



IRANIAN SOCIETY of
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

Vol. 13, No. 2, 1384/2005 Fall & Winter

IRANIAN JOURNAL OF
CRYSTALLOGRAPHY
and MINERALOGY

The compositional zoning of garnet in eclogites from North of Shahrekord, Sanandaj – Sirjan Zone, Iran

A. R. Davoudian Dehkordi¹, M. Khalili¹, I. Noorbehsh¹, M. Mohajjel²,

1- Department of Geology, Esfahan University, Iran.

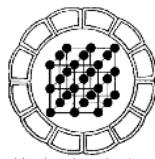
2- Dept. of Geology, Tarbiat Moares Univ., Iran.

Email:a_davoudian@yahoo.com

(Received: 27/01/2005, received in revised form: 11/07/2005)

Abstract: The metabasite rocks from north of Shahrekord, which is a part of structural zone of Sanandaj-Sirjan, are undergone medium temperature – high pressure metamorphism (eclogite facies). These rocks then were subjected to a retrograde metamorphism (amphibolite facies). A distinct compositional zoning is preserved in fresh garnets which are formed during eclogite facies. The compositional or growth zoning in these eclogite rocks shows clockwise P-T-t path. In the beginning of metamorphism, P and T increased up to reach to the peak of high pressure metamorphism, then P decreased while the T was increasing during uplift and decompression. These growth stages indicate that P_{max} was not contemporaneous with T_{max} during eclogite facies metamorphism of the metabasites from North of Shahrekord, in Sanandaj - Sirjan Zone.

Keywords: Eclogite, Garnet, Compositional Zoning, P-T path, Sanandaj-Sirjan Zone.



زونینگ ترکیبی بلورهای گارنت در اکلوژیت‌های شمال شهرکرد، زون سنندج – سیرجان

علیرضا داوودیان دهکردی^۱، محمود خلیلی^۱، ایرج نوربهشت^۱، محمد محجل^۲

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

پست الکترونیک: a_davoudian@yahoo.com

(دریافت مقاله ۱۳۸۳/۱۱/۷ ، دریافت نسخه نهایی ۱۳۸۴/۴/۲۰)

چکیده: سنگ‌های متابازیت شمال شهرکرد که بخشی از کمریند دگرگونی زمین‌ساختی سنندج – سیرجان محسوب می‌شود، در معرض دگرگونی درجه بالا رخساره اکلوژیت قرار گرفته و سپس دستخوش یک دگرگونی قهقرایی رخساره آمفیبولیت شده‌اند. یک منطقه‌بندی یا زونینگ ترکیبی مشخصی در بلورهای گارنت سالم انواعی از این سنگ‌ها که طی دگرگونی رخساره اکلوژیت تشکیل شده‌اند، محفوظ مانده است. این زونینگ ترکیبی یا رشدی یک مسیر P-T-t ساعتگرد را نشان می‌دهد، یعنی در آغاز P و T دگرگونی در سنگ افزایش یافته تا به شرایط اوج دگرگونی فشار بالا رسیده‌اند و سپس فشار شروع به کاهش کرده، در حالیکه T همچنان افزایش یافته است. بنابراین طی مرحله کاهش فشار و بالا آمدن سنگ دما همچنان رو به افزایش بوده است. این مراحل رشد، بیانگر همزمان نبودن بیشینه دما و بیشینه فشار حین تشکیل سنگ‌های اکلوژیتی شمال شهرکرد به عنوان بخشی از زون سنندج – سیرجان است.

واژه‌های کلیدی: اکلوژیت، گارنت، زونینگ ترکیبی، مسیر P-T-t زون سنندج – سیرجان.

مقدمه

یکی از اهداف سنگ‌شناسهای دگرگونی بازسازی شرایط فشار و دما است که سنگ مورد مطالعه تحمل کرده است. با استفاده از جمع‌آوری چنین اطلاعاتی از سنگ‌ها، این امکان فراهم می‌آید تا نرخ‌های تدفین و بالا آمدن^۱ را علاوه بر نرخ‌های گرمشدن و سرد شدن را در بخشی از پوسته بازسازی کنیم. در زون دگرگونی سنندج – سیرجان تاکنون بررسی‌های جامعی در این خصوص صورت نگرفته است. در حال حاضر با پیدایش سنگ‌های رخساره اکلوژیت در شمال شهرکرد و به ویژه با مطالعه بلورهای گارنت این سنگ‌ها، می‌توان نکات علمی تازه‌ای را در این مورد مطرح کرد.

گارنت به واسطهٔ ترکیب خود به همراه کانی‌های مناسب دیگر به عنوان یک ژئوتربورومتر (زمین دما – فشار سنج) خوب مطرح است [۱]. به همین منظور می‌توان بلورهای سالم گارنت را که فاقد شکستگی باشند انتخاب کرد و با استفاده از دستگاه الکترون مایکروپرورب مورد مطالعه قرار داد. همچنین تحرک کند کاتیون‌های عناصر اصلی و کمیاب در گارنت به این معناست که فرایندهایی نظیر تفکیک جز به جز^۲ در طی رشد، هم رشدی و واکنش در حاشیه کانی می‌تواند منتهی به نیمرخ‌های ترکیبی مشخصی شود [۱]. در این بررسی بلورهای گارنت در اکلوژیت‌های شمال شهرکرد تجزیه نقطه‌ای شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که یک منطقه‌بندی ترکیبی مشخصی در بلورهای گارنت که در طی دگرگونی در دمای متوسط و فشار بالای رخساره اکلوژیت رشد کرده‌اند، وجود دارد.

موقعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی اکلوژیت‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه از نظر جغرافیایی در شمال شهرکرد، جنوب داران و در غرب شهر اصفهان واقع شده است (شکل ۱) و بخشی از زون زمین‌ساختی سنندج – سیرجان بوده و در فاصلهٔ ۵۰ کیلومتری از تراست اصلی زاگرس قرار دارد. این منطقه یک پهنهٔ برشی بزرگ بوده و بیشتر شامل سنگ‌های دگرگونی و دگرشکل شده متنوعی نظیر شیست، گنایس، آمفیبولیت، مرمر، گرانیت دگرشکل شده، متادولریت و اکلوژیت بوده که درجات متفاوتی از دگرگونی و دگرشکلی را نشان می‌دهند (شکل ۲).

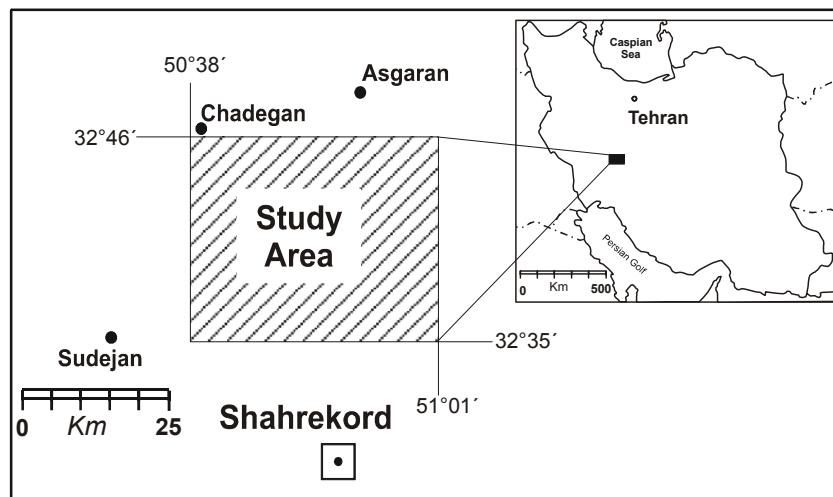
سنگ‌های اکلوژیت در اطراف دریاچه سد زاینده‌رود و در دره گزستان نزدیک روستای صادق آباد رخمنون یافته‌اند (شکل ۲). این مناطق در واقع بخش‌هایی از پهنهٔ برشی^۳ نوعی بوده که دارای آثار دگرشکلی شکل پذیر و میلیونیتیزاسیون گسترده هستند. بیشتر سنگ‌های

