



شیمی کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن در اسکارن سرانجیک و شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل آن‌ها در قروه، استان کردستان

زهره اعلمی‌نیا*، سیدمحمدحسین رضوی، بهزاد مهرابی

گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۱/۷، نسخه نهایی: ۹۷/۳/۲۸)

چکیده: اسکارن سرانجیک در اثر تزریق توده نفوذی با ترکیب گرانیته قروه به سن ژوراسیک پسین در سنگ‌های کربناتی ناخالص تشکیل شده است. بازدیدهای صحرایی و بررسی‌های کانی‌شناسی نشان داد که برون اسکارن، گسترده‌ترین افق اسکارنی در اسکارن سرانجیک بوده و از نوع کلسیمی به همراه لبه باریکی از کانی‌های اسکارن منیزیمی است. مجموعه کانی‌ها نشان‌دهنده دو مرحله پیشرونده و پسرونده است. مرحله پیشرونده بیشتر توسط کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن مشخص می‌شود. شواهد بافتی و تجزیه شیمیایی به روش ریزپردازش الکترونی (EPMA) کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن نشان داد که دو نوع کلینوپیروکسن و سه نوع گارنت در پهنه‌های گوناگون طی مرحله پیشرونده در دگرگونی اسکارن وجود دارد. کلینوپیروکسن نوع I با دو ترکیب سالیته (Hd_{27-40} Di_{58-51} Jo_{8-14}) و فروسالیته (Hd_{58-75} Di_{27-16} Jo_{8-13}) به ترتیب در پهنه‌های فورستریت-کلینوپیروکسن و گارنت-وزوویانیت-کلینوپیروکسن دیده می‌شود. کلینوپیروکسن نوع II با ترکیب حدواسط سالیته-فروسالیته (Hd_{36-48} Di_{43-51} Jo_{7-12}) در پهنه گارنت-وزوویانیت-کلینوپیروکسن گسترش دارد که همراه با تبلور شلیت مشخص می‌شود. گارنت‌ها بیشتر در پهنه‌های میانی تا نزدیک به توده نفوذی قرار دارند. گارنت نوع I با ترکیب گراندیتی غنی از گروسولر (Grs_{65} And_{25} تا Grs_{45} And_{40}) با نسبت پیرالسپیتی کمتر از ۱۰ درصد مولی مشخص می‌شود و شواهد بافتی تبلور همزمان آن I و کلینوپیروکسن نوع I را تایید می‌کند و در پهنه گارنت-وزوویانیت-کلینوپیروکسن گسترش یافته است. گارنت نوع II با ترکیبی از Grs_{50} And_{25} Pyr_{25} تا Grs_{45} And_{20} Pyr_{35} و گارنت نوع III با ترکیبی از Grs_{70} Pyr_{30} تا Grs_{60} Pyr_{40} در مقایسه با گارنت نوع I دربردارنده پیرالسپیت بیشترند و در مجاورت توده نفوذی قرار دارند. بر اساس مجموعه‌های کانیایی، گارنت نوع I در شرایط اکسایشی در پهنه‌های دورتر نسبت به گارنت نوع II و III ایجاد شده است. از طرفی، به نظر می‌رسد که نسبت‌های گارنت به کلینوپیروکسن مشاهده شده در اسکارن سرانجیک از حجم بالای فلوئور ناشی از سیال ماگمایی ناشی شده باشد. همچنین، حضور فلوئور بالا در محیط سبب افزایش درصد حجمی وزوویانیت و کاهش به نسبت شدید درصد حجمی کلینوپیروکسن شده است. ترکیب نسل‌های گوناگون کلینوپیروکسن و گارنت در اسکارن سرانجیک قروه نشان‌دهنده روند دگرگونی اسکارن پیشرونده از شرایط نسبتاً اکسایشی تا نسبتاً احیایی و گریزندگی اکسیژن معادل با ۱۸- تا ۳۰- است.

واژه‌های کلیدی: ترکیب شیمیایی؛ گارنت؛ کلینوپیروکسن؛ اسکارن سرانجیک؛ قروه؛ کردستان.

مقدمه

اگرچه نوع اسکارن‌ها به‌تنهایی با ترکیب کلینوپیروکسن و گارنت موجود در آن‌ها مشخص نمی‌شوند، اما ترکیب هر دوی آن‌ها می‌تواند به‌عنوان راهنمای مناسب و تقریباً یگانه‌ای در تعیین محیط تشکیل مورد استفاده قرار گیرد (۸-۱۲). اینودی

نوع اسکارن تشکیل شده به شرایط زمین‌شناسی، ترکیب سنگ‌های میزبان و سنگ‌های آذرین وابسته به آن، عمق تشکیل و گریزندگی اکسیژن و گوگرد بستگی دارد (۱-۷).

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۲۰۹۲۹۵۶، نمابر: ۰۲۱-۸۸۰۲۱۶۷۴، پست الکترونیکی: zoalaminia@gmail.com

بحث و بررسی

زمین‌شناسی منطقه

اسکارن سرانجیک قروه در شرق استان کردستان و در گستره جغرافیایی $35^{\circ} 45' 07''$ تا $35^{\circ} 50' 11''$ طول شرقی و $35^{\circ} 13' 14''$ تا $35^{\circ} 08' 01''$ عرض شمالی قرار دارد. این منطقه در بخش شمالی پهنه سنج-سیرجان واقع است. در این بخش، توده‌های گرانیتوئیدی در سنگ‌های رسوبی به سن تریاس-ژوراسیک نفوذ کرده است [۱۵] (شکل ۱ الف) و در مناطقی چون ابراهیم عطار، گلالی و میهم سبب اسکارن‌زایی شده است. این سنگ‌ها در زمان‌های گوناگون در اثر انواع دگرگونی‌های ناحیه‌ای، گرمایی و دینامیکی قرار گرفته‌اند [۱۵].

بررسی‌های سن‌سنجی گرانیتوئیدها نشان می‌دهد که بیشتر این توده‌ها وابسته به دوره ژوراسیک پسین (۱۴۵ تا ۱۷۰ میلیون سال پیش) هستند [۱۶-۲۱].

توده نفوذی سرانجیک قروه بیشتر از گرانیت متوسط دانه با بافت دانه‌ای تشکیل شده دربردارنده درونبوم ریزدانه‌ای مافیک بیضوی یا کروی شکل ریزدانه با ترکیبات کوارتز مونوزودیوریت و دیوریت است. توده نفوذی در بخش‌هایی که اندازه بلورها کاهش و مقدار فلدسپار افزایش می‌یابد، اغلب توسط لوکوگرانیت، دایک‌های آپلیتی گرانیتی و رگه‌های کوارتز (شکل ۲ الف) به سمت مرز اسکارنی قطع می‌شوند.

نفوذ توده سرانجیک در سنگ میزبان سبب دگرگونی مجاورتی با ترکیب مرمر، هورنفلس کلسیتی-سیلیکاتی و اسکارن شده است (شکل ۱ ب). هم‌چنین در سنگ‌های آذرین منطقه سرانجیک قروه طیف گسترده‌ای از دگرسانی دیده می‌شود. مهم‌ترین این دگرسانی‌ها، دگرسانی پتاسیمی، کوارتز سریسیتی (فلسی)، رسی و پروپلیتی هستند. اسکارن سرانجیک به صورت نوارهای باریک با عرض بین $0/3$ تا 3 متر و طول 100 متر با راستای شمالی-جنوبی دیده می‌شود. براساس شواهد صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی، اسکارن سرانجیک شامل دو ناحیه درون‌اسکارن و برون‌اسکارن است. ناحیه برون‌اسکارن بسیار گسترده و مهم‌ترین پهنه اسکارن سرانجیک قروه است و پهنه درون‌اسکارن بسیار محدود است. هم‌بری برون‌اسکارن با توده نفوذی و مرمر به صورت تیز و ناگهانی و کاملاً مشخص است (شکل ۲ ب).

