

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

A. R. Davoudian Dehkordi¹, M. Khalili¹, I. Noorbehsht¹, M. Mohajjel²,

1- Department of Geology, Esfahan University, Iran.

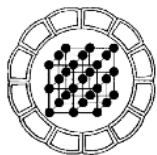
2- Dept. of Geology, Tarbiat Moares Univ., Iran.

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 اکلوزیت‌های شمال شهرکرد، زون سنندج - سیرجان

علیرضا داودی^۱، محمود خلیلی^۱، ایرج نوربیهشت^۱، محمد محجل^۲

۱- گروه زمین شناسی 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 کمربند دگرگونی زمین‌ساختی سنندج - سیرجان محسوب می‌شود، در معرض دگرگونی درجه بالا رخساره اکلوزیت 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 اکلوزیت 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 کرد، 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 اکلوزیتی شمال شهرکرد به عنوان بخشی از زون سنندج - سیرجان است.

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

مقدمه

یکی از اهداف سنگ‌شناسی 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 اکلوزیت در شمال شهرکرد و به ویژه با مطالعه بلورهای گارنت این سنگ‌ها، می‌توان نکات علمی تازه‌ای را در این مورد مطرح کرد.

گارنت به واسطه ترکیب خود به همراه کانی‌های مناسب دیگر به عنوان یک ژئوترموبارومتر (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 میکروپروب 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، هم‌رشدی و واکنش در حاشیه کانی می‌تواند منتهی به نیمرخ‌های ترکیبی مشخصی شود [۱]. در این بررسی بلورهای گارنت در اکلوزیت‌های 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 اکلوزیت رشد کرده‌اند، وجود دارد.

موقعیت زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی اکلوزیت‌ها

منطقه 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 فاصله ۵۰ کیلومتری از تراست اصلی زاگرس قرار دارد. این منطقه یک پهنه برشی بزرگ بوده و بیشتر شامل سنگ‌های دگرگونی و دگرشکل شده متنوعی نظیر شیست، گنایس، آمفیبولیت، مرمر، گرانیست دگرشکل شده، متادولریت و اکلوزیت بوده که درجات متفاوتی از دگرگونی و دگرشکلی را نشان می‌دهند (شکل ۲).

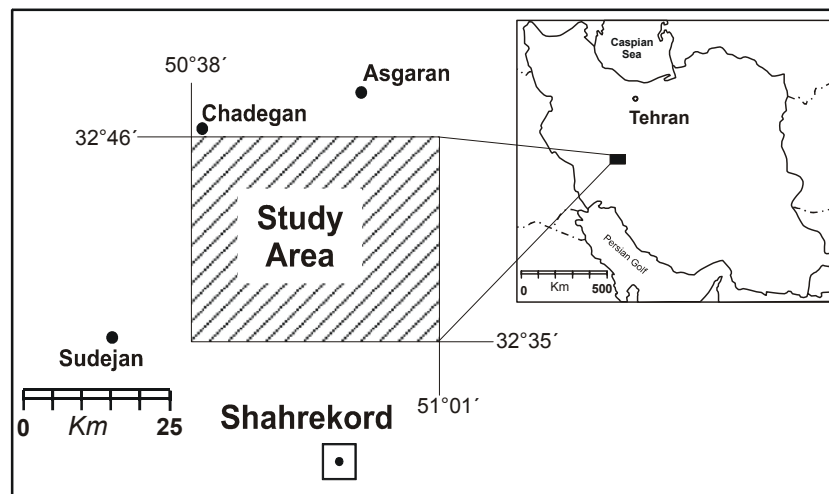
سنگ‌های اکلوزیت در اطراف دریاچه سد زاینده‌رود و در دره گزستان نزدیک روستای صادق آباد رخنمون یافته‌اند (شکل ۲). این مناطق در واقع بخش‌هایی از پهنه برشی^۳ نوعی بوده که دارای آثار دگرشکلی شکل‌پذیر و میلونیتیزاسیون گسترده هستند. بیشتر سنگ‌های