1- Exhumation

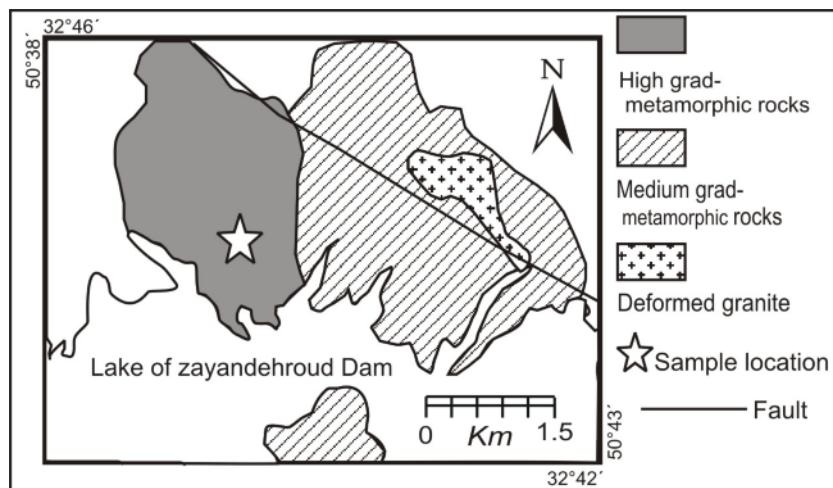
2- Fractionation

3- Shear zone

این ناحیه آثار بارزی از برگواره‌ها و خطواره‌ها را نشان می‌دهند، و در برخی از آنها می‌توان شواهدی از تأثیر چند فاز دگرگشکلی را ملاحظه کرد. در واقع رخنمون این سنگ‌های با فشار بالای اکلوژیتی تشکیل شده در اعمق را، در سطح زمین را می‌توان ناشی از عملکرد این پهنه برشی بزرگ دانست [۲]. تودهای اکلوژیت که در منطقه شمال دریاچه زاینده رود رخنمون شده‌اند، معمولاً به صورت نوارها و بلوک‌ها و نیز به صورت عدسی‌هایی درون تودهای گنایس‌های کوارتز - فلدسپاتی دیده می‌شوند. به طور کلی حضور آنها در ناحیه‌ای به وسعت ۹ کیلومتر مربع گسترده بوده ولی بیشتر نمونه‌ها دارای آثاری از دگرگونی قهقرایی هستند، به همین دلیل یافتن نمونه‌های سالم کمی دشوار است [۲].



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه مورد نمونه‌برداری اکلوژیت‌ها

ترکیب کانی‌شناسی اولیه و مجموعه کانیایی اصلی اوج دگرگونی اکلوژیت‌ها عبارتست از: گارنت + امفاسیت + آمفیبیول‌های باروئیزیت و منیزیوتارامیت + فنژیت + کوارتز + روتیل + پیریت + مگنتیت + زوئیزیت + کوارتز ± پاراگونیت ± دولومیت. اکلوژیت‌هایی که طی دگرگونی پسروندۀ به گارنت آمفیبولیت تبدیل شده‌اند، دارای ترکیب کانی‌شناسی گارنت، آمفیبیول ثانویه نظیر چرم‌ماکیت (حاصل مراحل اولیه برگشت امفاسیت)، پلازیوکلاز، روتیل، هماتیت، مگنتیت، ایلمنیت، زوئیزیت، کلینوزوئیزیت و کوارتز هستند. در واقع کانی‌های امفاسیت، پلازیوکلاز، هماتیت و ایلمنیت به همراه کلینوزوئیزیت مربوط به مرحله دگرگونی پسروندۀ هستند. آمفیبیول چرم‌ماکیت خاص سنگ‌های با درجه دگرگونی بالا نظیر کیانیت آمفیبولیت‌ها بوده و از طرف دیگر در اکلوژیت‌های دستخوش دگرگونی پسروندۀ نیز عمومیت دارد، که در این حالت حاصل امفاسیت در مراحل اولیه دگرگونی قهقهه‌ای است [۳].

برخی از اکلوژیت‌های اولیه دستخوش دگرگونی پسروندۀ بسیار شدیدی شده‌اند و لذا به سختی می‌توان ماهیت اولیه آنها را شناسایی کرد، و فقط در صورت نمونه‌برداری‌های گستردۀ مشاهده حالت‌های میانگین است که می‌توان این موضوع را استنباط کرد. در برخی از این سنگ‌های تحول یافته کلریت جانشین آمفیبیول و سایر کانی‌های سنگ شده است و بنابراین آثار سنگ اولیه به کلی محو شده است.

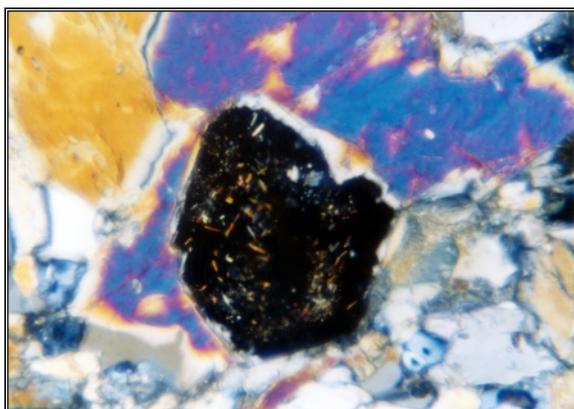
سنگ‌شناسی بلورهای گارنت

برخی از بلورهای گارنت مورد مطالعه دارای درونگیرهای فراوانی از سایر کانی‌ها هستند. به ویژه فراوانی بلورهای روتیل و فنژیت در بلورهای بخش‌های حاشیه‌ای گارنت بیانگر این نکته مهم است که این بخش از گارنت‌ها به واسطه در برگرفتن کانی‌های رخسارۀ اکلوژیت (یعنی فنژیت و روتیل) در شرایط رخساره اکلوژیت رشد کرده‌اند (شکل ۳ و ۴). شناسایی میکای فنژیت از آنالیزهای الکترون مایکروپریوب انجام شده‌است. علاوه بر دو کانی یاد شده، گارنت دارای بلورهای دیگری نظیر آمفیبیول، زوئیزیت و کوارتز به صورت درونگیر هستند.

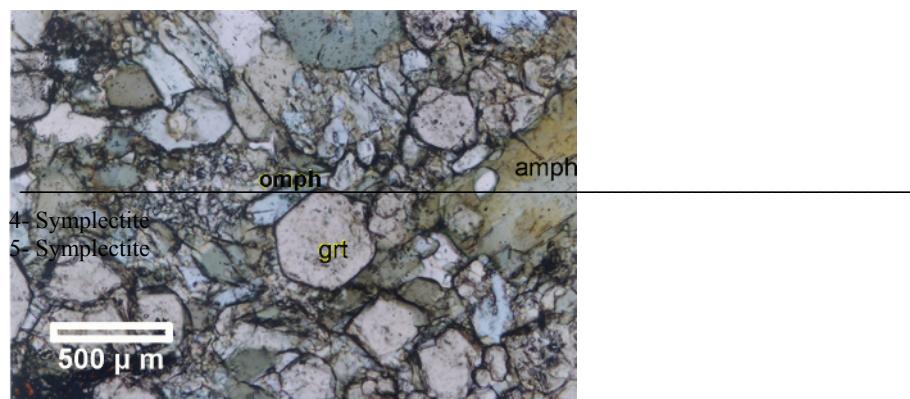
به طور کلی بلورهای گارنت اکلوژیت‌های منطقه مورد مطالعه همچون سایر کانی‌های موجود در این سنگ‌ها ریز بلور بوده (حدود ۰/۵ میلیمتر) که علت آن را می‌توان به دگرشکلی نسبت داد، به گونه‌ای که در اکلوژیت‌های کمتر دگر‌شکل شده اندازه بلورها درشت‌تر است [۴].

