار پایداری کانی‌ها موثر باشد، به طوری که افزایش آن موجب کاهش دمای پایداری کانی‌ها می‌شود ولی بر مقدار فشار تأثیری ندارد. در این شکل خط منقطع که بیانگر شرایط دما و فشار جدید برای واکنش $\text{Wo} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Cal} + \text{Qtz}$ است نشان می‌دهد حد دمای پایداری ولاستونیت با افزایش X_{CO_2} از ۶۵۰ به ۵۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد کاهش می‌یابد ولی در فشار تغییری ایجاد نمی‌شود. براساس بررسی‌های تجربی [۲۷] دمای تشکیل آندرادیت و گراسولار در حدود ۲۲۵ تا ۹۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و در مورد پیروکسن و گارنت در حدود ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه است.

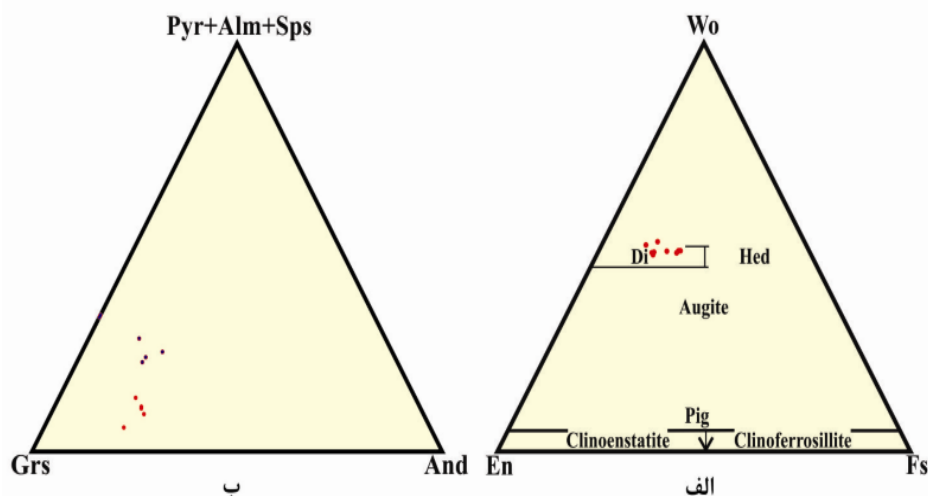
آپاتیت تشکیل شده است (شکل ۲-ج). بافت سنگ‌های این واحد گرانیتی بطور کلی دانه‌ای یا گرانولار و دانه‌ها نیمه شکل-دار تا بی‌شکلند. از دیدگاه سنگ‌شناسی و ژئوشیمی، مجموعه‌ی پلوتونیک قروه به سری آهکی-قلیایی، نوع I، با پتاسیم متوسط، متآلومین تا کمی پرآلکالن و از نوع گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی وابسته به مناطق فرورانش است [۱۲].

شیمی کانی‌های کلینوپیروکسن و گارنت

نتایج آنالیز شیمیایی این کانی‌ها، شامل درصد اکسیدها و درصد اعضای نهایی آنها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. میانگین ترکیب کلینوپیروکسن‌ها $\text{En}_{33}\text{Fs}_{15}\text{Wo}_{48}$ است و در نمودار سه تایی پیروکسن‌ها En-Fs-Wo که توسط [۶] ارائه شده در گستره‌ی دیوپسید قرار می‌گیرند (شکل ۳-الف). ترکیب گارنت‌ها روی نمودار گارنت‌ها (شکل ۳-ب) بیشتر از نوع گراسولار و آندرادیت و تعداد محدودی از آنان ترکیب گراسولار و آلماندن دارند [۶]. نبود آنورتیت در اسکارن‌های سرانجیک دلالت بر میزان پایین بودن Al_2O_3 این سنگ‌ها دارد که تنها توانسته است در تشکیل گارنت (گراسولار) شرکت کند.

زمین-دماسنجی اسکارن‌ها بر اساس مجموعه‌ی کانی‌ها

کانی‌شناسی اسکارن‌ها تابعی از شرایط فیزیکی و شیمیایی آنهاست، لذا می‌توان با استناد به پایداری کانی‌های آنها به شرایط فشار و دمای حاکم بر این سنگ‌ها پی برد. اسکارن‌ها از نظر شیمیایی در سیستم باز (دگرزه‌ادی) تشکیل می‌شوند و علاوه بر دما و فشار، متغیرهای شیمیایی زیادی بر ترکیب کانی‌شناسی آنها اثر می‌گذارند. با توجه به مجموعه کانی‌های