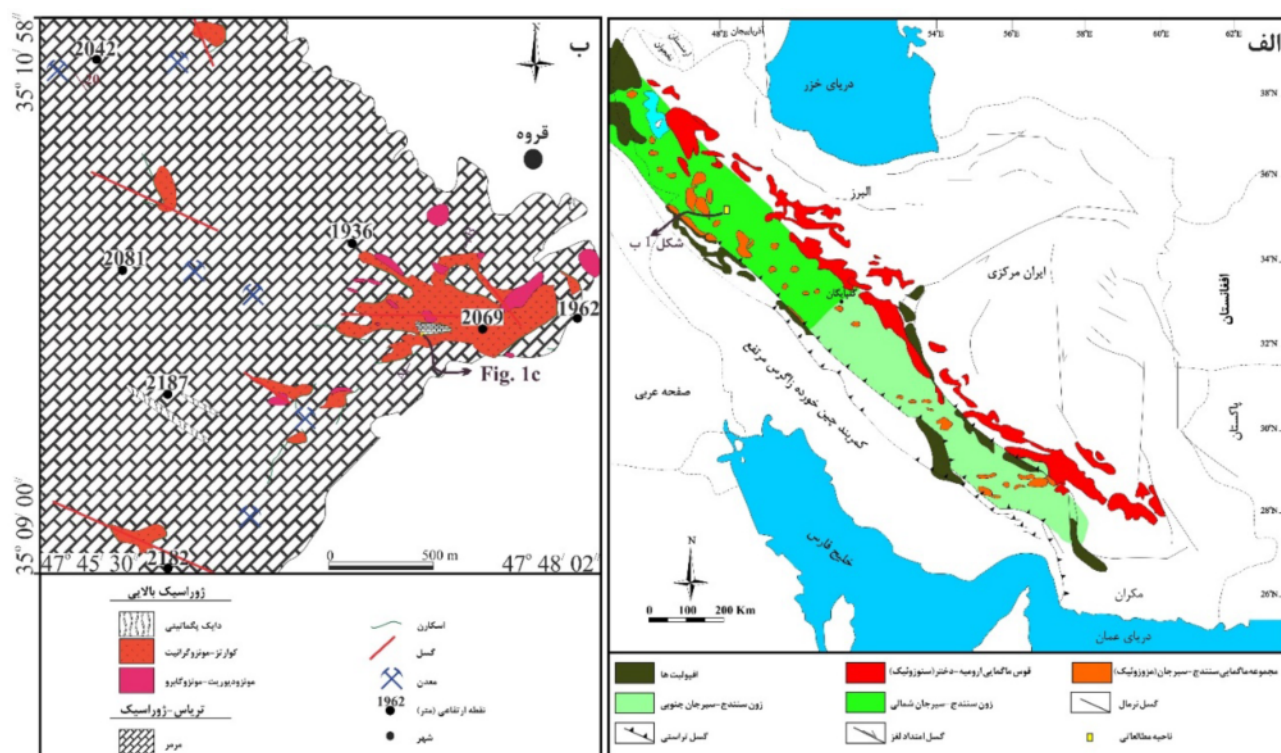
و همکارش [۷] تغییر ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌ها در ذخایر اسکارنی را متناسب با تغییرات در نوع کانسارسازی اسکارن (فلز غالب) می‌دانند. آنها ذخایر اسکارنی را به ۵ گروه کانسارهای مس، آهن، سرب-روی، تنگستن و قلع تقسیم نموده‌اند. هم‌چنین مینرت [۴] وابستگی ترکیب شیمیایی کانی‌های اصلی سازنده اسکارن و نوع کانی‌زایی در آن را بیان نموده است، که بر این اساس می‌توان گفت که ترکیب گارنت در اسکارن مس، از نوع آندرادیت، در اسکارن قلع از نوع گروسولر-آندرادیت-آلماندن، در اسکارن تنگستن از نوع اسپسارتین، در اسکارن سرب-روی و اسکارن طلا از نوع محلول جامد گروسولر-آندرادیت و در اسکارن آهن و مولیبدن گارنت از نوع آندرادیت است.

گارنت و کلینوپیروکسن کانی‌های غالب در اسکارن‌ها و نخستین برآورده‌های برهمکنش سیال-سنگ هستند [۷]. از این رو، زمین‌شیمی این کانی‌ها به عنوان شاخصی از پتانسیل برهم‌کنش پیچیده بین این متغیرها در سرتاسر سیستم اسکارنی است.

هدف از این پژوهش بررسی بافتی، سنگ نگاری و زمین-شیمی گارنت‌ها و کلینوپیروکسن‌های موجود در اسکارن سرانجیک قروه به منظور شناخت بهتری از محیط تشکیل اسکارن است. افزون بر این گارنت نیمه‌کلسیمی در اسکارن شیلیت‌دار سرانجیک قروه نیز مورد توجه قرار گرفته است.

روش بررسی

در بررسی‌های صحرایی در مسیرهای گوناگون ۲۷۱ نمونه به صورت منظم از توده نفوذی تا سنگ دیواره برداشت شد. در این پژوهش، نخست مقاطع نازک از نظر سنگ‌شناسی و کانی-شناسی بررسی شدند و سپس تجزیه کمی عناصر اصلی در ۱۶ مقطع نازک-صیقلی از انواع بلورهای گارنت و کلینوپیروکسن توسط میکروسکوپ ریز کاوندهی الکترونی مدل Cameca-SX100 در مرکز پژوهشی دانشگاه رم ایتالیا انجام شد. ولتاژ و جریان مورد استفاده برای این تجزیه به ترتیب برابر با 12kV و 10nA بوده است. برنامه تابع R [۱۳] و برنامه Winpyrox [۱۴] نیز به ترتیب جهت پردازش نتایج تجزیه‌های گارنت و پیروکسن به منظور برآورد مقدار آهن سه ظرفیتی و دو ظرفیتی و سازه‌ای اعضای انتهایی گارنت و کلینوپیروکسن استفاده شد.



شکل ۱ الف: جایگاه منطقه مورد بررسی در بخش شمالی پهنه ساندج-سیرجان [۱۵، ۱۶] و ب) نقشه زمین‌شناسی منطقه سرانجیک قروه و جایگاه اسکارن‌ها بر آن (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ قروه با تغییرات [۱۷]).



شکل ۲ الف: دایک آپلیتی در توده گرانیتی و ب) همبری کاملاً نمایان و مشخص برون اسکارن با سنگ دیواره مرمری.

سرانجیک قروه، مدل منطقه‌بندی از توده گرانیتی به سمت جبهه مرمری به‌صورت پهنه‌های کوارتز- گارنت اسکارن، گارنت- وزوونایت- کلینوپیروکسن اسکارن و کلینوپیروکسن- وزوونایت اسکارن (شکل ۴ الف) است. افزون بر این، پهنه اسکارن منیزی می‌در محل تماس کلینوپیروکسن- وزوونایت اسکارن و جبهه مرمری که گسترش آن بسیار محدود است و

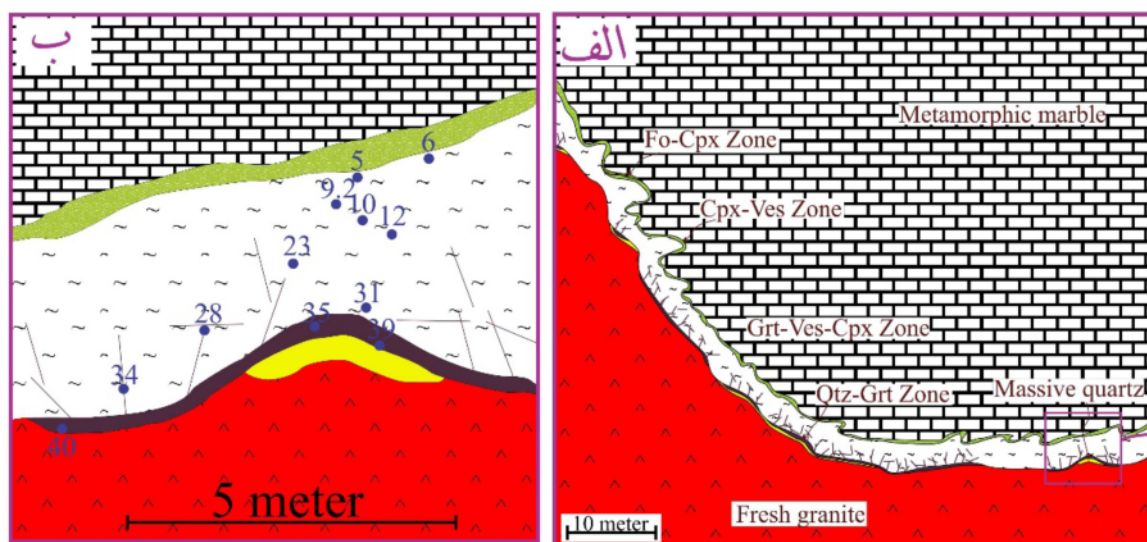
اسکارن سرانجیک قروه با دو مرحله پیش‌رونده و پس‌رونده مشخص می‌شود. مرحله پیش‌رونده شامل کانی‌های بی‌آب و دمای بالا (از جمله کلینوپیروکسن، گارنت، پلاژیوکلاز و شیلیت) و مرحله پس‌رونده دربردارنده کانی‌های آبدار و یا دمای پایین چون اپیدوت، کلسیت، کوارتز و کلریت است (شکل ۳). با توجه به فراوانی کانی‌ها در بخش‌های گوناگون اسکارن

مجموعه کانی‌های مرحله پسرونده (سرپانتین، تالک و بروسیت) قطع شده است.

گاهی در مرزهای مرمر با اسکارن دیده می‌شود (شکل ۴ ب). این پهنه لبه‌ای بیشتر شامل مجموعه کانی‌های پیش‌رونده (فورستريت و کالینوپيروکسن) است که توسط رگه‌هایی از



شکل ۳ روابط همبندی کانی‌ها در اسکارن سرانجیک قروه.