1- Exhumation

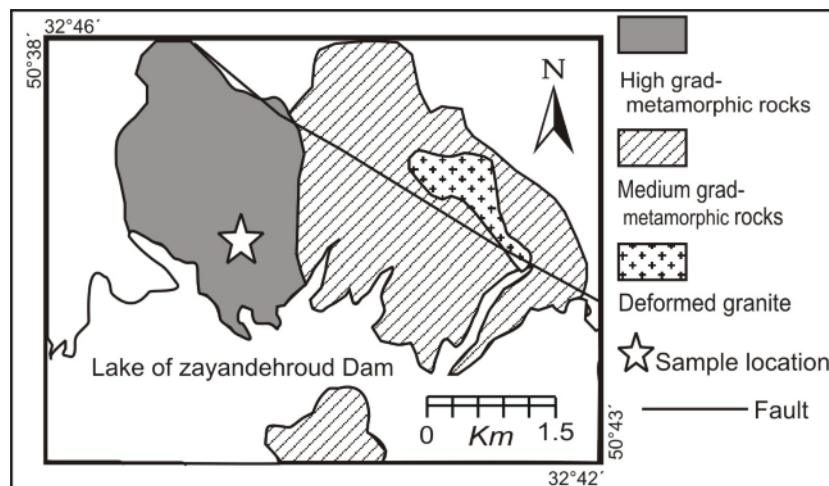
2- Fractionation

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 دگرشکلی را ملاحظه کرد. در واقع رخنمون این سنگ‌های با فشار بالای اکلوزیتی تشکیل شده در اعماق را، در سطح زمین را می‌توان ناشی از عملکرد این پهنه برشی بزرگ دانست [۲]. توده‌های سنگی اکلوزیت که در منطقه شمال دریاچه زاینده رود رخنمون شده‌اند، معمولاً به صورت نوارها و بلوک‌ها و نیز به صورت عدسی‌هایی درون توده‌های 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 اکلوزیت‌ها

ترکیب کانی‌شناسی اولیه و مجموعه کانیایی اصلی اوج دگرگونی اکلوزیت‌ها عبارتست از: گارنت + امفاسیت + آمفیبول‌های باروئیزیت و منیزیتارامیت + فنژیت + کوارتز + روتیل + پیریت + مگنتیت + زوئیزیت + کوارتز $\pm$ پاراگونیت $\pm$ دولومیت. اکلوزیت‌هایی که طی دگرگونی پسروده به گارنت آمفیبولیت تبدیل شده‌اند، دارای ترکیب کانی‌شناسی گارنت، آمفیبول ثانویه نظیر چرماکیت (حاصل مراحل اولیه برگشت امفاسیت)، پلاژیوکلاز، روتیل، هماتیت، مگنتیت، ایلمنیت، زوئیزیت، کلینوزوئیزیت و کوارتز هستند. در واقع کانی‌های امفاسیت، پلاژیوکلاز، هماتیت و ایلمنیت به همراه کلینوزوئیزیت مربوط به مرحله دگرگونی پسروده هستند. آمفیبول چرماکیت خاص سنگ‌های با درجه دگرگونی بالا نظیر کیانیت آمفیبولیت‌ها بوده و از طرف دیگر در اکلوزیت‌های دستخوش دگرگونی پسروده نیز عمومیت دارد، که در این حالت حاصل امفاسیت در مراحل اولیه دگرگونی قهقرایی است [۳].

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

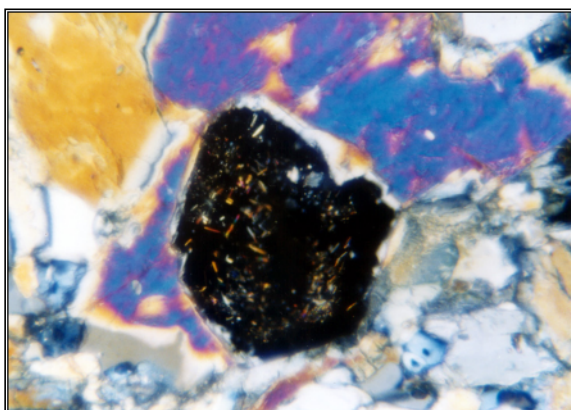
سنگ‌شناسی بلورهای گارنت

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 رخساره اکلوزیت (یعنی فنژیت و روتیل) در شرایط رخساره اکلوزیت رشد کرده‌اند (شکل ۳ و ۴). شناسایی میکای فنژیت از آنالیزهای الکترون مایکروپروب انجام شده است. علاوه بر دو کانی یاد شده، گارنت دارای بلورهای دیگری نظیر آمفیبول، زوئیزیت و کوارتز به صورت درونگیر هستند.

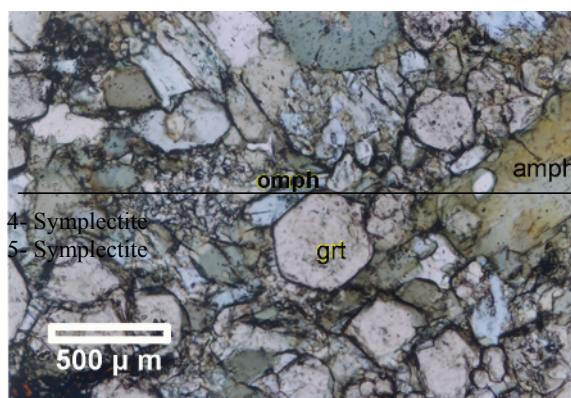
به طور کلی بلورهای گارنت اکلوزیت‌های منطقه مورد مطالعه همچون سایر کانی‌های موجود در این سنگ‌ها ریز بلور بوده (حدود ۰/۵ میلیمتر) که علت آن را می‌توان به دگرشکلی نسبت داد، به گونه‌ای که در اکلوزیت‌های کمتر دگرشکل شده اندازه بلورها درشت‌تر است [۴].