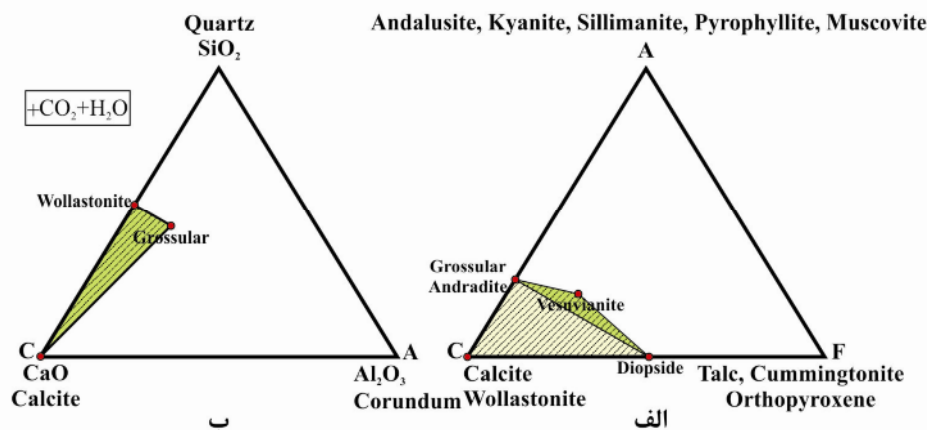
شکل ۳ الف) موقعیت ترکیب کلینوپیروکسن‌های اسکارن قروه در نمودار مثلثی طبقه بندی پیروکسن‌ها [۶]. ب) موقعیت ترکیب گارنت‌های اسکارن قروه در نمودار مثلثی طبقه بندی گارنت‌ها [۳۰].

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازشی نمونه‌های گارنت و کلینوپیروکسن در اسکارن های منطقه‌ی سرانجیک- قروه

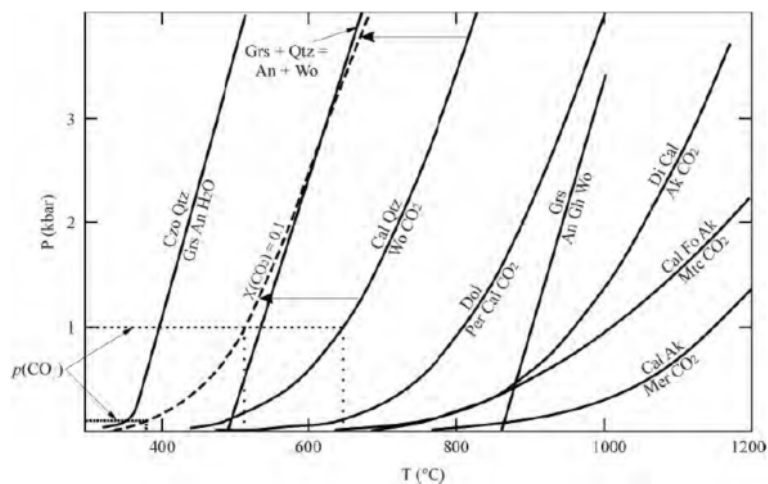
G a r n e t										
	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
SiO ₂	۳۸٫۶۰	۳۸٫۹۵	۳۶٫۶۳	۳۶٫۵۹	۳۷٫۳۲	۳۷٫۰۵	۳۷٫۲۷	۳۶٫۵۹	۳۵٫۵۳	۳۷٫۰۷
TiO ₂	۰٫۰۳	۰٫۰۴	۰٫۲۲	۰٫۲۳	۰٫۱۳	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۱۱	۰٫۱۵	۰٫۱۳
Al ₂ O ₃	۲۴٫۷۶	۲۴٫۸۱	۱۵٫۹۷	۱۶٫۷۲	۱۷٫۱۰	۱۶٫۹۴	۱۷٫۶۱	۱۸٫۵۹	۱۶٫۹۷	۱۸٫۰۴
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۹	۰٫۰۳
FeO	۱۱٫۴۸	۱۱٫۵۴	۱۰٫۴۸	۹٫۱۴	۷٫۹۹	۸٫۱۶	۱۰٫۲۴	۱۰٫۳۷	۱۲٫۱۱	۱۰٫۹۹
MnO	۰٫۱۸	۰٫۲۴	۵٫۱۷	۴٫۵۴	۲٫۴۶	۲٫۵۹	۶٫۳۴	۷٫۴۵	۷٫۳۷	۶٫۷۳
MgO	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۰۴	۰٫۰۶	۰٫۱۲	۰٫۱۳	۰٫۱۰	۰٫۱۰
CaO	۲۳٫۸۲	۲۳٫۹۶	۲۹٫۹۶	۳۱٫۰۳	۳۳٫۵۰	۳۲٫۹۹	۲۷٫۰۳	۲۴٫۶۶	۲۵٫۱۱	۲۶٫۶۷
Na ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰
K ₂ O	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲
Total	۹۸٫۸۷	۹۹٫۶۲	۹۸٫۵۶	۹۸٫۳۶	۹۸٫۵۴	۹۷٫۹۰	۹۸٫۸۱	۹۷٫۹۰	۹۷٫۴۴	۹۹٫۷۹
P y r o x e n e										
	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
SiO ₂	۵۳٫۲۸	۵۰٫۴۶	۴۹٫۹۱	۵۰٫۴۴	۵۰٫۵۸	۵۰٫۵۳	۵۰٫۴۴	۵۰٫۸۰	۵۰٫۳۳	۵۱٫۴۱
TiO ₂	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Al ₂ O ₃	۰٫۸۹	۰٫۴۸	۰٫۲۸	۰٫۴۰	۰٫۳۰	۰٫۴۷	۰٫۲۹	۰٫۳۶	۰٫۳۲	۰٫۳۶
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۷
FeO	۱۷٫۱۳	۱۲٫۷۹	۱۲٫۶۲	۱۱٫۷۲	۱۲٫۹۵	۱۲٫۹۵	۱۰٫۲۴	۱۱٫۷۶	۱۲٫۶۲	۱۱٫۵۰
MnO	۱٫۱۱	۱٫۷۸	۲٫۲۳	۲٫۳۵	۲٫۴۳	۲٫۰۹	۳٫۲۷	۲٫۴۱	۲٫۳۳	۱٫۸۹
MgO	۱۳٫۸۱	۹٫۳۴	۹٫۰۷	۹٫۵۹	۹٫۲۱	۲۳٫۶۱	۱۰٫۲۲	۱۰٫۰۰	۸٫۹۷	۱۰٫۱۸
CaO	۱۳٫۸۴	۲۳٫۸۵	۲۳٫۷۷	۲۴٫۰۸	۲۳٫۷۵	۲۳٫۶۱	۲۳٫۸۷	۲۳٫۶۷	۲۳٫۹۱	۲۴٫۱۷
Na ₂ O	۰٫۰۳	۰٫۲۵	۰٫۱۴	۰٫۱۶	۰٫۱۹	۰٫۲۷	۰٫۲۱	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۲۱
K ₂ O	۰٫۱۸	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰
Total	۱۰۰٫۲۶	۹۸٫۹۹	۹۸٫۱۲	۹۸٫۷۶	۹۹٫۴۴	۹۹٫۰۰	۹۸٫۵۶	۹۹٫۲۱	۹۸٫۶۸	۹۹٫۸۰