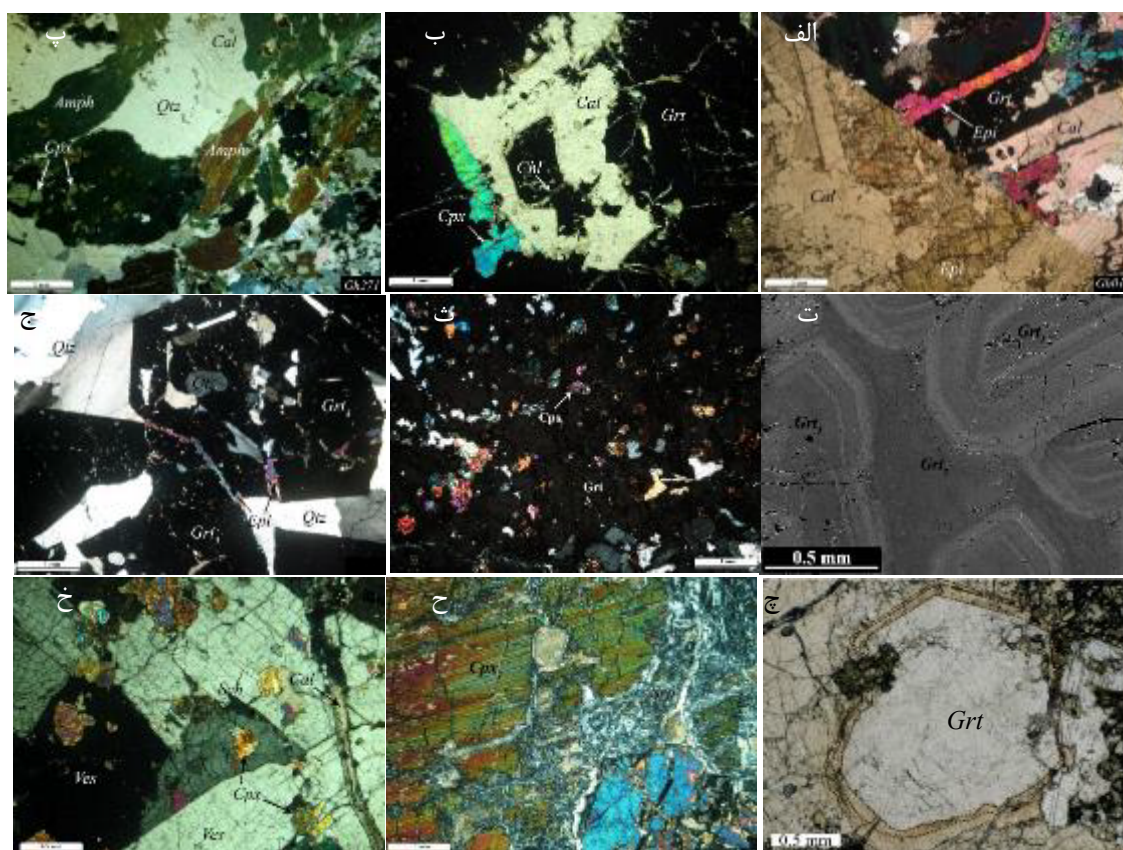
شکل ۴
ب ۲

شکل ۴ الف: جایگاه پهنه‌های گوناگون اسکارن سرانجیک قروه نسبت به توده نفوذی و جبهه مرمری. علائم اختصاری: Fo= فورستريت، Cpx= کلینوپيروکسن، Grt= گارت، Ves= وزوویانیت، Qtz= کوارتز. ب) تغییرات ترکیبی گارت در دو پهنه کوارتز-گارت و گارت-وزوویانیت-کلینوپيروکسن. اعداد نشان‌دهنده بیشینه مقدار سازای نیمه‌کلسیمی در گارت در نقاط گوناگون است. توجه شود که افزایش منظم بیشینه مقدار نیمه‌کلسیمی به سمت محل تماس توده گرانیته دیده می‌شود.

سنگ‌نگاری اسکارن‌ها

براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و روابط همبری، دست کم ۳ مرحله اصلی در پیدایش اسکارن سرانجیک قروه تشخیص داده شد عبارتند از: (۱) مرحله دگرگونی هم‌شیمی که این مرحله همزمان با جایگزینی توده نفوذی در سنگ‌های کربناتی تریاس- ژوراسیک آغاز شده است. در این مرحله جریان گرمایی ناشی از توده سبب دگرگونی ایزوشیمیایی سنگ‌های پیرامون و تبدیل آن‌ها به مرمر و هورنفلس شده است. وجود ناخالصی‌های رس و سیلیس در سنگ‌های کربناتی اولیه منجر به تشکیل سیلیکات‌های کلسیمی از جمله دیوپسید و اپیدوت در شرایط ایزوشیمیایی شده است. (۲) مرحله دگرسانی دگرنهادی پیشرونده که شواهد این مرحله از دگرسانی دگرنهادی پیدایش کانی‌های کلسیمی- سیلیکاتی بی‌آب مانند گارنت غنی از گروسولر، گارنت نیمه‌کلسیمو کلینوپیروکسن نوع دیوپسید-

هندبرژیت است. بافت آن‌ها دانه‌ای و موزائیکی است. بر اساس شواهد سنگ‌نگاری، کانی‌زایی شیلیت در ارتباط با کانی‌های بی‌آب در مرحله پیشرونده انجام شده است. (۳) مرحله دگرسانی مخرب پسرونده که در این مرحله در اثر برهم‌کنش گرماب با مجموعه‌های کلسیمی- سیلیکاتی مرحله پیشرونده، حجم زیادی از فازهای سیلیکاتی (کوارتز)، کلسیمی- سیلیکاتی آبدار (اپیدوت و آمفیبول) همراه با مقادیر بسیار کمی از سولفیدها (پروتیت، پیریت و کالکوپیریت) پدید آمده‌اند. در اثر این دگرسانی، کانی‌های مرحله پسرونده جانشین کانی‌های مرحله پیشرونده شده و به‌صورت بافت جانشینی دیده می‌شود. از جمله این جانشینی‌ها می‌توان به تبدیل گارنت به اپیدوت، کلسیت و کوارتز (شکل ۵ الف) و نیز جانشینی کلینوپیروکسن با آمفیبول (اکتینولیت-ترمولیت) (شکل ۵ ب) و در مراحل پیشرفته‌تر توسط کلریت، کربنات و اکسید آهن اشاره نمود.



شکل ۵ الف) جانشینی گارنت توسط اپیدوت، کلسیت و کوارتز در مرحله دگرنهادی پسرونده؛ ب) جانشینی کلینوپیروکسن توسط کلریت، کلسیت و اکسید آهن در مرحله دگرنهادی پسرونده؛ پ) جانشینی کلینوپیروکسن توسط آمفیبول در مرحله دگرنهادی پسرونده؛ ت) گارنت خودشکل نوع I با بافت دانه ای و گارنت بی‌شکل نوع II با بافت توده‌ای به‌صورت پرکننده فضای بین گارنت‌های نوع I؛ ث: وجود میانبارهای کلینوپیروکسن در گارنت‌های نوع II؛ ج) گارنت‌های کاملاً خودشکل نوع III در زمینه کوارتز، چ) شکل‌های نامنظم لبه‌های گارنت نوع III و نمایش سیمای متأثر از فشار بالای فاز سیال در مرحله پیشرونده تأخیری؛ ح) بلورهای کاملاً درشت و خودشکل کلینوپیروکسن در پهنه فورستريت-کلینوپیروکسن و جانشینی آن توسط سرپانتین در مرحله دگرنهادی پسرونده و خ) وجود میانبارهای کلینوپیروکسن‌های نوع II در وزوونایت.

مشاهدات زمینی گارنت‌ها و کلینوپیروکسن‌ها

گارنت: گارنت فراوان‌ترین کانی در اسکارن سرانجیک قروه است (۳ تا ۷۰٪)، ولی با نزدیک شدن به توده نفوذی بر مقدار گارنت‌های شکل‌دار افزوده می‌شود. گارنت‌ها به صورت رگه‌ای و یا انبانه‌هایی در مرمر و اسکارن همراه با رگه‌های کوارتز دیده می‌شوند. در بخش‌های نزدیک توده، نسبت گارنت به کلینوپیروکسن به مراتب بیشتر است. اغلب گارنت‌های به شدت تجزیه شده در مرحله پس‌رونده به اپیدوت، کلسیت و کوارتز تبدیل می‌شوند. در برخی موارد، اپیدوت به صورت شبه‌ریخت در لبه گارنت‌ها جایگزین می‌شود. با توجه به روابط بافتی در این منطقه دست کم سه نوع گارنت تشخیص داده می‌شود. گارنت نوع I (پیش‌رونده اولیه) به رنگ قرمز قهوه‌ای-قرمز تیره و بیشتر بی‌شکل و گاهی به صورت بلورهای درشت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار است. در برخی موارد، همراه با کوارتز بافت دانه-ای را تشکیل می‌دهد. برخی از بلورهای شکل‌دار گارنت نوع I هسته‌های ناهمسانگرد شکل‌دار با لبه مشخص هستند که با رورشدی گارنت با درصد مولی بالاتری از آندرادیت دنبال می‌شوند (شکل ۵ پ). گارنت نوع II در نمونه دستی رنگ قرمز روشن و فراوانی کمتری نسبت به گارنت نوع I دارد. گارنت نوع II به صورت بلورهای بی‌شکل و یا به صورت رورشدی بر گارنت‌های پیشین یا در فضای بین گارنت‌های نوع I تشکیل می‌شود (شکل ۵ ت) و گاهی شامل میانبارهای کلینوپیروکسن و وزوویانیت (شکل ۵ ث) است. گارنت‌های نوع III به صورت بلورهای درشت دانه به رنگ قرمز روشن-نارنجی به صورت پراکنده و همراه با رگه‌های کوارتزی در نزدیکی توده نفوذی قرار دارند (شکل ۵ ج). لبه برخی از گارنت‌ها شکل نامنظمی دارد که به دلیل شوک ناشی از فشار سیال بالا تفسیر می‌شود (شکل ۵ چ) [۲، ۸، ۱۲].

پیروکسن: براساس مجموعه‌های کانیایی و روابط بین آن‌ها، دو نوع کلینوپیروکسن در پهنه‌های گوناگون اسکارنی شناسایی شد. کلینوپیروکسن نوع I حدود ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌متر، به صورت بلورهای منشوری کوتاه نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار است. در مرمرها و رگه‌های کلسیتی اندازه بلورهای کلینوپیروکسن بیشتر است و گاهی به ۴ میلی‌متر می‌رسد (شکل ۵ ح). این نوع کلینوپیروکسن بیشتر در پهنه فورستری-کلینوپیروکسن

اسکارن و وزوویانیت-کلینوپیروکسن اسکارن دیده می‌شود. با نزدیک شدن به توده نفوذی، کلینوپیروکسن کاهش می‌یابد و اغلب کلینوپیروکسن نوع I در درون گارنت نوع II محبوس می‌شود. کلینوپیروکسن نوع II به صورت بلورهای نیمه شکل-دار تا بی‌شکل و کوچکتر از کلینوپیروکسن نوع I (با اندازه ۰/۴ تا ۱/۵ میلی‌متر) است و مقدار آن در پهنه‌های وزوویانیت-کلینوپیروکسن بیشتر و در پهنه گارنت-وزوویانیت-کلینوپیروکسن کمتر است. کلینوپیروکسن نوع II به صورت مشخص در ارتباط با گارنت نوع II، شلیت و وزوویانیت است (شکل ۵ خ).