قابل ذکر است که بلورهای گارنت از لحاظ اندازه با سایر کانی‌های سنگ متناسب‌اند و تفاوت چندانی با اندازه بلورهای امفاسیت و آمفیبول ندارند (شکل ۴). سنگ‌های اکلوژیت دارای رگه‌هایی هستند که متشکل از گارنت، کوارتز و گاهی زوئیزیت هستند. بلورهای گارنت در این رگه‌ها به مراتب درشت‌تر از گارنت‌های متن سنگ هستند. این رگه‌ها در مراحل نهایی تکوین سنگ‌های اکلوژیت شمال شهرکرد شکل گرفته‌اند.

در نمونه‌های اکلوژیت سالم و بدون آثاری از بافت‌های سیمپلکتیت^۴ و کانی‌های حاصل از دگرگونی پسروند، بلورهای گارنت دارای شکل‌های کاملاً خود شکل بوده و دارای حاشیه‌های صاف و بدون واکنش با کانی‌های مجاور مربوط به رخساره اکلوژیت (به ویژه امفاسیت) هستند و اغلب دارای اشکال شش‌گوش‌اند (شکل ۴). مرزهای پایدار گارنت با کانی امفاسیت که صرفاً در رخساره اکلوژیت تشکیل می‌شود، یکی دیگر از شواهد تشکیل بخش بزرگی از حاشیه این بلورهای گارنت در شرایط رخساره اکلوژیت است (شکل ۴). در نمونه‌های اکلوژیت سالم و بدون آثاری از بافت‌های سیمپلکتیت^۵ و کانی‌های حاصل از دگرگونی پسروند، بلورهای گارنت دارای شکل‌های کاملاً خود شکل بوده و دارای حاشیه‌های صاف و بدون واکنش با کانی‌های مجاور مربوط به رخساره اکلوژیت (به ویژه امفاسیت) هستند و اغلب دارای اشکال شش‌گوش‌اند (شکل ۴).



شکل ۳ حضور بلورهای تیغه‌ای فنریت به همراه کوارتز بصورت درونگیر در گارنت یک نمونه اکلوژیت‌های منطقه مورد مطالعه، طول عکس برابر با ۲,۵ میلیمتر، xpl.



شکل ۴ مرزهای پایدار بین گارنت و امفاسیت، طول عکس ۲/۷ میلیمتر، ppl.

grt: garnet,
amph: amphibole,
omph: omphacite

مرزهای پایدار گارنت با کانی امفاسیت که صرفاً در رخساره اکلوژیت تشکیل می‌شود، یکی دیگر از شواهد تشکیل بخش بزرگی از حاشیه این بلورهای گارنت در شرایط رخساره اکلوژیت است (شکل ۴). در اکلوژیت‌هایی از این منطقه مورد مطالعه که دستخوش دگرگونی پسروندۀ شدید شده‌اند، بلورهای گارنت خود سکل نبوده و بیشتر به صورت نیمه شکل دار و گاهی نیز کاملاً بی‌شكل و گرد شده‌اند. در این اکلوژیت‌ها گرداگرد بلورهای گارنت را بلورهای آمفیبول مربوط به شرایط دگرگونی پس از رخساره اکلوژیت فرا می‌گیرد که دارای پلئوکروئیسم شدید سبز - آبی هستند؛ که بیان کننده شرایط دگرگونی رخساره آمفیبولیت پس از اکلوژیت است. بلورهای گارنت این دسته از اکلوژیت‌ها دارای شکستگی‌های موازی و منظمی هستند که تحت تأثیر عملکرد دگرشکلی ایجاد شده‌اند (شکل ۵).

در این سنگ‌ها تبدیل بلورهای گارنت به کلریت به ندرت دیده می‌شود و عموماً بلورهای گارنت به میزان متفاوتی زوئیزیتی شده‌اند. در این حالت گسترش زوئیزیت درون گارنت بیشتر بصورت خطی و شکافتی است.

تقسیم‌بندی اکلوژیت‌ها بر مبنای ترکیب گارنت

مهم‌ترین تقسیم‌بندی اکلوژیت‌ها که کولمن و همکاران [۵] ارایه کرده‌اند، بر پایه ترکیب گارنت است، به گونه‌ای که در این تقسیم‌بندی اکلوژیت‌ها به سه گروه زیر رده بندی می‌شوند: گروه A: اکلوژیت‌های همراه با سنگ‌های الترامافیک که از خاستگاهشان مانتل است.

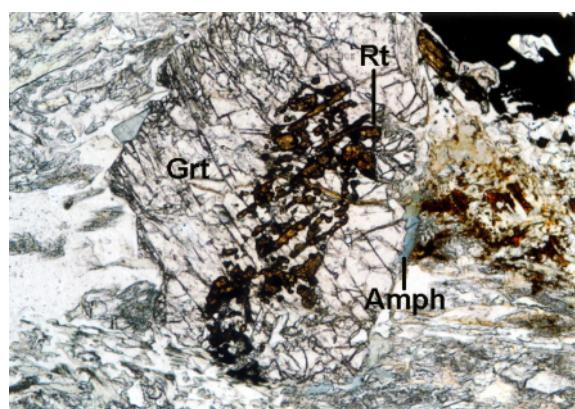
گروه B: اکلوژیت‌های همراه با گنایس‌ها و شیستهای دگرگونی درجه بالا.

گروه C: اکلوژیت‌های با فشار بالا همراه با گلوكوفان شیستهای در مناطق فرورانش.

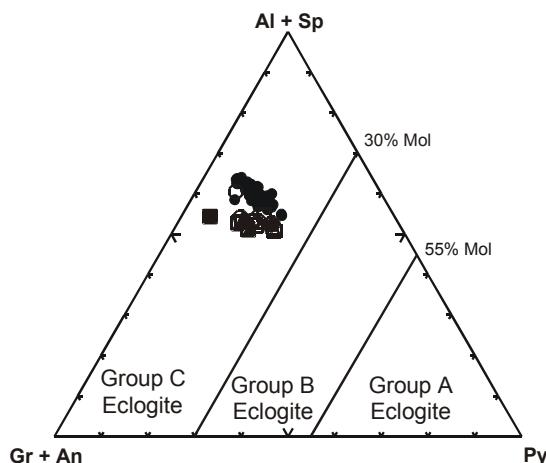
بلورهای گارنت در اکلوژیت‌های شمال شهرکرد همگی در محدوده گروه C قرار می‌گیرند که مربوط به مناطق فرورانش هستند [۶] (شکل ۶). فقدان همراهی شیستهای آبی در منطقه مورد مطالعه و در عوض همراهی این سنگ‌های با فشار بالا با سنگ‌های رخساره آمفیبولیت احتمالاً نشان دهنده یک مسیر بالا آمده در شرایط دمای متوسط تا بالا بوده است. نظیر این پدیده از بسیاری نقاط دنیا گزارش شده است، که در این مورد به ویژه می‌توان به اکلوژیت‌های پنجره زمین‌ساختی تورن در آلپ اشاره کرد [۶].

روشهای بررسی

در این بررسی نمونه سنگ‌های اکلوژیت سالم و با حداقل آثار سیر قهقرایی انتخاب شدند و در هر کدام از آنها یک یا دو بلور نسبتاً سالم گارنت مورد آنالیز الکترون مایکروپروب در شرایط ۱۵ کیلو ولت قرار گرفته‌اند. برای این مطالعه از حاشیه به سمت هسته و سپس به حاشیه، تعداد زیادی نقطه با فواصل مشخص آنالیز شده‌اند. آنالیز‌های الکترون مایکروپروب گارنت با یک سیستم JEOL-JX8600 (بیناب سنج، بلورهای LiF, PET, TAP) در گروه زمین‌شناسی دانشگاه سالزبورگ اطربیش در شرایط ۱۵ kV و ۱۰ ثانیه زمان شمارش انجام شد.