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 اکلوزیت دارای رگه‌هایی هستند که متشکل از گارنت، کوارتز و گاهی زونیزیت هستند. بلورهای گارنت در این رگه‌ها به مراتب درشت‌تر از گارنت‌های متن سنگ هستند. این رگه‌ها در مراحل نهایی تکوین سنگ‌های اکلوزیت شمال شهرکرد شکل گرفته‌اند.

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



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



4- Symplectite
5- Symplectite

500 μm

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 اکلوزیت تشکیل می‌شود، یکی دیگر از شواهد تشکیل بخش بزرگی از حاشیه این بلورهای گارنت در شرایط رخساره اکلوزیت است (شکل ۴). در اکلوزیت‌هایی از این منطقه مورد مطالعه که دستخوش دگرگونی پسرونده شدید شده‌اند، بلورهای گارنت خود شکل نبوده و بیشتر به صورت نیمه شکل‌دار و گاهی نیز کاملاً بی‌شکل و گرد شده‌اند. در این اکلوزیت‌ها گرداگرد بلورهای گارنت را بلورهای آمفیبول مربوط به شرایط دگرگونی پس از رخساره اکلوزیت فرا می‌گیرد که دارای پلئوکروئیسم شدید سبز - آبی هستند؛ که بیان‌کننده شرایط دگرگونی رخساره آمفیبولیت پس از اکلوزیت است. بلورهای گارنت این دسته از اکلوزیت‌ها 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 زوئیزیته شده‌اند. در این حالت گسترش زوئیزیت درون گارنت بیشتر بصورت خطی و شکافتی است.

تقسیم‌بندی اکلوزیت‌ها بر مبنای ترکیب گارنت

مهم‌ترین تقسیم‌بندی اکلوزیت‌ها که کولمن و همکاران [۵] ارائه کرده‌اند، بر پایه ترکیب گارنت است، به گونه‌ای که در این تقسیم‌بندی اکلوزیت‌ها به سه گروه زیر رده بندی می‌شوند:

گروه A: اکلوزیت‌های همراه با سنگ‌های الترامافیک که از خاستگاهشان مانتل است.

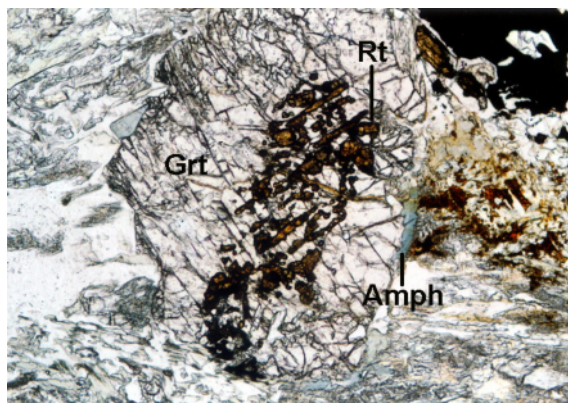
گروه B: اکلوزیت‌های همراه با گنایس‌ها و شیست‌های دگرگونی درجه بالا.

گروه C: اکلوزیت‌های با فشار بالا همراه با گلوکوفان شیست‌ها در مناطق فرورانش.

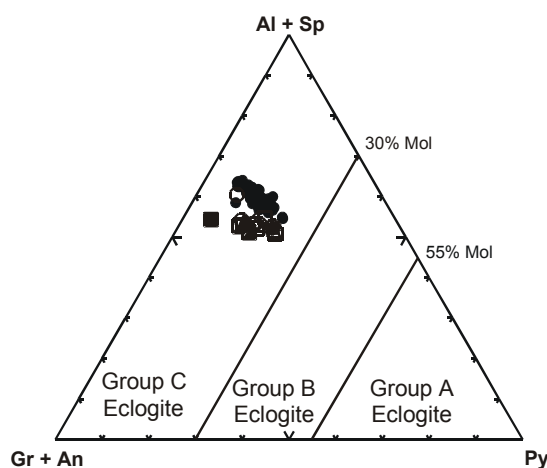
بلورهای گارنت در اکلوزیت‌های شمال شهرکرد همگی در محدوده گروه C قرار می‌گیرند که مربوط به مناطق فرورانش هستند [۲] (شکل ۶). فقدان همراهی شیست‌های آبی در منطقه مورد مطالعه و در عوض همراهی این سنگ‌های با فشار بالا با سنگ‌های رخساره آمفیبولیت احتمالاً نشان‌دهنده یک مسیر بالا آمده در شرایط دمای متوسط تا بالا بوده است. نظیر این پدیده از بسیاری نقاط دنیا گزارش شده است، که در این مورد به ویژه می‌توان به اکلوزیت‌های پنجره زمین‌ساختی تورن در آلپ اشاره کرد [۶].