زمین شیمی گارنت و کلینوپیروکسن

گارنت: نتایج EPMA گارنت در ناحیه‌های گوناگون اسکارن سرانجیک قروه سه گروه کاملاً متمایز از بلورهای گارنت را نشان می‌دهد (جدول ۱). تغییرات ترکیبی آن‌ها در نمودار سه تایی گروسولر-آندرادیت و پیرالسپیت (مجموع آلمان‌دین، اسپسارتین و پیروپ) همراه با دیگر اسکارن‌های شلیت‌دار با شرایط اکسایش مختلف رسم شده است (شکل‌های ۶ الف و ب) [۲۲-۲۸]. به‌طور کلی ترکیب گارنت‌های اسکارن سرانجیک قروه در پهنه‌های مختلف یکسان نیست. مقدار Al گارنت متغیر و مقدار Ca بالاست. گارنت‌هایی با هسته‌های غنی از Al-Ca و لبه‌های غنی از Fe فراوان هستند، اما گارنت‌های یکنواخت و گارنت‌هایی با لبه‌های غنی از Al نیز در برخی موارد دیده می‌شود (جدول ۱). در بیشتر سیستم‌های اسکارنی، گارنت‌های آلومین‌دار غنی از Fe^{+2} و Mn^{+2} در اسکارن تنگستن‌دار دیده می‌شود [۲۹]. به‌طور کلی، گارنت‌های اسکارن سرانجیک قروه فقیر از Fe^{+3} و غنی از Al هستند. کسر مولی پیروپ نیز بسیار پایین و اغلب کمتر از ۰/۵ است.

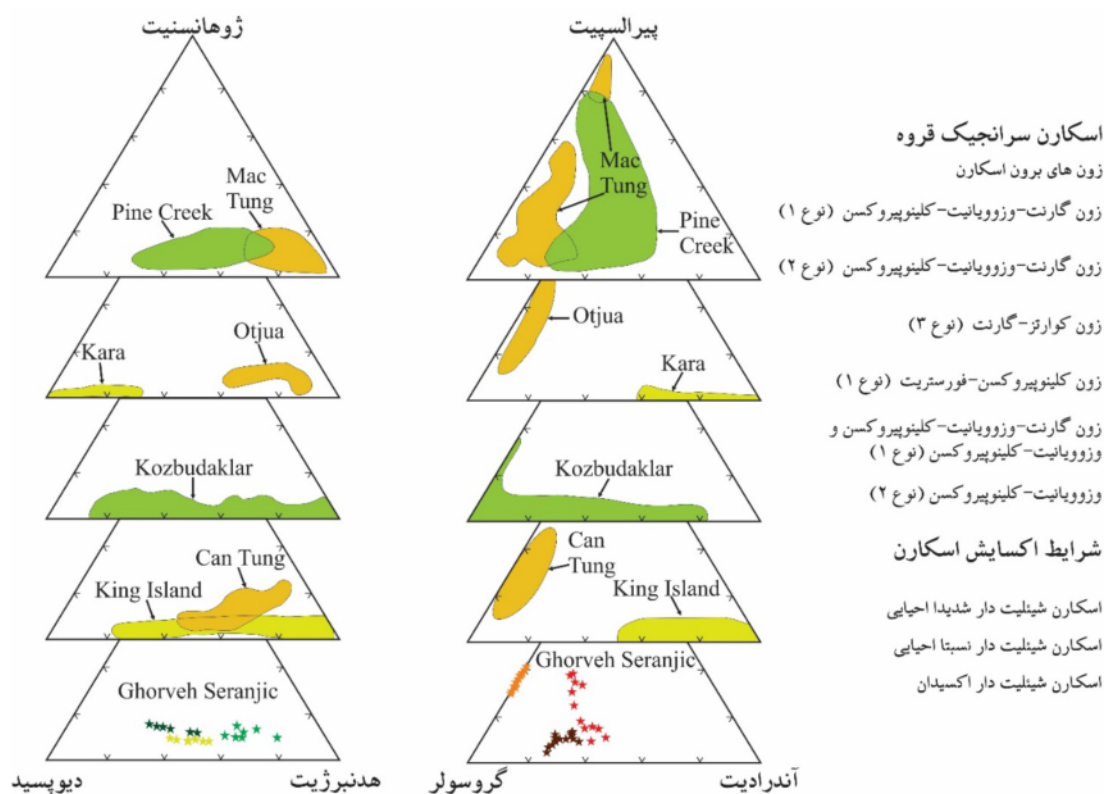
گارنت نوع I اولیه در گستره ترکیبی گروسولر-آندرادیت با ترکیبی از $Grs_{65} And_{25}$ تا $Grs_{45} And_{40}$ با مقدار پیرالسپیت کمتر از ۱۰ درصد مولی مشخص می‌شود. گارنت نوع II (پیش‌رونده تأخیری) به نسبت یکنواخت و دارای ترکیبی از $Grs_{50} And_{25} Pyr_{25}$ تا $Grs_{45} And_{20} Pyr_{35}$ است و مقدار پیرالسپیت آن بین ۱۰ تا ۲۵ درصد مولی است. گارنت نوع III وابسته به گستره ترکیبی نیمه‌کلسیمی (Grs-Pyr) با ترکیبی از $Grs_{70} Pyr_{30}$ تا $Grs_{60} Pyr_{40}$ است که همراه با مقادیر قابل

طور پیوسته درون این رگه‌ها تغییر می‌کند و با دور شدن از توده نفوذی به سمت جبهه مرمی، مقدار آندرادیت و نیز نسبت اسپسارتین به آلماندین افزایش می‌یابد (شکل ۲ ب).

توجهی از آلماندین و اسپسارتین (پیرالسیت) مشخص می‌شود. در گارنت نوع III، درصد مولی آندرادیت صفر است. این مجموعه از گارنت‌ها اغلب به صورت گارنت‌های رگه‌ای قطع کننده گارنت‌های نوع I و II دیده می‌شوند. ترکیب گارنت به-

جدول ۱ نتایج تجزیه ریزپردازشی گارنت‌های اسکارن سرانجیک. محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن.