شکل ۵ حضور بلورهای روتیل در یک گارنت دارای شکستگی‌های منظم و حضور بلورهای آمفیبول سیز-آبی در حاشیه آن، طول عکس برابر با ۲ میلیمتر،
Amph: Amphibole,
Grt: Garnet,
Rt: Rutile



شکل ۶ ترکیب بلورهای گارنت اکلوژیت‌های شمال شهرکرد روی نمودار تقسیم‌بندی اکلوژیت‌ها که توسط کولمن و همکاران [۵] ارایه شده است.

بلورهای طبیعی کوارتز، گارنت، ولاستونیت، پیرولوزیت و روتیل علاوه بر MgO , Al_2O_3 و Fe سنتزی به عنوان استاندارد استفاده شدند. دقت تجزیه نقطه‌ای برابر با یک مول درصد عضو انتهایی گارنت است. آنالیز کانی‌ها با نرم‌افزار کامپیوترا PET [۷] محاسبه شده‌اند و محاسبه مقادیر Fe^{+3} بر مبنای ملاحظات عنصرسنجی ارایه شده توسط دروب [۸] صورت گرفت.

بحث و بررسی

در این تجزیه نقطه‌ای گارنت‌ها، یک نمونه که دارای زنینگ شاخص‌تری بود برای تحلیل و بررسی‌های بیشتر انتخاب شد. در این بلور گارنت، نقاط آنالیز شده در امتداد نیمرخ ترکیبی به فاصله ۱۲ میکرومتر از یکدیگر بوده و تعداد ۳۱ نقطه مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند برای تهییه نیمرخ، اندازه‌گیری از حاشیه گارنت شروع و پس از گذر از هسته به حاشیه دیگر ختم شده است (جدول ۱).

جدول ۱ آنالیزهای الکترون مایکروپرتو از کانی گارنت اکلوژیت شمال شهرکرد (به ترتیب از حاشیه به هسته و بعد به حاشیه دیگر) با فواصل معین ۱۲ میکرون متر از یکدیگر.

Label	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Total
gt-1	۷۸,۹	,۰,۱	۲۲,۱	۲۴,۸	,۰,۴	,۲,۸	۱۰,۳	,۰,۰	۱۰۱,۴
gt-2	۷۸,۳	,۰,۱	۲۱,۸	۲۶,۲	,۰,۴	,۳,۶	۱۰,۷	,۰,۰	۱۰۱,۳
gt-3	۷۷,۶	,۰,۱	۲۱,۵	۲۶,۶	,۰,۳	,۲,۱	۱۰,۸	,۰,۱	۱۰۰,۱
gt-4	۷۸,۲	,۰,۱	۲۱,۶	۲۷,۰	,۰,۳	,۲,۱	۱۰,۷	,۰,۰	۱۰۱,۰
gt-5	۷۸,۰	,۰,۱	۲۱,۴	۲۷,۱	,۰,۴	,۲,۸	۱۱,۱	,۰,۰	۱۰۰,۸
gt-6	۷۸,۰	,۰,۱	۲۱,۵	۲۶,۷	,۰,۳	,۲,۹	۱۱,۲	,۰,۰	۱۰۰,۸
gt-7	۷۸,۴	,۰,۱	۲۱,۶	۲۶,۶	,۰,۴	,۲,۹	۱۱,۵	,۰,۰	۱۰۱,۳
gt-8	۷۸,۸	,۰,۱	۲۱,۵	۲۶,۵	,۰,۳	,۳,۲	۱۰,۷	,۰,۰	۱۰۰,۵
gt-9	۷۸,۰	,۰,۱	۲۱,۸	۲۶,۱	,۱,۲	,۲,۸	۱۱,۰	,۰,۰	۱۰۱,۱
gt-10	۷۷,۸	,۰,۱	۲۱,۵	۲۷,۹	,۰,۹	,۲,۱	۱۱,۰	,۰,۰	۱۰۱,۴
gt-11	۷۷,۴	,۰,۱	۲۱,۲	۲۷,۲	,۱,۳	,۲,۰	۱۰,۹	,۰,۰	۱۰۰,۰
gt-12	۷۸,۲	,۰,۲	۲۱,۰	۲۷,۵	,۱,۸	,۱,۷	۱۱,۳	,۰,۰	۱۰۲,۲
gt-13	۷۷,۳	,۰,۲	۲۱,۰	۲۶,۲	,۲,۶	,۱,۵	۱۱,۵	,۰,۰	۱۰۰,۷
gt-14	۷۷,۰	,۰,۲	۲۱,۴	۲۵,۱	,۳,۳	,۱,۲	۱۲,۰	,۰,۰	۱۰۰,۷
gt-15	۷۷,۷	,۰,۲	۲۱,۰	۲۵,۴	,۳,۰	,۱,۲	۱۲,۰	,۰,۰	۱۰۱,۰
gt-16	۷۷,۱	,۰,۲	۲۱,۲	۲۵,۲	,۲,۰	,۱,۰	۱۱,۹	,۰,۰	۱۰۱,۲
gt-17	۷۷,۳	,۰,۱	۲۱,۱	۲۶,۷	,۴,۱	,۱,۰	۱۱,۷	,۰,۰	۱۰۰,۱
gt-18	۷۸,۱	,۰,۱	۲۱,۱	۲۵,۰	,۳,۹	,۱,۳	۱۱,۵	,۰,۰	۱۰۲,۰
gt-19	۷۲,۹	,۰,۱	۱۸,۹	۲۴,۴	,۳,۰	,۱,۴	۱۱,۲	,۰,۰	۹۲,۵
gt-20	۷۸,۰	,۰,۲	۲۱,۱	۲۵,۲	,۲,۸	,۱,۸	۱۱,۷	,۰,۰	۱۰۱,۲
gt-21	۷۸,۸	,۰,۱	۲۲,۲	۲۵,۰	,۲,۴	,۲,۲	۱۱,۵	,۰,۱	۱۰۱,۳
gt-22	۷۷,۹	,۰,۲	۲۱,۰	۲۶,۱	,۲,۴	,۲,۰	۱۱,۴	,۰,۰	۱۰۱,۸
gt-23	۷۷,۴	,۰,۲	۲۱,۰	۲۵,۹	,۱,۸	,۲,۱	۱۱,۰	,۰,۰	۹۹,۶
gt-24	۷۸,۰	,۰,۱	۲۱,۱	۲۵,۸	,۱,۳	,۲,۹	۱۰,۸	,۰,۰	۱۰۰,۵
gt-25	۷۸,۱	,۰,۱	۲۱,۰	۲۷,۰	,۱,۰	,۲,۸	۱۱,۱	,۰,۰	۱۰۲,۲
gt-26	۷۷,۹	,۰,۱	۲۱,۰	۲۶,۳	,۰,۸	,۲,۷	۱۱,۱	,۰,۰	۱۰۰,۴
gt-27	۷۸,۰	,۰,۱	۲۱,۱	۲۶,۷	,۰,۷	,۲,۳	۱۱,۷	,۰,۰	۱۰۱,۱
gt-28	۷۷,۹	,۰,۲	۲۱,۱	۲۶,۹	,۰,۴	,۲,۰	۱۱,۵	,۰,۰	۱۰۱,۰
gt-29	۷۷,۸	,۰,۲	۲۱,۹	۲۶,۳	,۰,۳	,۳,۰	۱۱,۴	,۰,۰	۱۰۰,۸
gt-30	۷۸,۳	,۰,۱	۲۱,۰	۲۶,۲	,۰,۴	,۳,۴	۱۱,۱	,۰,۰	۱۰۱,۱
gt-31	۷۸,۱	,۰,۱	۲۱,۰	۲۵,۴	,۰,۵	,۳,۷	۱۱,۰	,۰,۰	۱۰۰,۵