روشهای بررسی

در این بررسی نمونه سنگهای اکلوزیت 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 اطریش 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 سبز-آبی در حاشیه آن، طول عکس برابر با ۲ میلیمتر، ppl. Amph: Amphibole, Grt: Garnet, Rt: Rutile



شکل ۶ ترکیب بلورهای گارنت اکلوزیت‌های شمال شهرکرد روی نمودار تقسیم‌بندی اکلوزیت‌ها که توسط کولمن و همکاران [۵] ارائه 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 کامپیوتری PET [۷] محاسبه شده‌اند و محاسبه مقادیر Fe^{+3} بر مبنای ملاحظات عنصرسنجی ارائه شده توسط دروپ [۸] صورت گرفت.

بحث و بررسی

در این تجزیه نقطه‌ای گارنت‌ها، یک نمونه که دارای زونینگ 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 گرفتند برای تهیه نیمرخ، اندازه‌گیری از حاشیه گارنت شروع و پس از گذر از هسته به حاشیه دیگر ختم شده است (جدول ۱).

جدول ۱ آنالیزهای الکترون مایکروپروب از کانی گارنت اکلوزیت 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	۳۸٫۹	۰٫۱	۲۲٫۱	۲۴٫۸	۰٫۴	۴٫۸	۱۰٫۳	۰٫۰	۱۰۱٫۴
gt-2	۳۸٫۳	۰٫۱	۲۱٫۸	۲۶٫۲	۰٫۴	۴٫۶	۱۰٫۷	۰٫۰	۱۰۱٫۲
gt-3	۳۷٫۶	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۶٫۶	۰٫۳	۴٫۱	۱۰٫۸	۰٫۱	۱۰۰٫۹
gt-4	۳۸٫۲	۰٫۱	۲۱٫۶	۲۷٫۰	۰٫۳	۴٫۱	۱۰٫۷	۰٫۰	۱۰۱٫۰
gt-5	۳۸٫۰	۰٫۱	۲۱٫۴	۲۷٫۱	۰٫۴	۴٫۸	۱۱٫۱	۰٫۰	۱۰۰٫۸
gt-6	۳۸٫۰	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۶٫۷	۰٫۳	۴٫۹	۱۱٫۲	۰٫۰	۱۰۰٫۸
gt-7	۳۸٫۴	۰٫۱	۲۱٫۶	۲۶٫۶	۰٫۴	۴٫۹	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۱٫۳
gt-8	۳۷٫۸	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۶٫۸	۰٫۳	۴٫۲	۱۰٫۷	۰٫۰	۱۰۰٫۹
gt-9	۳۸٫۰	۰٫۱	۲۱٫۸	۲۶٫۱	۱٫۲	۴٫۸	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۱٫۱