منطقه	اسکارن گارنت - وزوویانیت- کلینوپیروکسن										اسکارن کوارتز- گارنت									
S. N.	Gh-190	Gh-190	Gh-190	Gh-88	Gh-88	Gh-88	Gh-14	Gh-14	Gh-64	Gh-64	Gh-04	Gh-04	Gh-24	Gh-24	Gh-10	Gh-51	Gh-51	Gh-48	Gh-45	
A. N.	1b	1d	1g	1a	1d	1g	2d	2f	1a	1c	1a	1d	1a	1b	2c	1a	1d	1a	1e	
نوع	I	I	I	I	I	I	II	II	I	I	III	III	III	III	III	III	III	III	III	
درصد وزنی																				
SiO ₂	۳۷۵۵	۳۷۶۱	۳۷۰۳	۳۸۵۴	۳۷۶۷	۳۷۶۴	۳۷۸۵	۳۷۷۰	۳۷۵۲	۳۷۵۴	۳۹۴۵	۳۹۵۰	۳۹۲۵	۳۹۵۱	۳۹۱۶	۳۹۲۵	۳۸۸۵	۳۹۴۱	۳۹۵۱	
TiO ₂	۰.۳۷	۰.۲۵	۰.۱۹	۰.۱۸	۰.۰۱	۰.۳۳	۰.۱۲	۰.۱۰	۰.۰۲	۰.۰۵	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۴	
Al ₂ O ₃	۱۵۹۸	۱۵۳۴	۱۴۹۲	۱۶۱۲	۱۶۳۴	۱۶۳۹	۱۶۶۸	۱۶۸۶	۱۷۱۶	۱۶۸۸	۲۵۲۹	۲۶۹۳	۲۴۰۶	۲۴۰۲	۲۴۱۶	۲۴۰۱	۲۳۷۴	۲۴۳۳	۲۴۲۶	
Cr ₂ O ₃	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۶	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۳	۰.۱۰	۰.۰۰	۰.۱۷	
FeO*	۱۰.۱۵	۱۰.۶۸	۱۱.۲۱	۸.۸۴	۱۱.۹۵	۱۳.۱۴	۱۳.۲۴	۱۵.۱۹	۱۲.۸۳	۱۳.۱۳	۱۱.۳۵	۱۳.۸۷	۱۳.۴۵	۱۳.۱۳	۱۳.۹۹	۱۳.۰۳	۱۳.۲۱	۱۳.۱۴	۱۵.۴۲	
MnO	۳۶۱	۳۵۶	۴۵۲	۲۸۶	۳۷۲	۳۵۵	۶۴۱	۶۶۵	۱۶۶	۱۷۱	۰.۴۵	۱.۰۶	۰.۸۰	۱.۰۱	۰.۹۷	۱.۰۲	۱.۰۵	۱.۰۲	۱.۳۱	
MgO	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۱۰	۰.۱۵	۰.۰۰	۰.۰۴	۰.۱۳	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۱۷	
CaO	۳۱۸۶	۳۲۰۷	۲۹۷۴	۳۳۵۸	۳۳۰۰	۳۰۵۸	۳۷۰۴	۳۶۹۲	۳۰۶۳	۳۰۹۴	۳۳۰۹	۳۰۹۶	۳۲۰۱	۳۱۶۷	۳۱۸۳	۳۲۱۹	۳۲۰۰	۳۲۰۴	۳۰۴۸	
مجموع	۹۹۵۸	۹۹۷۳	۹۸۸۵	۹۹۱۷	۹۷۱۶	۹۷۸۰	۱۰۰۰۵۰	۱۰۰۰۵۷	۹۹۸۲	۹۹۶۹	۹۹۸۱	۹۹۴۵	۹۹۶۸	۹۹۴۹	۹۹۳۰	۹۹۷۵	۹۹۰۲	۹۹۹۲	۹۹۶۳	
کاتیون ها بر پایه ۱۲ اتم اکسیژن																				
Si	۲۹۴	۲۹۵	۲۹۴	۳۰۱	۳۰۰	۳۰۲	۲۹۶	۲۹۷	۲۹۵	۲۹۶	۲۹۹	۳۰۳	۳۰۱	۳۰۲	۳۰۰	۳۰۱	۳۰۰	۳۰۱	۳۰۶	
Ti	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	
Al	۱۴۷	۱۴۲	۱۴۰	۱۴۸	۱۴۵	۱۱۷	۱۵۴	۱۵۶	۱۶۱	۱۵۴	۲۲۶	۲۱۶	۲۱۷	۲۱۷	۲۱۹	۲۱۶	۲۱۶	۲۱۸	۲۰۴	
Cr	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	
Fe ³⁺	۰.۵۶	۰.۶۱	۰.۶۵	۰.۵۱	۰.۷۵	۰.۸۱	۰.۴۹	۰.۴۶	۰.۳۸	۰.۴۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	
Fe ²⁺	۰.۱۰	۰.۰۹	۰.۱۸	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۳۱	۰.۵۴	۰.۴۶	۰.۴۳	۰.۷۲	۰.۸۹	۰.۸۶	۰.۸۴	۰.۸۳	۰.۸۳	۰.۸۵	۰.۸۴	۱.۰۰	
Mn	۰.۲۴	۰.۲۴	۰.۳۰	۰.۱۹	۰.۱۸	۰.۲۵	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۱۱	۰.۱۱	۰.۰۳	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۹	
Mg	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	
Ca	۲۶۷	۲۶۹	۲۵۳	۲۷۲	۲۷۵	۲۶۳	۲۶۷	۲۰۲	۲۵۸	۲۶۱	۱۸۷	۱۷۲	۱۸۱	۱۷۸	۱۷۹	۱۸۲	۱۸۲	۱۸۰	۱۷۰	
مجموع	۸۰۲	۸۰۲	۸۰۲	۷۹۹	۸۰۰	۷۹۷	۸۰۱	۸۰۱	۸۰۹	۸۰۹	۷۸۸	۷۸۹	۷۹۱	۷۸۹	۷۹۰	۷۹۱	۷۹۲	۷۹۰	۷۹۱	
Grs	۶۰۵۶	۵۸۳۹	۵۳۲۶	۶۵۶۸	۵۴۲۱	۴۷۸۰	۵۱۰۷	۴۴۱۳	۶۹۹۲	۶۶۸۴	۷۰۹۴	۶۳۸۹	۶۶۱۴	۶۵۱۶	۶۶۴۵	۶۶۵۴	۶۵۸۳	۶۶۶۰	۶۰۰۷	
And	۲۸۵۵	۳۱۰۴	۳۳۷۸	۲۵۴۷	۳۷۶۷	۴۱۱۱	۳۹۷۵	۳۳۴۲	۱۹۵۴	۲۲۴۶	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	
Pyr	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۱۲	۰.۲۰	۰.۲۸	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۱۶	۰.۵۳	۰.۲۵	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۲۳	۰.۲۴	۰.۷۰	
Alm	۱۶۸	۱۳۱	۱۳۸	۱۳۴	۱۱۹	۱۳۲	۹۳۳	۱۸۰۲	۸۱۹	۶۶۳	۳۳۱۸	۳۳۱۰	۳۳۵۸	۱۳۲۰	۳۰۸۹	۳۰۵۵	۳۱۰۱	۳۰۹۲	۳۵۶۱	
Sps	۸۰۸	۷۹۶	۱۰۳۰	۶۳۳	۶۱۷	۸۳۹	۱۴۳۱	۱۴۱۴	۳۷۵	۳۶۰	۱۱۰	۲۵۶	۱۹۰	۲۴۳	۲۴۲	۲۴۱	۲۴۹	۲۴۳	۳۰۸	
تذکر: FeO* = مجموع کل آهن‌ها، Grs = گروسولر، And = آندرادیت، Pyr = پیروپ، Alm = آلماندین، Sps = اسپسارتین، S.N. = شماره نمونه، A.N. = شماره نقطه تجزیه شده.																				



شکل ۶ نمودار سه‌تایی توزیع ترکیب تجزیه‌های نقطه‌ای کمی گارنت (الف) و کلینوپیروکسن (پ) در ناحیه سرانجیک قروه و مقایسه آن با اسکارن‌های تنگستن احیایی و اکسایشی جهان (ب و ت) [۲۲-۲۸].

متوسطی را بر اساس رده بندی ناکانو [۳۱، ۳۲] نشان می‌دهد و با دیگر نهشته‌های اسکارنی شیلیت‌دار همخوانی کامل دارد (شکل ۶ ت). از طرف دیگر، کلینوپیروکسن نوع II (تاخیری) ترکیب حدواسطی بین سالیته و فروسالیته ($Hd_{36-48} Di_{43-51}$) با نسبت ژوهانسیت نسبتاً بیشتری دارد. به‌علت افزایش Mn، نسبت Mn/Fe در گستره وسیعی از ۰/۲ تا ۰/۳۲ تغییر می‌کند. غنی‌شدگی Mn در کلینوپیروکسن‌های نسل دوم فرایندی معمول در مرحله پیش‌رونده اسکارن‌های تنگستن‌دار است [۲۳].

شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل اسکارن پیش‌رونده

براساس بررسی‌های صورت گرفته در این ناحیه، اسکارن سرانجیک در عمق ۵ تا ۶ کیلومتری و فشار تقریباً ۱/۵ تا ۲ کیلو بار تشکیل شده است [۳۳]. مشاهدات صحرایی از قبیل عدم شکستگی‌های برشی و شکننده در ارتباط با کانی‌زایی، گسترش وسیع هورنفلس‌های آهکی سیلیکاتی و مرزهای نفوذی نیمه موازی با لایه‌بندی نیز تایید کننده محیط به نسبت عمیق است [۶]. حضور کانی‌های بی‌آب اولیه چون کلینوپیروکسن و گارنت در اسکارن‌های پیش‌رونده اولیه می‌تواند گستره بالای

نسبت گارنت نیمه کلسیمی (نوع II و III) به گارنت گرانیتیتی (نوع I) با دور شدن از توده نفوذی به سمت جبهه مرمری کاهش می‌یابد و این کاهش با کاهش بسیار کوارتز در پهنه‌های اسکارنی همراه است (شکل‌های ۲ الف و ب).

کلینوپیروکسن: تجزیه EPMA کلینوپیروکسن از پهنه‌های گوناگون اسکارن سرانجیک قروه دو گروه ترکیبی سالیته و فروسالیته را نشان می‌دهد (جدول ۲). به‌طور کلی، بلورهای کلینوپیروکسن اسکارن سرانجیک قروه منطقه‌بندی نداشته و تقریباً ترکیب یکسانی دارند، اما ترکیب کلینوپیروکسن‌ها در پهنه‌های گوناگون متفاوت است (شکل ۶ پ). در کلینوپیروکسن‌های اسکارن سرانجیک قروه مقدار $Fe/Fe+Mn$ بسیار پایین و مقدار Cr_2O_3 ، TiO_2 و Na_2O کم است. مقدار کم Cr ، Ti و Na (جدول ۲) نشان‌دهنده خاستگاه دگرگونی است (شکل ۷) [۳۰]. کلینوپیروکسن‌های نوع I (اولیه) با ترکیب فروسالیته ($Jo_{8-13} Di_{27-16} Hd_{58-75}$) در پهنه درون اسکارن و با ترکیب سالیته ($Jo_{8-14} Di_{58-51} Hd_{27-40}$) در پهنه فورستریته-کلینوپیروکسن اسکارن دیده می‌شود. نسبت Mn/Fe در این کلینوپیروکسن‌ها ۰/۹ تا ۰/۲ است که مقدار

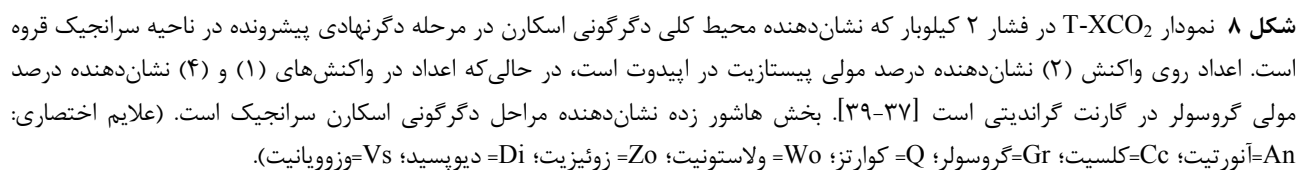
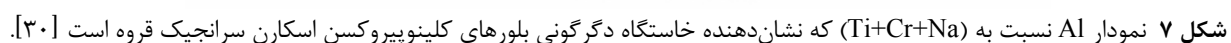
است [۴۰]. با این وجود، دایسون [۴۱] پیشنهاد می‌کند که XCO_2 نسبتاً بالا ممکن است مانع تشکیل ولاستونیت شود و از طرفی، فراوانی فلوئور در فاز سیال مقدار وزوویانیت را افزایش داده و به شدت از نسبت کلینوپیروکسن کاسته و سبب شده است که وزوویانیت در XCO_2 بالاتری پایدار بماند. در چنین شرایطی، کمترین گستره دمایی در اسکارن پیش‌رونده مورد بررسی $400^{\circ}C$ تا $450^{\circ}C$ و XCO_2 حدود 0.15 تا 0.2 است. مرحله پس‌رونده با مجموعه کانی‌های اسکارنی آبدار از جمله اپیدوت، آمفیبول کلسیم‌دار و کلریت مشخص می‌شود که اپیدوت شامل 20 تا 30 درصد مولی پیستاسیت $(Fe^{+3}/Fe^{+3}+Al^{VI})$ است.