FeO*=FeO + Fe₂O₃

ادامه جدول ۱

Label	Si	Ti	Al	Fe ⁺³	Fe ⁺²	Mn	Mg	Ca	Na
gt-1	۲,۹۱۸	,۰,۰۰۰	۱,۹۹۸	,۰,۰۲۰	۱,۰۶۴	,۰,۰۲۳	,۰,۰۴۸	,۰,۸۴۶	,۰,۰۰۴
gt-2	۲,۹۱۹	,۰,۰۰۲	۱,۹۸۹	,۰,۰۷	۱,۶۲۸	,۰,۰۲۸	,۰,۴۱۶	,۰,۸۹	,۰,۰۰۶
gt-3	۲,۹۰۴	,۰,۰۰۴	۱,۹۹۲	,۰,۰۹۸	۱,۶۲۷	,۰,۰۲۱	,۰,۳۶۸	,۰,۹۰۸	,۰,۰۰۸
gt-4	۲,۹۱۸	,۰,۰۰۱	۱,۹۸۲	,۰,۰۵۲	۱,۷۰۵	,۰,۰۲۲	,۰,۳۹	,۰,۸۹۱	,۰,۰۰۲
gt-5	۲,۹۱۶	,۰,۰۰۸	۱,۹۶۹	,۰,۰۸۸	۱,۶۸۲	,۰,۰۲۳	,۰,۳۲۷	,۰,۹۳	,۰,۰۰۶
gt-6	۲,۹۱۸	,۰,۰۰۷	۱,۹۷۹	,۰,۰۷۳	۱,۶۷۱	,۰,۰۲۲	,۰,۳۳۹	,۰,۹۳۸	,۰,۰۰۳
gt-7	۲,۹۱۱	,۰,۰۰۲	۱,۹۷۲	,۰,۰۵۱	۱,۶۷۶	,۰,۰۲۴	,۰,۳۳۲	,۰,۹۵۶	,
gt-8	۲,۹۱۱	,۰,۰۰۵	۱,۹۸۵	,۰,۰۸۴	۱,۶۷۱	,۰,۰۲۳	,۰,۳۷	,۰,۸۹۷	,۰,۰۰۳
gt-9	۲,۹۱۱	,۰,۰۰۶	۲,۰۰۲	,۰,۰۷	۱,۶۳۳	,۰,۰۸۱	,۰,۳۲۴	,۰,۹۱۷	,۰,۰۰۶
gt-10	۲,۹۰۲	,۰,۰۰۱	۱,۹۸۵	,۰,۰۹۹	۱,۷۲۷	,۰,۰۲۲	,۰,۳۴۹	,۰,۹۱۹	,
gt-11	۲,۹۱۷	,۰,۰۰۷	۱,۹۸۱	,۰,۰۷۱	۱,۷۲۲	,۰,۰۸۴	,۰,۳۲۴	,۰,۹۲۴	,
gt-12	۲,۹۱۷	,۰,۰۱	۱,۹۷۲	,۰,۰۷۸	۱,۷۱۱	,۰,۱۱۸	,۰,۳۰۲	,۰,۹۳۸	,۰,۰۰۳
gt-13	۲,۹۱۲	,۰,۰۱	۱,۹۹۶	,۰,۰۹۹	۱,۶۲۹	,۰,۱۷۱	,۰,۱۷۲	,۰,۹۷۵	,۰,۰۰۳
gt-14	۲,۹۱۰	,۰,۰۱	۱,۹۸۹	,۰,۰۶۱	۱,۰۹۲	,۰,۲۱۹	,۰,۱۴۶	,۰,۰۱۱	,۰,۰۰۳
gt-15	۲,۹۰۰	,۰,۰۱۱	۱,۹۸۴	,۰,۰۸۴	۱,۰۸۲	,۰,۲۳۲	,۰,۱۳۹	,۰,۰۱	,۰,۰۰۲
gt-16	۲,۹۰۹	,۰,۰۱۱	۱,۹۷۷	,۰,۰۸۸	۱,۰۸۳	,۰,۲۶۰	,۰,۱۱۹	,۰,۰۰۴	,
gt-17	۲,۹۱۷	,۰,۰۰۸	۱,۹۸۳	,۰,۰۶۰	۱,۰۷۸	,۰,۲۷۸	,۰,۱۱۹	,۰,۹۶۵	,۰,۰۰۲
gt-18	۲,۹۱۶	,۰,۰۰۱	۲,۰۳۲	,۰,۰۲۷	۱,۶۰۵	,۰,۲۰۴	,۰,۱۴۵	,۰,۹۶۲	,۰,۰۰۳
gt-19	۲,۸۹۹	,۰,۰۰۸	۱,۹۱۷	,۰,۳۹۵	۱,۳۶۶	,۰,۲۰۱	,۰,۱۷۳	,۱,۰۴۷	,۰,۰۰۵

gt-20	۲,۹۷۸	۰,۰۱	۱,۹۹	۰,۰۳۶	۱,۶۱۴	۰,۱۸۴	۰,۲۰۶	۰,۹۸	۰
gt-21	۲,۹۴۵	۰,۰۰۸	۲,۰۳۹	۰,۰۶۱	۱,۵۶۵	۰,۱۶۱	۰,۲۵۴	۰,۹۵۸	۰,۰۰۸
gt-22	۲,۹۴۵	۰,۰۰۹	۲,۰۱۵	۰,۰۸	۱,۵۱۶	۰,۱۵۷	۰,۲۲۷	۰,۹۴۷	۰,۰۰۲
gt-23	۲,۹۷۲	۰,۰۰۹	۱,۹۸۶	۰,۰۰۵	۱,۶۶۹	۰,۱۲۳	۰,۲۴۴	۰,۹۳۹	۰,۰۰۳
gt-24	۲,۹۷۸	۰,۰۰۵	۲,۰۰۵	۰,۰۳۱	۱,۶۶۱	۰,۰۸۳	۰,۲۳۳	۰,۹۰۵	۰
gt-25	۲,۹۸۲	۰,۰۰۸	۱,۹۵۸	۰,۰۶۶	۱,۶۷۸	۰,۰۶۵	۰,۲۲۳	۰,۹۱۷	۰,۰۰۳
gt-26	۲,۹۷۵	۰,۰۰۸	۱,۹۸۸	۰,۰۵۱	۰,۶۷۳	۰,۰۵۵	۰,۲۱۵	۰,۹۲۹	۰,۰۰۵
gt-27	۲,۹۶۷	۰,۰۰۸	۱,۹۹۲	۰,۰۶	۱,۶۸۵	۰,۰۴۶	۰,۲۶۳	۰,۹۷۸	۰,۰۰۲
gt-28	۲,۹۵۹	۰,۰۰۹	۱,۹۸۳	۰,۰۸۰	۱,۶۶۸	۰,۰۲۸	۰,۲۹۶	۰,۹۶۳	۰,۰۰۷
gt-29	۲,۹۴۴	۰,۰۰۹	۲,۰۱۱	۰,۰۸۹	۱,۶۲۳	۰,۰۲۲	۰,۲۴۳	۰,۹۵۱	۰,۰۰۶
gt-30	۲,۹۷۳	۰,۰۰۵	۱,۹۷۱	۰,۰۷۶	۱,۶۲۸	۰,۰۲۶	۰,۲۹۲	۰,۹۲۵	۰,۰۰۳
gt-31	۲,۹۶۴	۰,۰۰۱	۱,۹۹۷	۰,۰۶۷	۱,۵۸۹	۰,۰۳	۰,۴۳۱	۰,۹۱۶	۰,۰۰۲