gt-10	۳۷٫۳	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۷٫۹	۰٫۹	۴٫۱	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۱٫۴
gt-11	۳۷٫۴	۰٫۱	۲۱٫۲	۲۷٫۲	۱٫۳	۴٫۰	۱۰٫۹	۰٫۰	۱۰۰٫۰
gt-12	۳۸٫۲	۰٫۲	۲۱٫۰	۲۷٫۰	۱٫۸	۱٫۷	۱۱٫۳	۰٫۰	۱۰۲٫۲
gt-13	۳۷٫۳	۰٫۲	۲۱٫۰	۲۶٫۲	۲٫۶	۱٫۰	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۰٫۶
gt-14	۳۷٫۰	۰٫۲	۲۱٫۴	۲۵٫۱	۳٫۳	۱٫۲	۱۲٫۰	۰٫۰	۱۰۰٫۶
gt-15	۳۷٫۷	۰٫۲	۲۱٫۰	۲۵٫۴	۳٫۰	۱٫۲	۱۲٫۰	۰٫۰	۱۰۱٫۰
gt-16	۳۷٫۶	۰٫۲	۲۱٫۲	۲۵٫۴	۴٫۰	۱٫۰	۱۱٫۹	۰٫۰	۱۰۱٫۲
gt-17	۳۷٫۳	۰٫۱	۲۱٫۱	۲۴٫۷	۴٫۱	۱٫۰	۱۱٫۷	۰٫۰	۱۰۰٫۱
gt-18	۳۸٫۱	۰٫۱	۲۱٫۱	۲۵٫۰	۳٫۹	۱٫۴	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۲٫۰
gt-19	۳۲٫۹	۰٫۱	۱۸٫۹	۲۴٫۴	۳٫۰	۱٫۴	۱۱٫۲	۰٫۰	۹۲٫۵
gt-20	۳۸٫۰	۰٫۲	۲۱٫۶	۲۵٫۲	۲٫۸	۱٫۸	۱۱٫۷	۰٫۰	۱۰۱٫۲
gt-21	۳۸٫۸	۰٫۱	۲۲٫۲	۲۵٫۰	۲٫۴	۲٫۲	۱۱٫۰	۰٫۱	۱۰۱٫۳
gt-22	۳۷٫۹	۰٫۲	۲۲٫۰	۲۶٫۱	۲٫۴	۲٫۰	۱۱٫۴	۰٫۰	۱۰۱٫۸
gt-23	۳۷٫۴	۰٫۲	۲۱٫۲	۲۵٫۹	۱٫۸	۲٫۱	۱۱٫۰	۰٫۰	۹۹٫۶
gt-24	۳۸٫۰	۰٫۱	۲۱٫۷	۲۵٫۸	۱٫۳	۲٫۹	۱۰٫۸	۰٫۰	۱۰۰٫۸
gt-25	۳۸٫۶	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۷٫۰	۱٫۰	۲٫۸	۱۱٫۱	۰٫۰	۱۰۲٫۲
gt-26	۳۷٫۹	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۶٫۳	۰٫۸	۲٫۷	۱۱٫۱	۰٫۰	۱۰۰٫۴
gt-27	۳۸٫۰	۰٫۱	۲۱٫۶	۲۶٫۹	۰٫۷	۲٫۳	۱۱٫۷	۰٫۰	۱۰۱٫۱
gt-28	۳۷٫۹	۰٫۲	۲۱٫۶	۲۶٫۹	۰٫۴	۲٫۰	۱۱٫۰	۰٫۰	۱۰۱٫۰
gt-29	۳۷٫۸	۰٫۲	۲۱٫۹	۲۶٫۳	۰٫۳	۲٫۰	۱۱٫۴	۰٫۰	۱۰۰٫۸
gt-30	۳۸٫۳	۰٫۱	۲۱٫۰	۲۶٫۲	۰٫۴	۳٫۴	۱۱٫۱	۰٫۰	۱۰۱٫۱
gt-31	۳۸٫۱	۰٫۱	۲۱٫۸	۲۵٫۴	۰٫۰	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	۲٫۹۸۴	۰٫۰۰۰	۱٫۹۹۸	۰٫۰۲۰	۱٫۵۶۴	۰٫۰۲۳	۰٫۵۴۸	۰٫۸۴۶	۰٫۰۰۴
gt-2	۲٫۹۶۹	۰٫۰۰۴	۱٫۹۸۹	۰٫۰۷	۱٫۹۲۸	۰٫۰۲۸	۰٫۴۱۶	۰٫۸۹	۰٫۰۰۶
gt-3	۲٫۹۵۴	۰٫۰۰۴	۱٫۹۹۲	۰٫۰۹۸	۱٫۶۴۷	۰٫۰۲۱	۰٫۳۶۸	۰٫۹۰۸	۰٫۰۰۸