جدول ۲ مقادیر فرمول ساختاری گارنت به کار گرفته شده در نمونه های اسکارن منطقه سرانجیک- قروه.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Sum (Fe+Mg+Mn+Ca)	۰٫۷۵	۰٫۷۲	۰٫۶۹	۰٫۷۲	۰٫۷۳
X _{Alm}	۰٫۱۸	۰٫۲۰	۰٫۲۱	۰٫۲۳	۰٫۲۱
X _{pyr}	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰
X _{Sps}	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۱۴	۰٫۱۳
X _{Grs}	۰٫۷۵	۰٫۶۷	۰٫۶۳	۰٫۶۲	۰٫۶۶
Fe/Mg _(Grt)	۶۲٫۷۲	۴۹٫۱۱	۴۵٫۰۸	۶۹٫۲۹	۶۲٫۹۱
Fe/Mg _(Cpx)	۰٫۸۱	۰٫۵۶	۰٫۶۶	۰٫۷۹	۰٫۶۳
KD	۷۷٫۷۹	۸۷٫۲۶	۶۸٫۲۷	۸۷٫۸۰	۹۹٫۳۲
Mg#	۱٫۵۷	۱٫۹۹	۲٫۱۷	۱٫۴۲	۱٫۵۶
X _{Mg#}	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Sum Fe+Mg+Mn+Ca	۰٫۶۰	۰٫۵۹	۰٫۷۶	۰٫۷۵	۰٫۷۴
X _{Alm}	۰٫۲۸	۰٫۲۷	۰٫۱۹	۰٫۱۷	۰٫۱۵
X _{pyr}	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰
X _{Sps}	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۱۰	۰٫۰۹	۰٫۰۵
X _{Grs}	۰٫۷۱	۰٫۷۲	۰٫۷۱	۰٫۷۴	۰٫۸۰
Fe/Mg _(Grt)	۴۲٫۲۴	۳۲۳٫۵۵	۵۵٫۴۴	۷۲٫۲۳	۱۱۷٫۹۰
Fe/Mg _(Cpx)	۱٫۲۴	۰٫۷۰	۰٫۷۸	۰٫۶۸	۰٫۷۹
KD	۳۳۹٫۵۷	۴۶۴٫۹۴	۷۱٫۰۳	۱۰۵٫۳۹	۱۴۹٫۴۲
Mg#	۰٫۲۴	۰٫۳۱	۱٫۷۷	۱٫۳۶	۰٫۸۴
X _{Mg#}	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲



شکل ۴ الف) نمودار ACF و ب) $Al_2O_3CaOSiO_2$ وابسته به کانی‌های همزیست اسکارن‌های قروه [۲۷].



شکل ۵ نمودار دما-فشار با تنوعی از تعادل‌های فازی به کار گرفته شده در شرایط دما-فشار تشکیل اسکارن. تعادل‌های کربن‌زدایی در شرایط $PT=P(CO_2)$ (خطوط پررنگ) و $X(CO_2)=0.1$ (خط چین‌ها) [۲۶].

یابد، ولاستونیت بیشتری به وجود می‌آید زیرا واکنش بیشتر می‌تواند در جهت تولید ولاستونیت، $(Wol + CO_2 \rightarrow Cal + Qtz)$ پیش برود. از سویی دیگر کلسیت موجود در این سنگ‌ها علاوه بر شرکت در ساخت ولاستونیت می‌تواند به صورت واکنش $(Ca_3Al_2Si_3O_{12} + 3CO_2 \rightarrow 3CaCO_3 + 3SiO_2 + Al_2O_3)$ در ساخت گراسولار شرکت کند. البته این واکنش در صورتی که X_{CO_2} محیط کم باشد نیز رخ می‌دهد. بدین ترتیب مشاهده می‌شود که برای تشکیل گراسولار و ولاستونیت لازم است که X_{CO_2} کم باشد. بنابراین با توجه به حضور این دو کانی در این سنگ‌ها، باید X_{CO_2} کم باشد. با توجه به ترکیب ماگما (از حدواسط تا اسیدی) و اسکارن مربوطه و عمق دگرگونی، [۲۶] معتقد است که بیشترین دما در دگرگونی‌های مجاورتی و اسکارن‌های همراه آنها از ۶۵۰ درجه سانتیگراد کمتر است.