ادامه جدول ۱

Label	X Fe	XMn	X Mg	X Ca	Alm	Sps	Pyp	Grs
gt-1	۰,۵۲	۰,۰۱	۰,۱۸	۰,۲۸	۵۲,۴۷	۰,۷۷	۱۸,۳۸	۲۸,۳۸
gt-2	۰,۵۵	۰,۰۱	۰,۱۴	۰,۳۰	۵۴,۹۶	۰,۹۵	۱۴,۰۴	۳۰,۰۵
gt-3	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۳	۰,۳۱	۵۵,۹۴	۰,۷۱	۱۲,۵۰	۳۰,۸۴
gt-4	۰,۵۷	۰,۰۱	۰,۱۲	۰,۳۰	۵۷,۲۵	۰,۷۴	۱۲,۰۹	۲۹,۹۲
gt-5	۰,۵۷	۰,۰۱	۰,۱۱	۰,۳۱	۵۶,۷۹	۰,۷۸	۱۱,۰۴	۳۱,۴۰
gt-6	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۱	۰,۳۲	۵۶,۲۶	۰,۷۴	۱۱,۴۱	۳۱,۵۸
gt-7	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۱	۰,۳۲	۵۶,۰۹	۰,۸۰	۱۱,۱۱	۳۱,۹۹
gt-8	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۲	۰,۳۰	۵۶,۴۳	۰,۷۸	۱۲,۰۰	۳۰,۲۹
gt-9	۰,۵۵	۰,۰۳	۰,۱۱	۰,۳۱	۵۵,۲۶	۲,۷۴	۱۰,۹۶	۳۱,۰۳
gt-10	۰,۵۸	۰,۰۲	۰,۰۸	۰,۳۱	۵۸,۴۲	۲,۱۰	۸,۴۲	۳۱,۰۸
gt-11	۰,۵۸	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۳۱	۵۸,۲۴	۲,۸۲	۷,۸۷	۳۱,۰۷
gt-12	۰,۵۸	۰,۰۴	۰,۰۷	۰,۳۲	۵۷,۶۳	۳,۹۷	۶,۸۰	۳۱,۰۹
gt-13	۰,۵۵	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۳۳	۵۵,۲۸	۵,۸۰	۵,۸۴	۳۳,۰۸
gt-14	۰,۵۴	۰,۰۷	۰,۰۵	۰,۳۴	۵۳,۶۴	۷,۳۸	۴,۹۲	۳۴,۰۶
gt-15	۰,۵۳	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۳۴	۵۳,۳۹	۷,۸۳	۴,۶۹	۳۴,۰۹
gt-16	۰,۵۳	۰,۰۹	۰,۰۴	۰,۳۴	۵۳,۲۸	۸,۹۲	۴,۰۱	۳۳,۷۹
gt-17	۰,۵۳	۰,۰۹	۰,۰۴	۰,۳۴	۵۳,۱۳	۹,۳۶	۴,۰۱	۳۳,۰۰
gt-18	۰,۵۴	۰,۰۹	۰,۰۵	۰,۳۲	۵۴,۱۱	۸,۵۶	۴,۸۹	۳۲,۴۳
gt-19	۰,۴۸	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۳۷	۴۸,۲۳	۹,۰۴	۶,۱۱	۳۲,۶۲
gt-20	۰,۵۴	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۳۳	۵۴,۰۹	۶,۱۷	۶,۹۰	۳۲,۸۴
gt-21	۰,۵۳	۰,۰۵	۰,۰۹	۰,۳۳	۵۳,۲۷	۵,۴۸	۸,۶۵	۳۲,۶۱
gt-22	۰,۵۵	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۳۲	۵۴,۸۴	۵,۳۳	۷,۷۰	۳۲,۱۳
gt-23	۰,۵۶	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۳۲	۵۶,۱۰	۴,۱۳	۸,۲۰	۳۱,۰۶
gt-24	۰,۵۶	۰,۰۳	۰,۱۱	۰,۳۰	۵۵,۷۰	۲,۷۸	۱۱,۱۷	۳۰,۳۵
gt-25	۰,۵۶	۰,۰۲	۰,۱۱	۰,۳۱	۵۶,۲۵	۲/۱۸	۱۰,۸۳	۳۰,۷۴
gt-26	۰,۵۶	۰,۰۲	۰,۱۱	۰,۳۱	۵۶,۲۹	۱,۸۰	۱۰,۷۰	۳۱,۲۶
gt-27	۰,۵۷	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۳۳	۵۶,۷۰	۱,۰۵	۸,۸۰	۳۲,۹۱
gt-28	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۰	۰,۳۳	۵۶,۴۰	۰,۹۵	۱۰,۰۲	۳۲,۰۹
gt-29	۰,۵۵	۰,۰۱	۰,۱۲	۰,۳۲	۵۵,۲۲	۰,۷۵	۱۱,۶۷	۳۲,۳۶
gt-30	۰,۵۵	۰,۰۱	۰,۱۳	۰,۳۱	۵۴,۰۰	۰,۸۸	۱۳,۱۹	۳۱,۱۳
gt-31	۰,۵۴	۰,۰۱	۰,۱۵	۰,۳۱	۵۳,۰۷	۱,۰۱	۱۴,۰۳	۳۰,۸۸

Grs = آلمندین، Sps = اسپسارتین، Prp = پیرپ، Sp = گروسولار

نتایج آنالیزهای مایکروپرورب به وضوح زونینگ ترکیبی را در بلورهای گارنت اثبات می‌کند که در تصویر الکترون مایکروپرورب نیز این منطقه‌بندی ترکیبی قابل مشاهده است؛ به گونه‌ای که بلور گارنت دارای هسته‌ای روشن تر و حاشیه‌ای تیره‌تر است (شکل ۷). زونینگ در چنین گارنت‌هایی به عنوان زونینگ رشدی نیز تفسیر می‌شود [۶]. منطقه‌بندی ترکیبی احتمالاً با واکنش‌هایی که در طول رشد گارنت رخ داده‌اند، کنترل می‌شود [۱۰].

تغییرات عضوهای انتهایی بلور گارنت بصورت زیر است:

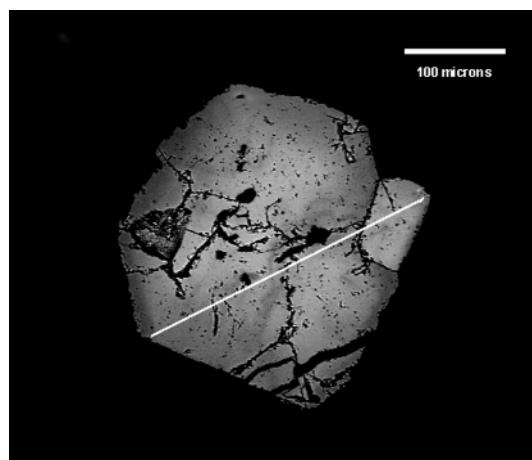
آلماندین: میزان آن از ۵۲٪/۵٪ در هسته به ۳٪/۵٪ در حاشیه افزایش می‌یابد.

اسپسارتین: میزان آن از ۹٪/۴٪ در هسته به ۸٪/۰٪ در حاشیه کاهش می‌یابد.

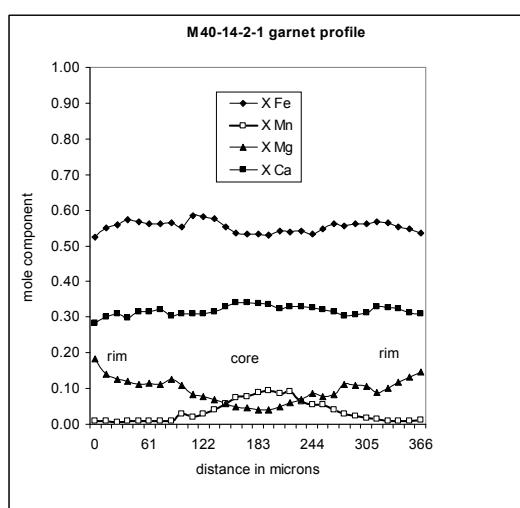
پیروپ: میزان آن از ۴٪/۱٪ در هسته به ۴٪/۱٪ در حاشیه افزایش می‌یابد.