gt-4	۲٫۹۷۸	۰٫۰۰۶	۱٫۹۸۲	۰٫۰۵۲	۱٫۷۰۰	۰٫۰۲۲	۰٫۴۶	۰٫۸۹۱	۰٫۰۰۲
gt-5	۲٫۹۶۶	۰٫۰۰۸	۱٫۹۶۹	۰٫۰۸۸	۱٫۹۸۲	۰٫۰۲۳	۰٫۳۴۷	۰٫۹۳	۰٫۰۰۶
gt-6	۲٫۹۶۸	۰٫۰۰۷	۱٫۹۷۹	۰٫۰۷۳	۱٫۹۷۱	۰٫۰۲۴	۰٫۳۴۹	۰٫۹۳۸	۰٫۰۰۳
gt-7	۲٫۹۸۱	۰٫۰۰۶	۱٫۹۷۴	۰٫۰۵۱	۱٫۶۷۶	۰٫۰۲۴	۰٫۳۴۲	۰٫۹۵۶	۰٫۰۰۱
gt-8	۲٫۹۶۱	۰٫۰۰۰	۱٫۹۸۰	۰٫۰۸۴	۱٫۹۷۱	۰٫۰۲۳	۰٫۴۷	۰٫۸۹۷	۰٫۰۰۳
gt-9	۲٫۹۶۱	۰٫۰۰۶	۲٫۰۰۲	۰٫۰۷	۱٫۶۴۳	۰٫۰۸۱	۰٫۳۲۴	۰٫۹۱۷	۰٫۰۰۶
gt-10	۲٫۹۵۲	۰٫۰۰۶	۱٫۹۸۰	۰٫۰۹۹	۱٫۷۲۷	۰٫۰۶۲	۰٫۲۴۹	۰٫۹۱۹	۰٫۰۰۱
gt-11	۲٫۹۶۷	۰٫۰۰۷	۱٫۹۸۱	۰٫۰۷۱	۱٫۷۳۲	۰٫۰۸۴	۰٫۲۳۴	۰٫۹۲۴	۰٫۰۰۱
gt-12	۲٫۹۶۷	۰٫۰۱	۱٫۹۷۲	۰٫۰۷۸	۱٫۷۱۱	۰٫۱۱۸	۰٫۲۰۲	۰٫۹۴۸	۰٫۰۰۳
gt-13	۲٫۹۴۴	۰٫۰۱	۱٫۹۹۶	۰٫۰۹۹	۱٫۶۲۹	۰٫۱۷۱	۰٫۱۷۲	۰٫۹۷۰	۰٫۰۰۳
gt-14	۲٫۹۶۰	۰٫۰۱	۱٫۹۸۶	۰٫۰۶۶	۱٫۵۹۲	۰٫۲۱۹	۰٫۱۴۶	۱٫۰۱۱	۰٫۰۰۳
gt-15	۲٫۹۵۰	۰٫۰۱۱	۱٫۹۸۴	۰٫۰۸۴	۱٫۵۸۲	۰٫۲۴۴	۰٫۱۳۹	۱٫۰۱	۰٫۰۰۲
gt-16	۲٫۹۵۹	۰٫۰۱۱	۱٫۹۷	۰٫۰۸۸	۱٫۵۸۳	۰٫۲۶۰	۰٫۱۱۹	۱٫۰۰۴	۰٫۰۰۱
gt-17	۲٫۹۷	۰٫۰۰۸	۱٫۹۸۳	۰٫۰۶۰	۱٫۵۷۸	۰٫۲۷۸	۰٫۱۱۹	۰٫۹۹۰	۰٫۰۰۲
gt-18	۲٫۹۶۶	۰٫۰۰۶	۲٫۰۳۲	۰٫۰۴۷	۱٫۶۰۰	۰٫۲۵۴	۰٫۱۴۰	۰٫۹۶۲	۰٫۰۰۳
gt-19	۲٫۸۴۹	۰٫۰۰۸	۱٫۹۱۷	۰٫۳۹۰	۱٫۴۶۶	۰٫۲۵۶	۰٫۱۷۳	۱٫۰۳۷	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	۱,۶۱۶	۰,۱۵۷	۰,۲۲۷	۰,۹۴۷	۰,۰۰۲
gt-23	۲,۹۷۲	۰,۰۰۹	۱,۹۸۶	۰,۰۵۵	۱,۶۶۹	۰,۱۲۳	۰,۲۴۴	۰,۹۳۹	۰,۰۰۳
gt-24	۲,۹۷۸	۰,۰۰۵	۲,۰۰۵	۰,۰۳۱	۱,۹۶۱	۰,۰۸۳	۰,۳۳۳	۰,۹۰۵	۰
gt-25	۲,۹۸۲	۰,۰۰۸	۱,۹۵۸	۰,۰۶۶	۱,۶۷۸	۰,۰۶۵	۰,۳۲۳	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	۱,۹۸۵	۰,۰۴۶	۰,۲۶۳	۰,۹۷۸	۰,۰۰۲
gt-28	۲,۹۵۹	۰,۰۰۹	۱,۹۸۳	۰,۰۸۵	۱,۶۶۸	۰,۰۲۸	۰,۲۹۶	۰,۹۶۳	۰,۰۰۶
gt-29	۲,۹۴۴	۰,۰۰۹	۱,۰۱۱	۰,۰۸۹	۱,۶۲۳	۰,۰۲۲	۰,۳۴۳	۰,۹۵۱	۰,۰۰۶
gt-30	۲,۹۷۳	۰,۰۰۵	۱,۹۷۱	۰,۰۷۶	۱,۹۲۸	۰,۰۲۶	۰,۳۹۲	۰,۹۲۵	۰,۰۰۳
gt-31	۲,۹۶۴	۰,۰۰۶	۱,۹۹۷	۰,۰۶۷	۱,۵۸۹	۰,۰۳	۰,۴۳۱	۰,۹۱۶	۰,۰۰۲