با توجه به گستره‌ی پایداری ولاستونیت، [۲۸] معتقد است که در شرایط فشار کم معادل سطح زمین، ولاستونیت حتی می‌تواند در دمایی کمتر از ۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد نیز تشکیل شود ولی با افزایش فشار گاز کربنیک تا ۵/۰ kbar، کوارتز و کلسیت تا دمایی بیش از ۸۰۰ درجه‌ی سانتیگراد پایدار مانده و به ولاستونیت تبدیل نمی‌شوند. اما وجود ولاستونیت در برخوردگاه با سنگ‌های آذرین می‌تواند بیانگر دمایی بیش از ۴۰۰ درجه‌ی سانتیگراد برای تشکیل ولاستونیت باشد. بنابراین هرچه میزان X_{CO_2} کاهش یابد دمای تشکیل ولاستونیت نیز کاهش می‌یابد [۲۸]. بنابر شکل ۶، ولاستونیت در دمای ۸۶۰ درجه‌ی سانتیگراد، در فشارهای بالاتر از ۶ کیلو بار و در دمای حدود ۷۰۰ درجه‌ی سانتیگراد، و در فشار بیش از ۴/۴ کیلو بار پایدار نبوده و به $Cal + Qtz$ تبدیل می‌شود. از آنجا که پایداری این کانی به P_{CO_2} محیط نیز بستگی دارد هرچه P_{CO_2} کاهش

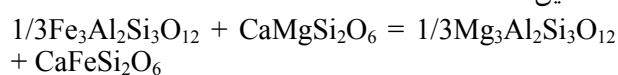
کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های اولترامافیک پیشنهاد کرد که در آن گارنت‌ها از نظر Mg غنی و کلینوپیروکسن‌ها از نظر Na و Al فقیرند. در حالی که در درجه‌بندی‌های پیشنهادی [۳۹] گارنت‌ها از نظر Mg غنی نیستند ولی کلینوپیروکسن‌ها از نظر Na و Al غنی‌اند.

روش پیشنهادی [۳۵] که برای گرانیولیت‌ها و آمفیبولیت‌ها قابل استفاده است مقادیری را به دست داده است که بسیار پایین است زیرا این روش تنها برای حالتی که $X_{Grs} = 0.2$ است قابل استفاده است و در مورد سنگ‌های مورد بررسی مقادیر صحیح را ارائه نمی‌کند، زیرا در اینجا $X_{Grs} > 0.62$ است (جدول ۳). نتایج حاصل از همهی این زمین‌دماسنج‌ها در جدول‌های ۴، ۵، ۶ و ۷ ارائه شده‌اند. با توجه به اینکه اسکارن‌ها از نوع دگرگونی مجاورتی هستند از این‌رو فشار در نظر گرفته شده برای آنان کمتر از ۴ کیلو بار است. به این ترتیب گستره‌ی تغییرات دما در فشار بین ۱ تا ۴ کیلو بار بین ۳۲۰ تا ۵۹۰ درجه‌ی سانتیگراد محاسبه شد. اما از میان نتایج به دست آمده تنها روش‌هایی که در آنها تغییرات دما و فشار با مجموعه پاراژنز کانی‌های موجود در اسکارن‌ها همخوانی دارند مقادیر منطقی‌تری را برای اسکارن‌ها ارائه می‌کنند. از این‌رو با مقایسه‌ی زمین‌دماسنج‌های مختلف (جدول ۴، ۵، ۶ و ۷) می‌توان گفت که روش‌های ارائه شده توسط [۳۹، ۳۲، ۳۱، ۴۰] بهترین روش زمین‌دماسنجی گارنت - کلینوپیروکسن برای اسکارن منطقه مورد بررسی است. لذا با توجه به مباحث بالا، دمای به دست آمده به طور متوسط در فشار کمتر از ۳ کیلو بار تقریباً معادل ۴۵۰ تا ۵۸۷ درجه سانتیگراد برای اسکارن‌های منطقه سرانجیک قروه پیشنهاد می‌شود.

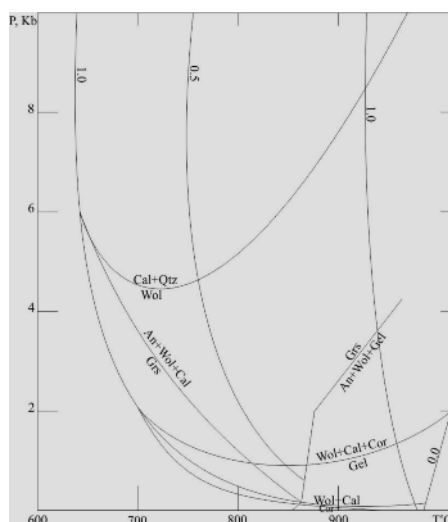
بررسی‌های [۲۹، ۳۰] نیز دمای ۴۰۰ تا ۶۰۰ درجه‌ی سانتیگراد را برای تشکیل اسکارن پیشنهاد می‌کنند. همچنین با توجه به نظر [۲۶] تشکیل ولاستونیت در اغلب موارد در دمای کمتر از ۵۵۰ درجه‌ی سانتیگراد رخ می‌دهد. لذا می‌توان گفت که احتمالاً فشار گاز کربنیک کمتر از ۰/۱ kbar بوده است. بنابراین با استناد به دمای پایداری هریک از کانی‌ها می‌توان گستره‌ی دمای دگرگونی و تشکیل انواع کانی‌های موجود در این اسکارن‌ها را در کمتر از ۶۵۰ درجه‌ی سانتیگراد و فشار کم CO_2 در نظر گرفت.