گروسولار: میزان آن از ۳٪/۵٪ در هسته به ۴٪/۲٪ در حاشیه کاهش می‌یابد.

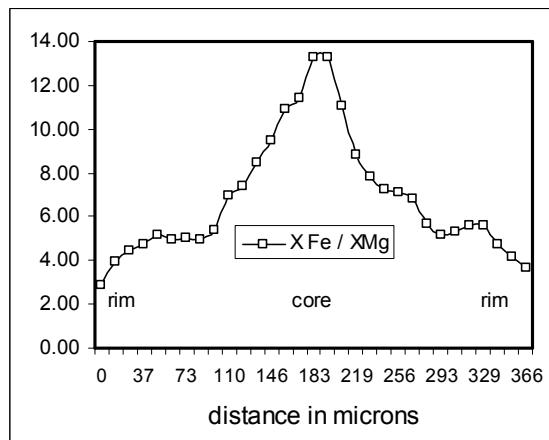
چنانکه در شکل ۸ دیده می‌شود از هسته به طرف حاشیه افزایش در میزان XMg و XMn کاهش در میزان XCa را شاهد هستیم. همچنین در هسته تا حاشیه تقریباً ثابت بوده و در بخش بیرونی حاشیه کاهش یافته است. بنابراین بالاترین میزان XCa و XMn در هسته بوده در حالیکه بیشترین میزان XMg در حاشیه است و میزان آن از مقدار حداقل ۰٪/۰ در هسته به ۰٪/۱ در بخش بیرونی حاشیه بلور گارنت افزایش می‌یابد. این موضوع در بیشتر بلورهای گارنت مورد بررسی عمومیت دارد. معمولاً X_{Mg} قوان با افزایش دمای دگرگونی افزایش می‌یابد [۱۱]. این وضعیت یک زونینگ پیشرونده (افزایش دما) را طی رشد گارنت نشان می-دهد که با هسته‌ای غنی از Fe و حاشیه‌ای غنی از Mg مشخص می‌شود [۱۱]. یعنی با افزایش دما نسبت XFe/XMg از هسته به حاشیه کاهش یافته است، که به وضوح می‌توان آن را در شکل ۹ ملاحظه کرد. همچنین زونینگ گارنت یک نیمرخ XMn زنگولهای شکل نوعی را نشان می‌دهد (شکل ۱۰).



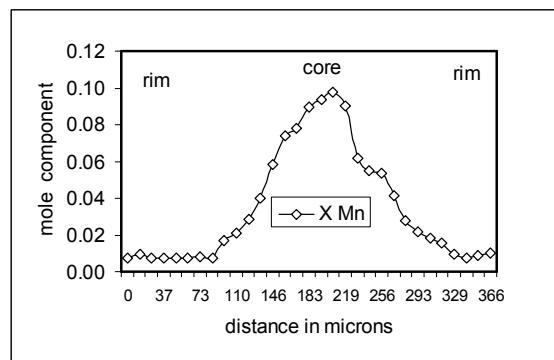
شکل ۷ تصویر الکترون مایکروپرور از کانی گارنت نمونه سنگ اکلوژیت شمال شهرکرد، خط سفید مسیر پروفیل ترکیبی را نشان می‌دهد.



شکل ۸ زونینگ ترکیبی در بلور گارنت از اکلوژیت‌های شمال شهرکرد به ترتیب از یک حاشیه به هسته و سپس به حاشیه دیگر.



شکل ۹ پروفیل تغییرات نسبت XFe/XMg در بلور گارنت.



شکل ۱۰ پروفیل زنگولهای XMn در بلور گارنت.

نیمرخ زنگولهای شکل تغییرات XMn نیز در مقایسه با پروفیل نسبت XFe/XMg بیان کننده این است که رشد گارنرها در مرحله دگرگونی پیشرونده انجام شده است [۱۲] و لذا تشکیل اکلوژیت‌ها در ارتباط با فرایندی است که منجر به افزایش تدریجی دمای محیط تشکیل آنها شده است.

در دگرگونی در دمای پایین، گارنتمانند را نشان می‌دهند زیرا برخی عناصر بصورت همگن بین گارنت و کانی‌های همیافت با آن توزیع شده‌اند که ناشی از نرخ کند پخش درون دانه‌ای است. ولی زمانیکه دمای دگرگونی بیش از 700°C باشد، زونینگ رشدی گارنتمانند را نشان می‌دهد که در نتیجه نرخ بالاتری از پخش، همگن خواهد شد [۱۳]. در برخی نواحی گارنت در اکلوژیت‌های با فشار بسیار بالا و دمای بالای (700°C تا 850°C) همگن بوده، در صورتیکه بلورهای گارنت در اکلوژیت‌های در فشار بالا و با دمای متوسط (550°C تا 650°C) یک زونینگ ترکیبی مشخصی را به نمایش می‌گذارند [۱۴]. مطالعات نشان داده است که برآورد و ارزیابی تحول P-T-t سنگ‌های دگرگونی اطلاعات ارزشمندی را در ارتباط با تحولات تکتونیکی فراهم می‌سازد [۱۴].

برآورد مسیرهای P-T-t معمولاً بستگی به استفاده از ژئوترمومتری و ژئوبارومتری مجموعه کانی‌های دگرگونی دارد. کاملترین روش برای به کمیت در آوردن مسیرهای P-T بر مبنای این فرض است که تعادل بین موقعیت‌های رشد کانی‌های متفاوت در سرتاسر دگرگونی حفظ شده است. لذا الگوهای زونینگ در کانیهایی نظیر گارنت، اساساً به عنوان پاسخی به تغییرات شرایط P-T منظور می‌شوند. بنابراین زونینگ گارنت نشان دهنده تغییرات P-T طی رشد آن است [۱۵]. بنابراین چنانکه در بسیاری از منابع دیگر آمده است، اهمیت موضوع در اینست که می‌توان مسیر P-T-t دگرگونی اکلوژیت‌ها را با استفاده از تغییرات ترکیبی در زونینگ گارنت بازسازی کرد [۱۶ و ۱۷].

بلورهای گارنت در اکلوژیت‌های شمال شهرکرد نیز به واسطه دارا بودن زونینگ ترکیبی آشکار برای برآورد مسیرهای P-T-t مناسب هستند. گارنت در اکلوژیت‌های برخی مناطق به صورت نوعی دارای منطقه‌بندی ترکیبی بوده و ژئوترمومتری روی این اکلوژیت‌ها دمایی در حدود 550°C تا 700°C درجه سانتیگراد را بدست می‌دهد [۱۰].

برداشت

خلاصه بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی گارنتمانند مورد مطالعه از مرکز به سمت حاشیه ناهمگن و دارای یک زونینگ رشدی و یا ترکیبی بوده و تغییرات آن به صورت زیر است (شکل ۸):

میزان XMn از هسته به سمت حاشیه به طور کلی کاهش می‌یابد.

میزان XMg از هسته به سمت حاشیه به طور کلی افزایش می‌یابد.

میزان XCa در هسته تقریباً روند ثابت داشته و سپس در حاشیه کاهش می‌یابد.

نسبت XFe/XMg از هسته به سمت حاشیه افزایش می‌یابد.