ادامه جدول ۱

Label	X Fe	XMn	XMg	XCa	Alm	Sps	Pyp	Gr
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	۱۲,۵۰	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	۵۸,۴۰	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	۳۱,۵۹
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	۳۳,۵۰
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	۳۶,۶۲
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	۳۱,۵۶
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	۱,۸۵	۱۰,۶۰	۳۱,۲۶
gt-27	۰,۵۷	۰,۰۲	۰,۰۹	۰,۳۳	۵۶,۷۰	۱,۵۵	۸,۸۵	۳۲,۹۱
gt-28	۰,۵۶	۰,۰۱	۰,۱۰	۰,۳۳	۵۶,۴۵	۰,۹۵	۱۰,۰۲	۳۲,۵۹
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	۵۴,۸۰	۰,۸۸	۱۳,۱۹	۳۱,۱۳
gt-31	۰,۵۴	۰,۰۱	۰,۱۵	۰,۳۱	۵۳,۵۷	۱,۰۱	۱۴,۵۳	۳۰,۸۸

Alm = آلماندین، Sps = اسپسارتین، Prp = پیروپ، Grs = گروسولار

نتایج آنالیزهای میکروپروپ به وضوح زونینگ ترکیبی را در بلورهای گارنت اثبات می‌کند که در تصویر الکترون میکروپروپ نیز این منطقه‌بندی ترکیبی قابل مشاهده است؛ به گونه‌ای که بلور گارنت دارای هسته‌ای روشن‌تر و حاشیه‌ای تیره‌تر است (شکل ۷). زونینگ در چنین گارنت‌هایی به عنوان زونینگ رشدی نیز تفسیر می‌شود [۹]. منطقه‌بندی ترکیبی احتمالاً با واکنش‌هایی که در طول رشد گارنت رخ داده‌اند، کنترل می‌شود [۱۰].

تغییرات عضوهای انتهایی بلور گارنت بصورت زیر است:

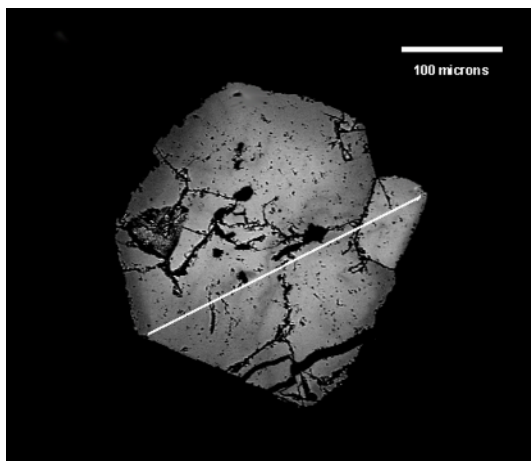
آلماندین: میزان آن از ۵۲/۵٪ در هسته به ۵۳/۱٪ در حاشیه افزایش می‌یابد.

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

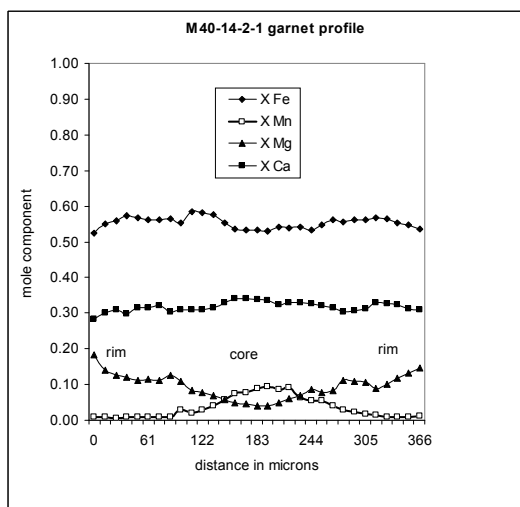
پیروپ: میزان آن از ۴/۱٪ در هسته به ۱۸/۴٪ در حاشیه افزایش می‌یابد.

گروسولار: میزان آن از ۳۳/۵٪ در هسته به ۲۸/۴٪ در حاشیه کاهش می‌یابد.

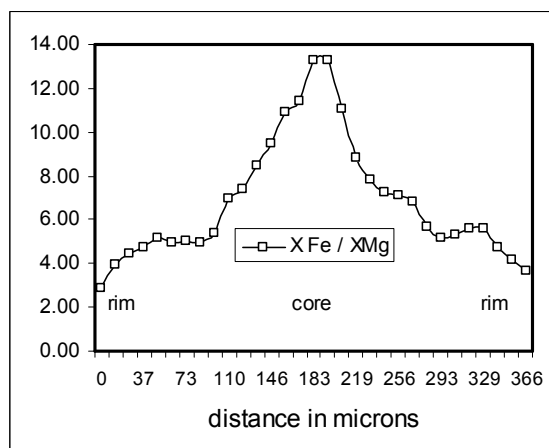
چنانکه در شکل ۸ دیده می‌شود از هسته به طرف حاشیه افزایش در میزان XMg و کاهش در میزان XMn را شاهد هستیم. همچنین XCa در هسته تا حاشیه تقریباً ثابت بوده و در بخش بیرونی حاشیه کاهش یافته است. بنابراین بالاترین میزان XCa و XMn در هسته بوده در حالیکه بیشترین میزان XMg در حاشیه است و میزان آن از مقدار حداقل ۰/۰۴ در هسته به ۰/۱۸ در بخش بیرونی حاشیه بلور گارنت افزایش می‌یابد. این موضوع در بیشتر بلورهای گارنت مورد بررسی عمومیت دارد. معمولاً، X_{Mg} توام با افزایش دمای دگرگونی افزایش می‌یابد [۱۱]. این وضعیت یک زونینگ پیشرونده (افزایش دما) را طی رشد گارنت نشان می‌دهد 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).