زمین‌دماسنجی گارنت - کلینوپیروکسن

با توجه به اینکه KD (ضریب انتشار) Fe-Mg بین گارنت و کلینوپیروکسن نسبت به شرایط دمایی حساس است، این دماسنج بر پایه‌ی تبادل Fe-Mg بین گارنت و کلینوپیروکسن طراحی شده است و واکنش آن به صورت زیر است:

$$\text{هیدرژیت} + \text{پیروپ} = \text{دیوپسید} + \text{آلماندین}$$


که برای اولین بار [۳۱] یک درجه‌بندی تجربی برای آن ارائه کردند. بعدها درجه‌بندی‌های تجربی دیگری توسط پژوهشگران دیگر پیشنهاد شدند که از جمله می‌توان به دماسنج‌های پیشنهادی [۳۹-۳۲، ۵، ۴، ۳] اشاره کرد. در میان فرمول‌های یاد شده، روش‌های [۳۴-۳۲] به منظور دماسنجی اکلوتیت‌ها طراحی شده‌اند و با توجه به تأثیر فاکتور X_{Grs}^{Grt} برای گارنت-های دارای کلسیم بالا (گروسولار) استفاده می‌شود. دماسنج [۳] و [۵] برای سنگ‌های پریدوتیتی و اکلوتیت‌های دمای بالا مناسب است. در حقیقت [۳] فرمولی را براساس



شکل ۶ گستره‌ی دما-فشار وابسته به پایداری مجموعه کانی‌های اسکارن روی گدازه‌ی گرانییتی با وجود H_2O و CO_2 آبگون [۲۶].

جدول ۳ درصد اعضای نهایی در کانی گارنت در نمونه‌های انتخابی از اسکارن‌های منطقه‌ی سرانجیک- قروه.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Almandine	۰/۰۰	۶/۸۰	۱۰/۰۰	۶/۳۰	۷/۱۴
Andradite	۲۲/۶۴	۱۵/۹۳	۱۲/۳۱	۱۹/۶۲	۱۶/۲۰
Grossular	۶۸/۲۶	۶۲/۳۰	۵۹/۹۲	۵۶/۱۰	۶۰/۸۸
Pyrope	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۵۳	۰/۴۱	۰/۳۹
Spessartine	۸/۷۴	۱۴/۵۰	۱۷/۲۴	۱۷/۵۷	۱۵/۳۹
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Almandine	۳۲/۲۷	۳۲/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Andradite	۰/۰۰	۰/۰۰	۱۸/۶۹	۲۱/۱۹	۱۹/۴۴
Grossular	۶۶/۸۳	۶۷/۲۱	۶۸/۲۳	۶۸/۰۲	۷۴/۸۲
Pyrope	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۴۶	۰/۲۹	۰/۱۵
Spessartine	۰/۸۴	۰/۵۴	۱۲/۶۲	۱۰/۵۱	۵/۵۹

جدول ۴ مقادیر دمای به دست آمده بر حسب درجه‌ی سانتیگراد از طریق روش‌های زمین‌دماسنجی گوناگون برای نمونه‌های منطقه‌ی سرانجیک- قروه در فشار ۱ کیلوبار.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Krogh,1998	۳۳۱/۹۷	۳۴۴/۹۴	۳۸۰/۹۴	۳۵۵/۶۱	۳۳۵/۹۳
Krogh Ravana,2000	۴۴۵/۰۶	۴۳۹/۵۰	۴۷۳/۸۳	۴۳۲/۲۶	۴۲۱/۴۲
Ai,1994	۴۳۰/۳۹	۳۹۸/۱۸	۴۱۸/۷۶	۳۸۲/۸۹	۴۷۳/۷۸
Nakamura,2005	۴۴۳/۶۰	۴۱۳/۲۳	۴۳۱/۸۱	۴۰۰/۱۱	۳۹۵/۵۶
Powell,1985	۵۷۰/۸۲	۵۱۸/۳۹	۵۳۱/۵۸	۴۹۱/۰۴	۴۹۳/۷۶
Ellis & Green,1979	۵۸۲/۳۲	۵۳۱/۴۷	۵۴۵/۰۴	۵۰۵/۱۳	۵۰۷/۳۲
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Krogh,1998	۲۱۹/۲۵	۱۹۵/۴۳	۳۵۶/۶۴	۳۰۳/۰۲	۲۴۴/۷۸
Krogh Ravana,2000	۲۶۰/۲۵	۲۳۸/۲۱	۴۶۱/۴۶	۴۱۳/۸۹	۳۶۷/۶۲
Ai,1994	۲۷۳/۸۶	۲۵۲/۲۰	۴۳۳/۲۷	۳۹۲/۴۰	۳۶۵/۶۳
Nakamura2005	۲۹۹/۵۵	۲۷۹/۲۹	۴۴۴/۹۱	۴۰۹/۴۴	۳۸۸/۲۲
Powell,1985	۳۹۲/۰۲	۳۷۰/۱۷	۵۶۳/۸۰	۵۲۹/۰۳	۵۱۶/۰۲
Ellis & Green,1979	۴۰۵/۳۸	۳۸۳/۴۱	۵۷۵/۸۸	۵۴۱/۰۸	۵۲۷/۴۷