دما و XCO_2 را در زمان تشکیل اسکارن سرانجیک قروه مشخص کند [۳۴، ۳۵]. در بیشتر اسکارن‌های دنیا، XCO_2 از 0.2 تا 0.5 متغیر است [۲۹]. در اسکارن سرانجیک قروه XCO_2 کمتر از 0.1 است که به دلیل نبود ولاستونیت در مجموعه کانی‌های اسکارنی آن است [۳۶].

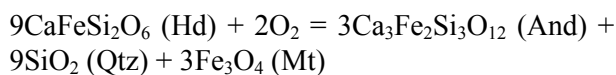
مجموعه گارنت گروسولری با ترکیب Grs_{80-90} و همزیست با کلینوپیروکسن اولیه در نبود ولاستونیت نشان می‌دهد که اسکارن پیش‌رونده در دمای $530^{\circ}C$ تا $580^{\circ}C$ از سیال‌هایی با XCO_2 تقریباً $0.1 - 0.2$ تشکیل شده است (شکل ۸) [۳۷-۳۹]. نبود ولاستونیت و حضور وزوویانیت در مجموعه‌های کانایی نشان دهنده مقدار XCO_2 در حدود 0.1 و یا کمتر

جدول ۲ نتایج تجزیه ریزپردازشی کلینوپیروکسن‌های اسکارن سرانجیک. محاسبه فرمول ساختاری آن‌ها بر اساس ۶ اتم اکسیژن.

منطقه	اسکارن وزوویانیت-کلینوپیروکسن								اسکارن گارنت-وزوویانیت-کلینوپیروکسن						درون اسکارن	
S. N.	Gh271	Gh271	Gh148	Gh148	Gh08	Gh08	Gh244	Gh244	Gh190	Gh190	Gh04	Gh04	Gh14	Gh14	Gh63	Gh63
A. N.	1a	1b	1a	1c	2b	2c	1a	1b	1a	1b	1a	1c	1a	1b	1a	1c
نوع	I	I	I	I	I	I	I	I	II	II	II	II	II	II	I	I
Weight percentage																
SiO ₂	۴۸۷۵	۴۸۵۹	۴۹۰۵	۴۹۰۲	۵۱۳۴	۵۱۰۶	۵۱۰۸	۵۱۶۱	۴۹۹۸	۵۱۵۶	۵۰۵۳	۵۰۵۸	۵۱۵۲	۵۱۶۰	۴۸۹۸	۴۹۲۰
TiO ₂	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۵	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰
Al ₂ O ₃	۰.۴۴	۰.۴۶	۰.۴۴	۰.۴۷	۰.۲۸	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۳۴	۰.۵۱	۰.۴۹	۰.۴۷	۰.۳۰	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۴۲	۰.۳۱
Cr ₂ O ₃	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۴	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۳	۰.۰۰
FeO*	۲۰.۳۳	۲۰.۳۴	۲۰.۳۲	۲۰.۵۷	۱۱.۰۱	۱۰.۹۷	۱۴۹۶	۱۲۶۳	۱۳۶۶	۱۴۰۱	۱۲۹۵	۱۲۹۵	۱۱۷۶	۱۱۷۹	۲۳۳۳	۲۳۷۷
MnO	۲.۱۲	۲.۶۶	۲.۷۸	۲.۳۷	۰.۹۷	۰.۸۹	۰.۶۹	۲.۶۹	۲.۳۷	۲.۲۲	۲.۰۹	۲.۴۳	۲.۲۰	۲.۱۱	۱.۴۳	۰.۹۰
MgO	۴.۵۶	۴.۶۶	۴.۵۹	۴.۷۴	۱۰.۶۷	۱۰.۱۸	۷.۷۳	۹.۲۴	۸.۵۴	۸.۱۷	۹.۰۱	۹.۲۱	۹.۸۴	۱۰.۴۳	۳.۰۰	۳.۷۶
CaO	۲۳۲۴	۲۳۱۰	۲۲۰۶	۲۱۹۲	۲۴۶۳	۲۴۶۱	۲۳۸۸	۲۳۴۹	۲۳۷۵	۲۳۳۰	۲۳۶۱	۲۳۷۵	۲۴۱۰	۲۴۶۱	۲۳۱۸	۲۳۸۸
Na ₂ O	۰.۱۷	۰.۳۱	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۱۵	۰.۲۴	۰.۱۷	۰.۱۹	۰.۲۴	۰.۳۳	۰.۲۷	۰.۱۹	۰.۰۰	۰.۰۳	۰.۲۷	۰.۳۰
K ₂ O	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۰۰	۰.۰۰
مجموع	۹۹۹۵	۹۹۴۹	۹۹۷۱	۹۹۵۸	۹۹۲۷	۹۸۰۱	۹۹۹۷	۱۰۰۳۳	۹۹۰۵	۱۰۰۰۸	۹۹۰۰	۹۹۴۴	۹۹۸۶	۱۰۰۳۶	۱۰۰۶۴	۱۰۰۱۱
تعداد یون هاپسلس ۶ام اکسژن و محاسبه هنجاری عضولتهای کلینوپیروکسن																
Si	۱.۹۵	۱.۹۵	۱.۹۶	۱.۹۶	۱.۹۷	۱.۹۸	۱.۹۹	۱.۹۸	۱.۹۶	۲.۰۰	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۸	۱.۹۷	۱.۹۷	۱.۹۷
Ti	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Al	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱
Cr	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
Fe3+	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۰۷	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۱	۰.۰۴	۰.۱۰	۰.۰۲	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۰۴	۰.۰۷	۰.۰۸	۰.۰۸
Fe2+	۰.۵۹	۰.۵۸	۰.۶۱	۰.۶۲	۰.۲۹	۰.۳۲	۰.۴۷	۰.۳۷	۰.۳۵	۰.۴۳	۰.۳۵	۰.۳۳	۰.۳۳	۰.۲۸	۰.۷۰	۰.۶۹
Mn	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۹	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳
Mg	۰.۲۷	۰.۲۸	۰.۲۷	۰.۲۸	۰.۶۱	۰.۵۹	۰.۴۵	۰.۵۳	۰.۵۰	۰.۴۷	۰.۵۳	۰.۵۴	۰.۵۷	۰.۶۰	۰.۱۸	۰.۲۲
Ca	۰.۹۵	۰.۹۵	۰.۹۵	۰.۹۴	۱.۰۱	۱.۱۰	۰.۹۵	۰.۹۷	۱.۰۰	۰.۹۷	۰.۹۹	۰.۹۹	۰.۹۹	۱.۰۱	۱.۰۰	۰.۹۸
Na	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۲
K	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰
مجموع	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۰	۴.۰۳	۴.۰۱	۴.۰۲	۴.۰۳	۴.۰۱	۴.۰۲	۴.۰۲	۴.۰۰
Fe ²⁺ /Mg	۰.۶۹	۰.۶۸	۰.۶۹	۰.۶۹	۰.۳۳	۰.۳۵	۰.۵۱	۰.۴۱	۰.۴۱	۰.۴۸	۰.۴۰	۰.۳۸	۰.۳۷	۰.۳۳	۰.۷۹	۰.۷۵
Mn/Fe	۰.۱۸	۰.۱۶	۰.۱۵	۰.۱۳	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۱۹	۰.۲۴	۰.۲۳	۰.۱۶	۰.۲۰	۰.۲۴	۰.۲۱	۰.۲۵	۰.۰۷	۰.۰۴
Di	۲۷.۱۸	۲۸.۰۲	۲۷.۲۱	۲۷.۸۷	۵۷.۹۹	۵۵.۹۱	۴۳.۴۶	۵۱.۵۱	۴۴.۹۴	۴۳.۶۷	۴۷.۶۵	۴۸.۰۲	۵۱.۱۲	۵۳.۳۵	۱۶.۳۱	۲۱.۵۶
Hd	۵۹.۳۸	۵۸.۳۴	۶۰.۶۸	۶۱.۴۱	۲۷.۶۷	۳۰.۴۰	۴۵.۸۴	۶۳.۱۲	۴۷.۰۶	۴۸.۶۵	۴۴.۴۶	۴۴.۸۰	۴۰.۷۲	۳۸.۰۲	۷۵.۰۲	۶۵.۹۸
Jo	۱۳.۴۵	۱۳.۶۳	۱۲.۱۱	۱۰.۷۵	۱۴.۳۴	۱۳.۷۰	۱۰.۷۰	۱۳.۳۷	۸.۰۰	۷.۶۷	۷.۸۹	۷.۱۸	۸.۱۶	۸.۶۴	۸.۶۷	۱۳.۴۶
FeO* = مجموع کل آهن ها، Di = دیوسید، Hd = هدنبریت، Jo = ژوهانسنیت، S.N. = شماره نمونه، A.N. = شماره نقطه تجزیه شده.																