بر مبنای مطالعات گستردہ‌ای کہ در اکلوژیت‌های دنیا صورت گرفته است، افزایش در میزان XMg و کاهش در XMn درون یک زونینگ رشدی گارنت بیانگر این نکته است که در جریان شکل‌گیری اکلوژیت، دما به تدریج افزایش یافته است، در حالیکه بالا بودن میزان XCa در مرکز گارنت و کاهش آن در بخش بیرونی حاشیه نشان می‌دهد که دستیابی به اوج فشار دگرگونی در هسته گارنت صورت گرفته و سپس به سمت حاشیه فشار کاهش یافته است [۹]، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در جریان بالا آمدن سنگ‌های اکلوژیت، یعنی کاهش فشار، دما نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش نیز پیدا کرده است. زونینگ ترکیبی و آشکار در گارنت سنگ‌های اکلوژیت شمال شهرکرد بیانگر این واقعیت نیز هست که دما در طی شکل‌گیری اکلوژیت و شرایط پس از آن بیش از ۷۰۰ درجه سانتیگراد نبوده است. بر مبنای تحقیقات انجام شده اکلوژیت‌هایی که دمای بالای ۷۰۰ تا ۸۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل کرده‌اند، در اثر نرخ بالای پخش تا حدودی یا بطور کامل زونینگ ترکیبی گارنت در آنها از دست می‌رود و گارنت همگن می‌شود [۱۳] و نیز گارنت در اکلوژیت‌های با دمایی در حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد دارای نیمرخ‌های زونینگ صاف‌تری هستند [۹]. این بدان معنی است که پس از رخساره اکلوژیت سنگ‌های مورد مطالعه وارد محدوده رخساره حرارت بالای گرانولیت نشد و مسیر برگشت از طریق محدوده فشار- دمای رخساره آمفیبولیت بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دمای تشکیل اکلوژیت‌های شمال شهرکرد باقیستی از ۷۰۰ درجه کمتر باشد که بهوضوح بلورهای گارنت دارای زونینگ ترکیبی هستند.

بر مبنای اطلاعات بالا و نتایج بدست آمده می‌توان مسیر P-T-t تقریبی را به صورت کیفی در چند مرحله خلاصه کرد.

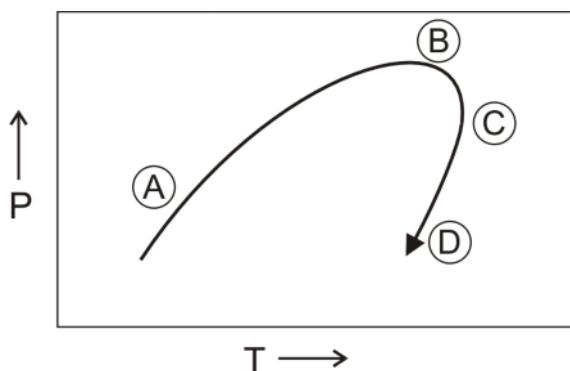
مرحله A: این مرحله پیش از دگرگونی رخساره اکلوژیت است که در این مرحله دما و فشار توان با یکدیگر افزایش یافته‌اند.

مرحله B: در این مرحله فشار به بیشترین میزان می‌رسد و این برابر با اوج دگرگونی رخساره اکلوژیت است.

مرحله C: در این مرحله به موازات کاهش فشار، دما افزایش یافته است. پس مشابه با بسیاری از نقاط دنیا در اکلوژیت‌های این منطقه T_{max} در فشارهایی حاصل شده که کمتر از P_{max} است [۱۸].
مرحله D: این همان مرحله برگشت و سیر قهقرایی در سنگ دگرگونی است که مربوط به مرحله بالا آمدن^۶ سنگ‌های اکلوژیت از عمق به سطح زمین بوده است.

6- Uplift

با توجه به آنچه که گفته شد می‌توان مسیر P-T تقریبی دگرگونی اکلوژیت‌های منطقه مورد مطالعه را با استفاده از تغییرات ترکیبی در زونینگ گارنت بازسازی کرد. شکل ۱۱ ترسیمی است کیفی از مسیر P-T برای دگرگونی رخساره اکلوژیت در این بخش از زون سنندج - سیرجان و نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای یک الگوی ساعتگرد تقریبی P-T-t هستند، که در آن P و T بیشتر در همزمان رخ نداده است. از آنجا که در این منطقه اکلوژیت‌ها در مسیر دگرگونی قهقهایی به گارنت‌آمفیبولیت تبدیل شده‌اند، بنابراین مسیر برگشت آنها از میدان رخساره آمفیبولیت عبور کرده است.



شکل ۱۱ یک ترسیم کیفی از مسیر P-T تقریبی برای دگرگونی رخساره اکلوژیت شمال شهرکرد بر مبنای زونینگ ترکیبی بلور گارنت.

مراجع

- [1] Zeming Z., Yong Y., Zhang J., "The compositional zoning of garnet in eclogite from western segment of Altyn Tagh", Chinese Science Bulletin 45 (2000) 79-83.
- (۲) داویدیان دهکردی علیرضا، نوربهشت ایرج، خلیلی محمود، محجل محمد، شبانیان بروجنی ناهید، "نتایج تحقیقات مقیدماتی از پیدایش اکلوژیت‌های شمال شهرکرد (زون سنندج - سیرجان)"، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، تهران (۱۳۸۲).
- [3] Deer W. A., Howie R. A., Zussman J., "An introduction to the rock-forming minerals", Prentice Hall (1992) p. 696.
- [4] Duchene S., Albarede F., "Simulated garnet-clinopyroxene geothermometry of eclogites", Contribution to Mineralogy and Petrology 135 (1999) 75-91.

- [5] Coleman R. G., Lee D. E., Beatty L. B., Brannock W. W., "Eclogites and eclogites: their differences and similarities", Geological Society of American Bulletin 76 (1965) 483-508.
- [6] Newton R. C., "Metamorphic temperature and pressures of Group B and C Eclogites., Blueschists and Eclogites", The Geological Society of America (1986) p. 423.
- [7] Dachs E., "PET Petrological elementary tools for Mathematica", Computers and Geoscience 24 (1998) 219-235.
- [8] 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
- [9] Krogh E. J., "Metamorphic evolution deduced from mineral inclusions and compositional zoning in garnet from Norwegian country-rock eclogites", Lithos 15 (1982) 305-321.
- [10] Carswell D. A., "Eclogite facies rocks", Blackie (1990) p. 396.
- [11] Spear F. S., "Petrologic determination of metamorphic pressure-temperature-time paths, In: Metamorphic Pressure- Temperature-Time Paths", Short Course in Geology (eds. Spear F. S., Peacock S. M.), American Geophysical Union, Washington DC (1989) 1-55.
- [12] Engvik A. K., Andersen T. B., "Evolution of Caledonian deformation fabrics under eclogite and amphibolite facies at Vardalsneset, Western Gneiss Region, Norway", J. of Metamorphic Geology 18 (2000) 241-257.
- [13] Carlson W., Schwarze E., "Petrological significance of prograde homogenization of growth zoning in garnet: An example from the Liano Uplift", J. of Metamorphic Geology 15 (1997) 631-639.
- [14] Daly J. S., Yardley B. W. D., Cliff R. A. (eds.) "Evolution of Metamorphic Belts", Geological Society of London, Special Publication 43 (1988) p. 580.
- [15] Spear F. S., Selverstone J., Hickmott D., "P-T paths from garnet zoning: a new technique for deciphering tectonic processes in crystalline terrains", Geology 12 (1984) 87-90.
- [16] Hiroi Y., Kishi T., Nohara T., Sato K., Goto J., "Cretaceous high-temperature rapid loading and uploading in the Abukuma metamorphic terrain, Japan", J. of Metamorphic Geology 16 (1998) 69-81.
- [17] Enami M., "Pressure – temperature path of Sanbagawa prograd metamorphism deduced from grossular zoning of garnet", J. of Metamorphic Geology 16 (1998) 97-110.

- [18] England P. C., Richardson S. W., "The influence of erosion upon the mineral facies of rocks from different metamorphic environments", J. of the Geological Society of London 134 (2000) 201-213.