جدول ۵ مقادیر دمای به دست آمده بر حسب درجه‌ی سانتیگراد از زمین‌دماسنجی نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در فشار ۲ کیلوبار.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Krogh,1998	۳۳۳/۷۱	۳۴۶/۶۵	۳۸۲/۷۲	۳۵۷/۳۱	۳۳۷/۶۰
Krogh Ravana,2000	۴۷۵/۴۳	۴۶۹/۲۶	۵۰۴/۹۴	۴۶۱/۹۹	۴۵۰/۵۲
Ai,1994	۴۳۳/۶۴	۴۰۱/۳۶	۴۲۲/۱۰	۳۸۶/۰۷	۳۸۱/۵۸
Nakamura,2005	۴۴۵/۹۴	۴۱۵/۵۲	۴۳۴/۲۰	۴۰۲/۴۰	۳۹۷/۸۰
Powell,1985	۵۷۲/۴۷	۵۲۰/۰۰	۵۳۳/۲۶	۴۹۲/۶۵	۴۹۵/۳۴
Ellis & Green,1979	۵۸۴/۰۵	۵۳۳/۱۷	۵۴۶/۸۱	۵۰۶/۸۳	۵۰۸/۹۹
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Krogh,1998	۲۲۰/۶۴	۱۹۶/۷۶	۳۵۸/۴۰	۳۰۴/۶۷	۲۴۶/۳۴
Krogh Ravana,2000	۲۸۴/۲۸	۲۶۱/۲۱	۴۹۲/۳۳	۴۴۲/۶۹	۳۹۴/۸۱
Ai,1994	۲۷۶/۴۲	۲۵۴/۶۴	۴۳۶/۵۸	۳۹۲/۴۰	۳۶۸/۵۴
Nakamura2005	۳۰۱/۴۴	۲۸۱/۱۱	۴۴۷/۲۸	۴۱۱/۶۷	۳۹۰/۳۴
Powell,1985	۳۹۳/۳۵	۳۷۱/۴۴	۵۶۵/۴۷	۵۳۰/۵۹	۵۱۷/۵۱
Ellis & Green,1979	۴۰۶/۷۹	۳۸۴/۷۶	۵۷۷/۶۴	۵۴۲/۷۴	۵۲۹/۰۴

جدول ۶ مقادیر دمای به دست آمده بر حسب درجه‌ی سانتیگراد از زمین‌دماسنجی نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در فشار ۳ کیلوبار.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Krogh,1998	۳۳۵/۴۵	۳۴۸/۳۵	۳۸۴/۵۰	۳۵۹/۰۱	۳۳۹/۲۷
Krogh Ravana,2000	۵۰۵/۸۰	۴۹۹/۰۱	۵۳۶/۰۴	۴۹۱/۷۲	۴۷۹/۶۱
Ai,1994	۴۳۶/۹۰	۴۰۴/۵۵	۴۲۵/۴۳	۳۸۹/۲۵	۳۸۴/۶۹
Nakamura,2005	۴۴۸/۲۷	۴۱۷/۸۱	۴۳۶/۵۸	۴۰۴/۶۹	۴۰۰/۰۵
Powell,1985	۵۷۴/۱۱	۵۲۱/۶۱	۵۳۴/۹۳	۴۹۴/۲۶	۴۹۶/۹۲
Ellis & Green,1979	۵۸۵/۷۹	۵۳۴/۸۷	۵۴۸/۵۸	۵۰۸/۵۴	۵۱۰/۶۶
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Krogh,1998	۲۲۲/۰۲	۱۹۸/۰۸	۳۶۰/۱۷	۳۰۶/۳۲	۲۴۷/۹۰
Krogh Ravana,2000	۳۰۸/۳۱	۲۸۴/۲۱	۵۲۳/۲۱	۴۷۱/۵۰	۴۲۲/۰۰
Ai,1994	۲۷۸/۹۸	۲۵۷/۰۹	۴۳۹/۸۸	۳۹۸/۵۶	۳۷۱/۴۴
Nakamura2005	۳۰۳/۳۲	۲۸۲/۹۲	۴۴۹/۶۵	۴۱۳/۸۹	۳۹۲/۴۵
Powell,1985	۳۹۴/۶۷	۳۷۲/۷۱	۵۶۷/۱۳	۵۳۲/۱۶	۵۱۸/۹۹
Ellis & Green,1979	۴۰۸/۱۹	۳۸۶/۱۱	۵۷۹/۴۰	۵۴۴/۳۹	۵۳۰/۶۱

جدول ۷ مقادیر دمای به دست آمده بر حسب درجه‌ی سانتیگراد از زمین‌دماسنجی نمونه‌های منطقه‌ی مورد بررسی در فشار ۴ کیلوبار.