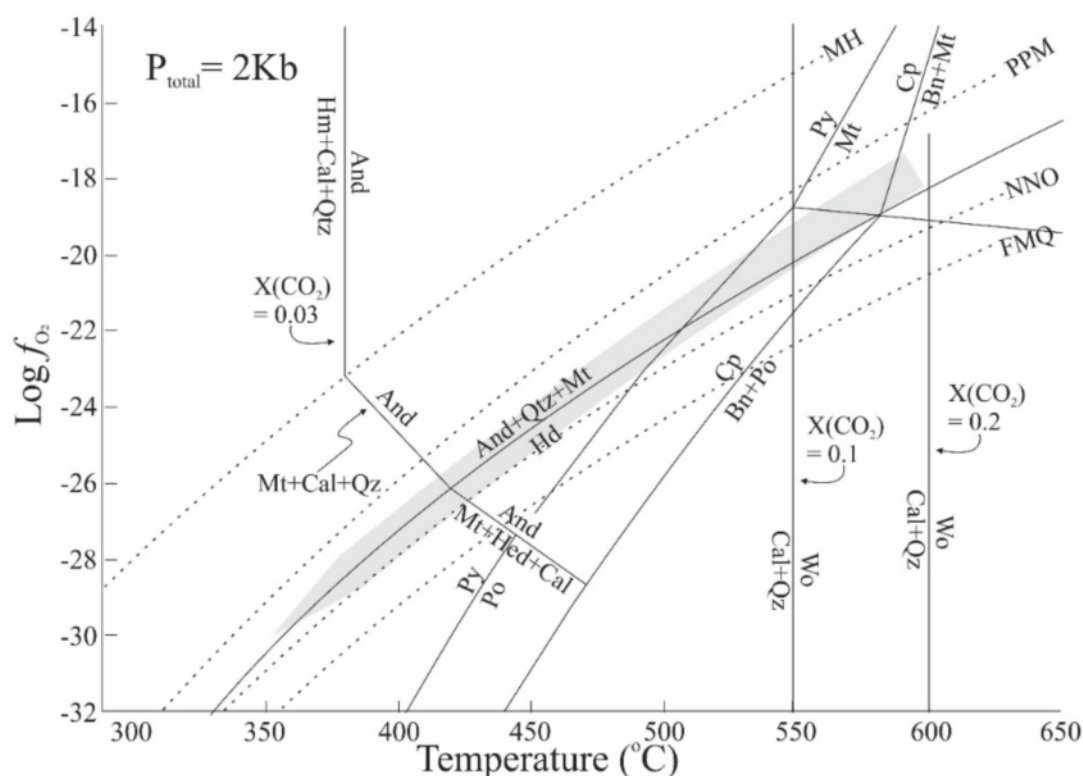


گسترده گارنت‌های گروسولری-نیمه‌کلسیمی به‌همراه کلینوپیروکسن در مجموعه اسکارن پیشرونده با واکنش زیر مشخص می‌شود [۴۳]:



این واکنش حد بالای گریزندگی اکسیژن را برای مجموعه اسکارن پیشرونده نشان می‌دهد (شکل ۹) [۴۷-۴۴]. حضور گارنت گراندیتی با مقادیر زیادی از آلماندین می‌تواند در راستای بافر نیکل-اکسید نیکل یا زیر آن تشکیل شده باشد [۴۷]. افزون بر آن، نبود گرافیت در مجموعه اسکارن سرانجیک قروه گستره کمتری از گریزندگی اکسیژن را فراهم می‌کند. نمودار شکل ۹ نشان می‌دهد که اسکارن‌های پیشرونده در دما-های ۵۷۰ تا ۴۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن ۱۸- تا ۳۰- تشکیل شده است.

مجموعه گارنت گراندیتی-نیمه‌کلسیمی به‌همراه کلینوپیروکسن سالیته-فروسالیتی می‌تواند شرایط گریزندگی اکسیژن را در زمان تشکیل اسکارن پیشرونده تعیین کند. درصد مولی آلماندین گارنت‌های گراندیتی با افزایش جاننشینی توسط Fe^{+3} افزایش می‌یابد [۷]. افزایش نسبت آلماندین به اسپسارتین به سمت توده نفوذی می‌تواند سبب افزایشی در فعالیت Fe^{+2} و کاهش گریزندگی اکسیژن طی دگرگونی اسکارن شود. این گریزندگی اکسیژن به نسبت پایین برای جاننشینی Fe^{+2} و Mn در گارنت‌های گروسولری مربوط به نهشته‌های شیلپیت‌دار است [۴۲]. مقادیر ناچیز مگنتیت به‌همراه گارنت گراندیتی و کلینوپیروکسن سالیته و نسبت بالای پیروتیت به پیریت شرایط گریزندگی اکسیژن پایین‌تری از بافر پیروتیت-پیریت-مگنتیت را نشان می‌دهد. از طرفی، حضور



شکل ۹ نمودار دما و گریزندگی اکسیژن در فشار ۲ کیلو بار که نشان‌دهنده محیط تشکیل اسکارن سرانجیک پیشرونده (ناحیه خاکستری) است (برگرفته از مرجع [۴۴] با تغییرات و واکنش‌ها از مراجع [۴۷-۴۵] هستند) علائم اختصاری: MH=بافر مگنتیت-هماتیت؛ PPM=بافر پیریت-پیروتیت=مگنتیت؛ NNO=بافر نیکل=اکسید نیکل؛ FMQ=بافر فایالیت-مگنتیت-کوارتز؛ PY=پیریت؛ PO=پیروتیت؛ Mt=مگنتیت؛ Cp=کالکوپیریت؛ Bn=بورنیت؛ Qtz=کوارتز؛ Cal=کلسیت؛ Wo=ولاستونیت؛ And=آندرادیت؛ Hm=هماتیت.

برداشت

نفوذ توده گرانیتوئیدی سرانجیک قروه به سن ژوراسیک پسین به‌درون سنگ‌های کربناتی، به سن تریاس-ژوراسیک، منجر به اسکارن‌زایی در منطقه شده است. بر اساس بررسی‌های کانی-شناسی، اسکارن سرانجیک قروه به‌صورت اسکارن کلسیمی-منیزی می‌است. اسکارن منیزی با گسترش بسیار محدود در پهنه حاشیه‌ای اسکارن با مجموعه کانی‌های فورستریت (بیشتر)، طلق، سربانتین و بروسیت مشخص می‌شود. اسکارن کلسیمی با مجموعه کانی‌های گارنت، کلینوپیروکسن، وزوویانیت، آمفیبول و اپیدوت شامل دو پهنه درون اسکارن و برون اسکارن است. مجموعه کانی‌های برون اسکارن نشان‌دهنده دو مرحله پیشرونده و پسرونده است. مرحله پیشرونده با کانی‌های کلینوپیروکسن و گارنت مشخص می‌شود. شواهد بافتی و تجزیه شیمیایی کانی‌های گارنت و کلینوپیروکسن نشان‌دهنده وجود دو نوع کلینوپیروکسن و سه نوع گارنت است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی کلینوپیروکسن، نخست کلینوپیروکسن‌های سالیته در لبه‌های اسکارن به‌همراه فورستریت تشکیل می‌شود. سپس در گام بعدی با ورود Fe به سیستم اسکارنی، فعالیت Fe^{+2} افزایش یافته که کاهش فعالیت Mg را در محیط به‌دنبال داشته است و سبب تشکیل کلینوپیروکسن فروسالیته شده است. این افزایش فعالیت Fe^{+2} متناسب با کاهش گریزندگی اکسیژن طی دگرگونی اسکارن است. ترکیب شیمیایی انواع گارنت‌های سرانجیک قروه نشان می‌دهد که ترکیب گارنت تابع ساده‌ای از فاصله نسبت به توده نفوذی نیست، اما دست کم می‌تواند بازتابی از مسیرهای جریان سیال باشد. از این‌رو، ترکیب گارنت‌ها در اسکارن سرانجیک قروه متناسب با زمان و نزدیکی به منبع سیال متغیر است.

افزایش درصد مولی هیدرژیت و ژوهانسنیت و در نتیجه کاهش درصد مولی دیوپسید در کلینوپیروکسن و نیز افزایش درصد مولی آندرادیت و کاهش درصد مولی آلماندین+اسپسارتین در گارنت ارتباط مستقیمی با پهنه‌های شیلیت‌دار دارد، به‌طوری‌که پهنه‌های دربردارنده گارنت با درصد مولی بالایی از آلماندین (گارنت نوع III) فاقد هرگونه کانی شیلیت است. چنین ارتباطی در اسکارن مورد بررسی می‌تواند راهنمای اکتشافی برای پهنه‌های شامل شیلیت باشد.

ترکیب نسل‌های گوناگون کلینوپیروکسن و گارنت در اسکارن سرانجیک قروه نشان‌دهنده روند دگرگونی اسکارن پیشرونده از

شرایط نسبتاً اکسایشی تا نسبتاً کاهش‌ی و گریزندگی اکسیژن معادل با ۱۸- تا ۳۰- است.

قدردانی

نویسندگان از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور به خاطر حمایت مالی در انجام طرح پژوهشی به شماره ۹۱۰۵۸۰۵۲ تشکر و قدردانی می‌نمایند.