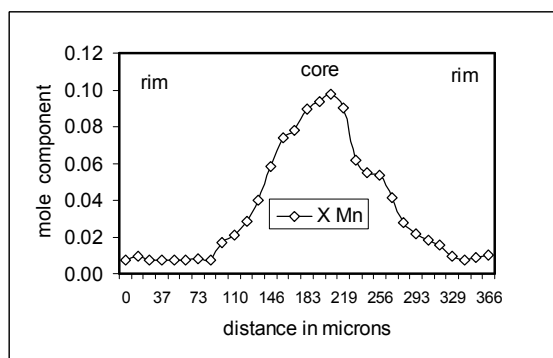
شکل ۷ تصویر الکترون میکروپروب از کانی گارنت نمونه سنگ اکلوزیت شمال شهرکرد، خط سفید مسیر پروفیل ترکیبی را نشان می‌دهد.



شکل ۸ زونینگ ترکیبی در بلور گارنت از اکلوزیت‌های 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 شکل XMn در بلور گارنت.

نیمرخ زنگوله‌ای شکل تغییرات XMn نیز در مقایسه با پروفیل نسبت XFe/XMg بیان کننده این است که رشد گارنت‌ها 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، گارنت‌ها اغلب یک زونینگ ترکیبی مشخصی 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 گارنت‌ها تا حدودی یا بطور کامل در نتیجه نرخ بالاتری از پخش، همگن خواهد شد [۱۳]. در برخی نواحی گارنت در اکلوزیت‌های با فشار بسیار بالا و دمای بالای (700°C تا 850°C) همگن بوده، در صورتیکه بلورهای گارنت در اکلوزیت‌های در فشار بالا و با دمای متوسط (550°C تا 650°C) یک زونینگ ترکیبی مشخصی را به نمایش می‌گذارند [۱]. 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 اکلوزیت‌ها را با استفاده از تغییرات ترکیبی در زونینگ گارنت بازسازی کرد [۱۶ و ۱۷].

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

برداشت

خلاصه بررسی‌ها نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه 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 گسترده‌ای که 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 بایستی از ۷۰۰ درجه کمتر باشد که به وضوح بلورهای گارنت دارای زونینگ ترکیبی هستند.

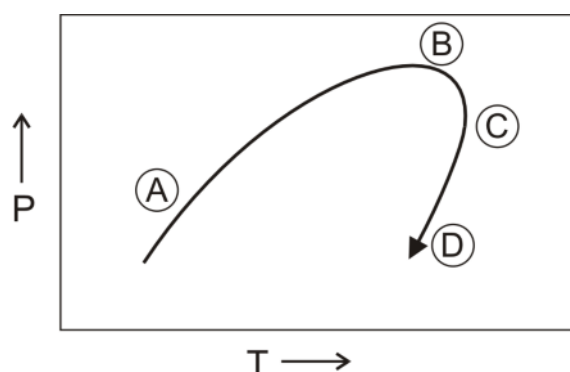
بر مبنای اطلاعات بالا و نتایج بدست آمده می‌توان مسیر P-T-t تقریبی را به صورت کیفی در چند مرحله خلاصه کرد.

مرحله A: این مرحله پیش از دگرگونی رخساره اکلوژیت است که در این مرحله دما و فشار توام 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 سنگ‌های اکلوژیت از عمق به سطح زمین بوده است.

با توجه به آنچه که گفته شد می‌توان مسیر P-T-t تقریبی دگرگونی اکلوزیت‌های منطقه مورد مطالعه را با استفاده از تغییرات ترکیبی در زونینگ گارنت بازسازی کرد. شکل ۱۱ ترسیمی است کیفی از مسیر P-T-t برای دگرگونی رخساره اکلوزیت 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 اکلوزیت‌ها در مسیر دگرگونی قهقرایی به گارنت آمفیبولیت تبدیل شده‌اند، بنابراین مسیر برگشت آنها از میدان رخساره آمفیبولیت عبور کرده است.



شکل ۱۱ یک ترسیم کیفی از مسیر P-T-t تقریبی برای دگرگونی رخساره اکلوزیت 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) داودیان دهکردی علیرضا، نوربهرت ایرج، خلیلی محمود، محجل محمد، شبانیان بروجنی ناهید، "نتایج تحقیقات مقدماتی از پیدایش اکلوزیت‌های 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 unloading 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.