Samples	Gr421	Gr114	Gr113	Gr112	Gr111
Krogh,1998	۳۳۷/۱۹	۳۵۰/۰۶	۳۸۶/۲۸	۳۶۰/۷۲	۳۴۰/۹۳
Krogh Ravana,2000	۵۳۶/۱۸	۵۲۸/۷۷	۵۶۷/۱۴	۵۲۱/۴۵	۵۰۸/۷۱
Ai,1994	۴۴۰/۱۵	۴۰۷/۷۳	۴۲۸/۷۶	۳۹۲/۴۳	۳۸۷/۸۰
Nakamura,2005	۴۵۰/۶۱	۴۲۰/۱۰	۴۳۸/۹۷	۴۰۶/۹۸	۴۰۲/۳۰
Powell,1985	۵۷۵/۷۵	۵۲۳/۲۲	۵۳۶/۶۱	۴۹۵/۸۷	۴۹۸/۵۰
Ellis & Green,1979	۵۸۷/۵۲	۵۳۶/۵۸	۵۵۰/۳۶	۵۱۰/۲۴	۵۱۲/۳۳
Samples	Gr1441	Gr1431	Gr432	Gr431	Gr422
Krogh,1998	۲۲۳/۴۱	۱۹۹/۴۱	۳۶۱/۹۴	۳۰۷/۹۷	۲۴۹/۴۶
Krogh Ravana,2000	۳۳۲/۳۳	۳۰۷/۲۱	۵۵۴/۰۹	۵۰۰/۳۱	۴۴۹/۱۹
Ai,1994	۲۸۱/۵۴	۲۵۹/۵۴	۴۴۳/۱۹	۴۰۱/۶۴	۳۷۴/۳۴
Nakamura2005	۳۰۵/۲۱	۲۸۴/۷۳	۴۵۲/۰۲	۴۱۶/۱۲	۳۹۴/۵۶
Powell,1985	۳۹۵/۹۹	۳۷۳/۹۸	۵۶۸/۸۰	۵۳۳/۷۲	۵۲۰/۴۷
Ellis & Green,1979	۴۰۹/۶۰	۳۸۷/۴۶	۵۸۱/۱۶	۵۴۶/۰۵	۵۳۲/۱۸

برداشت

مراجع

- [1] Chen N. S., Sun M., You Z. D., Malpas J., "Well-preserved garnet growth zoning in granulite from the Dabie Mountains, central China", Journal of Metamorphic Geology 16 (1988), 213-222.
- [2] Dahl P. S., "The thermal-compositional dependence of Fe^{2+} -Mg distribution between garnet and pyroxene: applications to geothermometry", American Mineralogist 65 (1980), 854-866.
- [3] Ferry J. M., "Role of fluid flow in the contact metamorphism of siliceous dolomitic imstones", American Mineralogist, (1994) 79, 719-736.

این نخستین تلاشی است در جهت زمین‌دماسنجی اسکارن‌های منطقه سرانجیک قروه علیرغم اینکه تا کنون زمین‌دماسنج خاصی برای تعیین دمای اسکارن‌ها ارائه نشده است، ولی با زمین‌دماسنج گارنت - کلینوپیروکسن ارائه شده در [۴۰،۳۹،۳۶،۳۲،۳۱]، دمایی در حدود ۴۵۰ تا ۵۸۷ درجه سانتیگراد در فشار کمتر از ۳ کیلوبار که در حد رخساره‌ی هورنبلاند هورنفلس تا بخشی از رخساره‌ی پیروکسن هورنفلس است برای اسکارن‌های منطقه سرانجیک قروه پیشنهاد می‌شود.

- [۱۵] سنگ قلعه ر.، "پترولوژی سنگهای آذرین جنوب قلعه"، دانشگاه شهید بهشتی تهران، (۱۳۷۴).
- [۱۶] شیخی ف.، طبایح شعبانی ا. ع.، مسعودی ف.، اعلمی نیا ز.، کشاورز ز.، "مطالعه کانی‌شناسی اسکارن منطقه سرانجیک قروه، جنوب شرق استان کردستان"، نوزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، گلستان (۱۳۹۰).
- [۱۷] شیخ ذکریایی س. ج.، منصف ا.، "کانی‌شناسی- پتروفابریک مجموعه دگرگونی قروه (شمال غرب ایران)"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، پاییز (۱۳۸۹) ص ۲۰۳-۲۲۰.
- [۱۸] شیخ ذکریایی س. ج.، غفاری فاخرم.، "انواع انکلاوها و شواهد صحرایی - میکروسکوپی امتزاج ماگما در توده‌های گرانیتوئیدی نفوذی جنوب قروه"، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، پاییز (۱۳۸۷) ص ۴۹-۶۲.
- [۱۹] عمروانی ه.، "بررسی دگرشکلی و دگرگونی‌های جنوب و جنوب غرب قروه، استان کردستان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، ایران (۱۳۸۴).
- [۲۰] عمروانی ه.، مؤذن م.، مؤید م. و جهانگیری ا.، "بررسی‌های پترولوژیکی سنگ‌های دگرگونی قروه"، دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۵).
- [۲۱] عمروانی ه.، مؤذن م.، مؤید م. و جهانگیری ا.، "معرفی کانی‌شناسی و روابط پترولوژیکی متاپلیت‌ها در منطقه قروه"، سیزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۴).
- [۲۲] عمیدی م.، "سنگ شناسی آذرین جنوب شهرستان قروه"، (۱۳۴۶).
- [۲۳] ملکوتیان س.، حق نظر ش.، قربانی م.، امامی م. ج.، "بررسی تحولات ماگمایی در سنگ‌های آتشفشانی بازی کواترنری محور قروه - تکاب"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۴ (۱۳۸۶) ص ۱۶۶.
- [4] Krauskopf B., "introduction to geochemistry", McGraw Hill: New York (1967) 617p.
- [5] Raheim A., Green D. H., "Experimental determination of the temperature and pressure dependence of the Fe-Mg partition coefficient for coexisting garnet and clinopyroxene", Contributions to Mineralogy and Petrology 48 (1974), 179-203.
- [6] Morimoto N., "Nomenclature of pyroxenes", Canadian Mineralogist 27, (1989) P. 143-156.
- [۷] حسینی م.، "شرح نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهار گوش قروه (پیوست نقشه)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۶).
- [۸] اعلمی نیا ز.، شیخی ف.، طبایح شعبانی ا. ع.، "معرفی روند تحولی کانی‌شناسی در اسکارن‌های منطقه سرانجیک قروه (جنوب شرقی استان کردستان)"، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تربیت معلم تهران (۱۳۹۰).
- [۹] بلورچی م. ج.، "تحقیق سنگ شناسی دگرگونی جنوب شهرستان قروه"، پایان‌نامه دانشگاه تهران، (۱۳۴۶).
- [۱۰] ترکیان ا.، "مطالعه ماگماتیسیم توده گرانودیوریتی منطقه جنوب قروه (کردستان)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۷).
- [۱۱] ترکیان ا.، "استفاده از عناصر کمیاب و نادر خاکی در تعیین منشأ ماگمای سازنده توده‌های نفوذی گرانودیوریتی- گرانیتیو دیوریتی مجموعه پلوتونیک قروه"، پترولوژی، بهار (۱۳۸۹) ص ۴۹-۶۶.
- [۱۲] ترکیان ا.، خلیلی م.، سپاهی گرو ع. ا.، "پتروگرافی و پترولوژی مجموعه پلوتونیک جنوب قروه"، مجله پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۷) ص ۱۱۷-۱۳۸.
- [۱۳] حریریع.، "نگرشی بر خاستگاه گروهی از سنگ‌های دگرگونی گستره قروه"، دانشگاه شهید بهشتی تهران، (۱۳۷۴).
- [۱۴] درویش زاده ع.، شهبازی ج.، "رده‌بندی ژنتیکی آنکلاوهای استراتوولکان قزلجه کند، شمال شرق قروه، غرب ایران"، زمین و منابع، بهار (۱۳۸۸) ص ۴۵-۵۹.