مراجع

- [1] Cepedal A., Martin-Izard A., Reguilón R., Rodríguez-Pevida L., Spiering, E., González-Nistal S., "Origin and evolution of the calcic and magnesian skarns hosting the El Valle-Boinás copper-gold deposit, Asturias (Spain)", *Journal of Geochemical Exploration* 71 (2000) 119–151.
- [2] Ciobanu C.L., Cook N.J., "Skarn textures and a case study: the Ocna de Fier-Dognecea orefield, Banat, Romania", *Ore Geology Review* 24 (2004) 315–370.
- [3] Grammatikopoulos T.A., Clark A.H., "A comparative study of wollastonite skarn genesis in the Central Metasedimentary Belt, southeastern Ontario, Canada", *Ore Geology Review* 29 (2006) 146–161.
- [4] Meinert L.D., "Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization", *Mineralogical Association of Canada, Short Course Series* (1995) 23pp. 401–418.
- [5] Lehrmann B., Oliver N.H., Rubenach M.J., Georges C., "The association between skarn mineralisation and granite bodies in the Chillagoe region, North Queensland, Australia", *Journal of Geochemical Exploration* 101 (2009) 58.
- [6] Meinert L.D., Dipple G.M., Nicolescu S., "World skarn deposits", *Society of Economic Geologists, Economic Geology 100th Anniversary* (2005) 299–336.
- [7] Einaudi M.T., Burt D.M., "Introduction-terminology, classification, and composition of skarn deposits", *Economic Geology* 77 (1982) 745–754.
- [8] Gaspar M., Knaack C., Meinert L.D., Moretti R., "REE in skarn systems: a LA-ICP-MS study of garnets from the Crown Jewel gold deposit", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72 (2008) 185–205.
- [9] Gao Y.B., Li W.Y., Qian B., Li D.S., He S.Y., Zhang Z.W., Zhang J.W., "Geochronology, geochemistry and Hf isotopic compositions of the

Iran: Evidence for Late Jurassic arc-continent collision", Lithos 216-217 (2015) 178-195.

[20] Azizi H., Asahara Y., "Juvenile granite in the Sanandaj-Sirjan zone, NW Iran: Late Jurassic-Early Cretaceous arc-continent collision", International Geology Review 55 (2013) 1523-1540.

[21] Mahmoudi S., Corfu F., Masoudi F., Mehrabi B., Mohajjel M., "U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran", Journal of Asian Earth Science 41 (2011) 238-249.

[22] Dick L.A., Hodgson C.J., "The MacTung W-Cu(Zn) contact metasomatic and related deposits of the northeastern Canadian Cordillera", Economic Geology 77 (1982) 845-867.

[23] Steven N.M., Moore J.M., "Pan-African tungsten skarn mineralization at the Otjua prospect, Central Namibia", Economic Geology 89 (1993) 1431-1453.

[24] Newberry R.J., "Tungsten-bearing skarns of the Sierra Nevada, The Pine Creek Mine, California", Economic Geology 77 (1982) 823-844.

[25] Zaw K., Singoyi B., "Formation of magnetite-scheelite skarn mineralization at Kara, northwestern Tasmania: Evidence from mineral chemistry and stable isotopes", Economic Geology 95 (2000) 1215-1230.

[26] Orhan A., "Evolution of the Mo-rich scheelite skarn mineralization at Kozbudaklar, Western Anatolia, Turkey: Evidence from mineral chemistry and fluid inclusions", Ore Geology Review 80 (2017) 141-165.

[27] Zaw K., "The CanTung E-Zone orebody, tungsten, Northwest Territories: A major scheelite skarn deposit", M.Sc. thesis, Queen's University, Kingston, Ontario, Canada (1976) 327 p. (unpublished).

[28] Kwak T.A.P., Tan T.H., "The geochemistry of zoning in skarn minerals at the King Island (Dolphin) mine", Economic geology 76 (1981) 468-497.

[29] Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J., "Skarn deposits", Society of Economic Geologists, Economic Geology 75th Anniversary (1981) 317-391.

[30] Berger J., Femenias O., Mercier J.C.C., Demaiffe D., "Ocean floor hydrothermal metamorphism in Limousin ophiolites (Western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker", Journal of Metamorphic geology 23 (2005) 795-812.

granitic rocks related with iron/mineralization in Yemaquan deposit, East Kunlun, NW China", Acta Petrolle Sinica 30 (2014) 1647-1665 (in Chinese with English abstract).

[10] Somarin A.K., "Garnet composition as an indicator of Cu mineralization: evidence from skarn deposits of NW Iran", Journal of Geochemical Exploration 81 (2004) 47-57.

[11] Liu J.N., Feng C.Y., Zhao Y.M., Li D.X., Xiao Y., Zhou J.H., Ma Y.S., "Characteristics of intrusive rock, metasomatites, mineralization and alteration in Yemaquan skarn Fe-Zn polymetallic deposit, Qinghai Province", Mineral Deposits 32 (2013) 77-93 (in Chinese with English abstract).

[12] Zhai D.G., Liu J.J., Zhang H.Y., Wang J.P., Su, L., Yang, X.A., Wu S.H., "Origin of oscillatory zoned garnets from the Xieertala Fe-Zn skarn deposit, northern China: in situ LA-ICP-MS evidence", Lithos 190 (2014) 279-291.

[13] Arai H., "A function for the R programming language to recast garnet analyses into end-members: Revision and porting of Muhling and Griffin's method", Computer and Geoscience 36 (2010) 406-409.

[14] Yavuz F., "WinPyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry", American Mineralogists 98 (2013) 1338-1359.

[15] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran", Journal of Asian Earth Sciences, 21 (2003) 397-412.

[16] Dilek Y., Imamverdiyev N., Altunkaynak S., "Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint", International Geology Review 52 (2010) 536-578.

[17] Hosseini M., "Geological map of Qorveh", Geological Survey of Iran, scale 1:100000 (1999).

[18] Azizi H., Mohammadi K., Asahara Y., Tsuboi M., Daneshvar N., Mehrabi B., "Strongly peraluminous leucogranite (Ebrahim-Attar granite) as evidence for extensional tectonic regime in the Cretaceous, Sanandaj-Sirjan zone, northwest Iran", Chemie der Erde 76 (2016) 529-541.

[19] Azizi H., Zanjefili-Beiranvand M., Asahara Y., "Zircon U-Pb ages and petrogenesis of a tonalite trondhjemite-granodiorite (TTG) complex in the northern Sanandaj-Sirjan zone, northwest

- M.Sc. thesis, University of Utah, (1980) 154 pp (Unpublished).
- [40] Hochella JR. M.F., Liou J.G., Keskinen M.J., Kim H.S., "Synthesis and stability relations of magnesium idocras", *Economic Geology* 77 (1982) 798-808.
- [41] Dobson D.C., "Geology and alteration of the Lost River tin-tungsten-fluorine deposit, Alaska", *Economic Geology* 77 (1982) 1033-105.
- [42] Shimazaki H., "Grossular-spessartine-almandine garnets from some Japanese scheelite skarns", *Canadian Mineralogist* 15 (1977) 74-80.
- [43] Burton J.C., Taylor L.A., Chou I.M., "The f_{O_2} -T and f_{S_2} -T stability relations of hedenbergite and of hedenbergite-johannsenite solid solutions", *Economic Geology* 77 (1982) 764-783.
- [44] Liou J.G., "Synthesis and stability relations of epidote, $Ca_2Al_2FeSi_3O_{12}(OH)$ ", *Journal of Petrology* 14 (1973) 381-41.
- [45] Moecher D.P., Chou I.M., "Experimental investigation of andradite and hedenbergite equilibria employing the hydrogen sensor technique, with revised estimates of ΔfG^0 m, 298 for andradite and hedenbergite", *American Mineralogists* 75 (1990) 1327-1341.
- [46] Haas J.L., Robie R.A., "Thermodynamic data for wustite, $Fe_{0.947}O$ magnetite, Fe_3O_4 , and hematite, Fe_2O_3 ", *American geophysics Union Trans.* 54 (1973) 488.
- [47] Simon G., Kesler S.E., Essene E.J., Chrysosoulis S.L., "Gold in porphyry copper deposits: experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400° to 700 °C", *Economic Geology* 95 (2000) 259-270.
- [31] Nakano T., "Fluctuation model for compositional heterogeneity of skarn clinopyroxenes", *Geochemical Journal* 23 (1989) 91-99.
- [32] Nakano T., "An antipathetic relation between the hedenbergite and johannsenite components in skarn clinopyroxene from the Kagata tungsten deposit, Central Japan", *Canadian Mineralogist* 29 (1991) 427-434.
- [33] Sheikhi F., Alaminia Z., Tabakh-Shabani A.A. "Seranjic skarn geothermometry, SW Ghorveh, Kurdistan, Iran", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 20 (2012) 343-355 (in Persian with English abstract).
- [34] Meinert L.D., Hedenquist J.W., Satoh H., Matsuhisa Y., "Formation of anhydrous and hydrous skarn in Cu-Au ore deposits by magmatic fluids", *Economic Geology* 98 (2003) 147-156.
- [35] Kwak T.A.P., "Fluid inclusions in skarns (carbonate replacement deposits)", *Journal of Metamorphic Geology* 4 (1986) 363-384.
- [36] Greenwood H.J., "Wollastonite: Stability in H_2O - CO_2 mixtures and occurrence in a contact-metamorphic aureole near Salmo, British Columbia, Canada", *American Mineralogy* 52 (1967) 1669-1680.
- [37] Newton R. C., "Some calc-silicate equilibrium relations", *American journal of science*, 264 (1966) 204-222.
- [38] Gordon T.M., Greenwood H.J., "The stability of grossular in H_2O - CO_2 mixtures", *American Mineralogy* 56 (1971) 1674-1688.
- [39] Sweeney M.I., "Geochemistry of garnets from the North Ore shoot, Bingham district, Utah",