- [33] Pattison D. R.M., Newton R. C., "Reversed experimental calibration of the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange thermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology 101 (1989), 87-103.
- [34] Krogh E. J., "The garnet-clinopyroxene Fe^{+2} -Mg geothermometer—an updated calibration", Journal of Metamorphic Geology 18 (2000), 211-219.
- [35] Nakamura D., Svojtka M., Naemura K., Hirajima T., "Very high-pressure (>4 Gpa) eclogite associated with the Moldanubian Zone garnet peridotite (NoveDvory, Czech Republic)", Journal of Metamorphic Geology 22 (2004), 593-603.
- [36] Saxena S. K., "Garnet-Clinopyroxene geothermometer; a model with approximate solution", Contributions to Mineralogy and Petrology 70 (1979), 229-235.
- [37] Ai Y., "A revision of the garnet-clinopyroxene Fe^{2+} -Mg exchange geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology, 115 (1994), 467-473.
- [38] Ganguly J., "Garnet and clinopyroxene solid solutions and geothermometry based on Fe-Mg distribution coefficients", Geochimica Cosmochimica Acta 43 (1979), 1021-1029.
- [39] Nakamura D., Hirajima T., "Experimental evaluation of garnet-clinopyroxene geothermometry as applied to eclogites", Contributions to Mineralogy and Petrology 150 (2005), 581-588.
- [40] Krogh E. J., "The garnet-clinopyroxene Fe-Mg geothermometer—a reinterpretation of existing experimental data", Contributions to Mineralogy and Petrology 99 (1988), 44-48.
- [۲۴] مؤید م.، جهانگیری ا.، مؤذن م.، عمروانی ه.، "معرفی فیبرولیت‌های منطقه قروه و شرایط تشکیل آنها"، پترولوژی، بهار (۱۳۸۹) ص ۱-۱۰.
- [25] Winkler J. D. H., "Petrogenesis of Metamorphic Rocks", New York: Springer, (1976).
- [26] Bowman J.R., "Basic Aspects and Applications of Phase Equilibria in the Analysis of Metasomatic Ca-Mg-Al-Fe-Si Skarns: In Mineralized Intrusion-Related Skarn Systems (D.R. Lentz, ed.)", Mineral Association of Canada, Short Course 26 (1998a) 1-49.
- [27] Smirnov V. I., "Skarn deposits, in geology of mineral deposits", MIR publication, Moscow (1976) 156-188.
- [28] Krauskopf B., "introduction to geochemistry", McGraw Hill: New York (1967) 617p.
- [29] Barnes H. L., "Solubilities of ore minerals, in geochemistry of hydrothermal ore deposits", 2th edition (H. L. Barnes, ed.), John Wiley & sons, New York (1979) 404-460.
- [30] Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J., "Skarn deposits", Economic geology, 75th Anniversary (1981) 317-391.
- [31] Powell R., "Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet clinopyroxene geothermometer revisited", Journal of Metamorphic Geology 2 (1985), 33-42.
- [32] Ellis D. J., Green D. H., "An experimental study of the effect of Ca upon the garnet-clinopyroxene Fe-Mg exchange equilibria". Contributions to Mineralogy and Petrology 71 (1979), 13-22.