



بررسی عوامل کنترل کننده ریخت‌شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه همدان

زهرا حسین میرزایی*^۱، علی اصغر سپاهی^۲، محسن مؤذن^۳، زهره حسین میرزایی^۱، رسول دادخواه^۴

۱- عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۳- گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، تبریز

۴- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم پایه، گروه زمین‌شناسی، مشهد

(دریافت مقاله: ۸۸/۱۱/۱۱، نسخه نهایی: ۸۹/۳/۵)

چکیده: منطقه‌ی مورد بررسی، بخشی از استان همدان است که در زون دگرگونی سنندج-سیرجان قرار گرفته است. سنگ‌های دگرگون منطقه را می‌توان به سه گروه سنگ‌های دگرگون مجاورتی، دگرگون ناحیه‌ای و میگماتیت‌ها رده‌بندی کرد. بلورهای گارنت تقریباً در تمامی سنگ‌های دگرگون منطقه (جز اسلیت‌ها و فیلیت‌ها) و در سنگ‌های آذرین (آپلیت‌ها، پگماتیت‌ها و مونزوگرانیت‌ها) حضور دارند. این گارنت‌ها از نظر ریخت‌شناسی به سه پیکربندی تقسیم می‌شوند، دوازده وجهی خاص {۱۱۰}، دوزنقه وجهی خاص {۲۱۱} و پیکربندی‌های ترکیبی که خود شامل دوازده وجهی ویژه، ترکیبی کامل و دوزنقه وجهی ویژه. پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص در گارنت آمفیبول شایسته‌ها، گاهی در گارنت میکا شایسته‌ها، به ندرت در مزوسوم میگماتیت‌ها و گاهی در گارنت میکا هورنفلس‌ها دیده می‌شوند. در آپلیت‌های گارنت‌دار و پگماتیت‌های گارنت‌دار نیز گارنت‌ها دارای پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص هستند. بلورهای گارنت در سنگ‌های گارنت‌دار دیگر منطقه، پیکربندی بلوری ترکیبی را به وجود می‌آورند. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر ریخت‌شناسی این بلورها ترکیب شیمیایی است. به این صورت که با افزایش نسبت Mn/Ca و $(Mn+Mg)/Ca$ پیکربندی بلوری گارنت‌ها از دوازده وجهی به دوزنقه وجهی تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: گارنت، پیکربندی دوازده وجهی خاص، پیکربندی دوزنقه وجهی خاص، پیکربندی‌های ترکیبی.

مقدمه

بدون آب به صورت $R_3R'_2(SiO_4)_3$ است. که در جایگاه R کاتیون‌های دو ظرفیتی Ca^{2+} ، Mn^{2+} ، Fe^{2+} ، Mg^{2+} و در جایگاه R' کاتیون‌های سه ظرفیتی Al^{3+} ، Cr^{3+} ، Fe^{3+} قرار می‌گیرند [۲،۳]. معمولاً در جایگاه R و R' بیشتر از یک کاتیون جانشین می‌شوند و در نتیجه بلورهای گارنت به صورت

ریخت‌شناسی بلورها، شامل شکل و ظاهر سطوح و نسبت زاویه‌ی بین آن‌هاست که به وسیله‌ی عوامل درونی مانند ساختار بلوری و عوامل خارجی که کنترل کننده‌ی رشد بلورها هستند، تعیین می‌شود [۱]. فرمول عمومی بلورهای گارنت

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۳۱۶۷۸۸۲۸، نامبر: ۸۲۵۳۴۶۷ (۰۸۱۱)، پست الکترونیکی: z.mirzaee@gmail.com

کردیریت (\pm آندالوزیت) هورنفلس، کردیریت پتاسیم فلدسپار هورنفلس و سیلیمانیت پتاسیم فلدسپار هورنفلس تشکیل می-دهند. میگماتیت‌های منطقه را نیز می‌توان به دو دسته سیلیمانیت میگماتیت و کردیریت میگماتیت رده بندی کرد. بلورهای گارنت تقریباً در تمامی سنگ‌های دگرگون منطقه، به جز اسلیت‌ها و فیلیت‌ها حضور دارند. سنگ‌های پلوتونیک اصلی منطقه نیز شامل گرانیتوئیدها، دیوریت و گابروئیدها هستند که به وسیله رگه‌های آپلیتی-پگماتیتی و رگه‌های سیلیسی قطع شده‌اند و این بلورها در آپلیت‌ها، پگماتیت‌ها و مونزوگرنیت‌ها مشاهده می‌شوند.

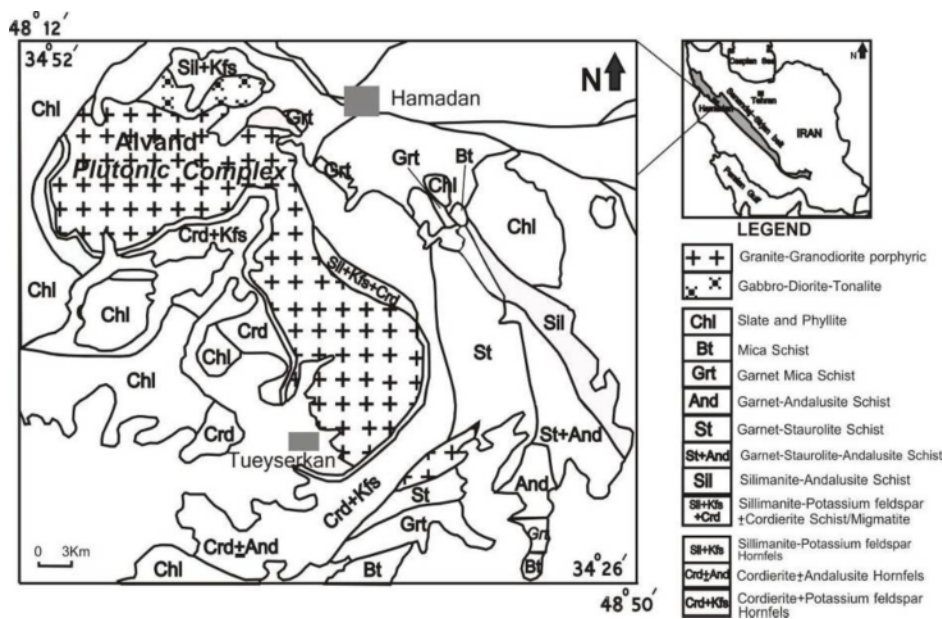
روش بررسی

به‌منظور بررسی سنگ‌شناسی و ریخت‌شناسی بلورهای گارنت موجود در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه، پس از بررسی-های صحرایی و نمونه‌برداری سیستماتیک، از نمونه‌های مورد بررسی مقطع نازک تهیه شد. پس از بررسی‌های سنگ‌شناسی، نمونه‌های سنگ کل و بلورهای گارنت در آزمایشگاه‌های کانپژوه تهران و طیف کانساران بینالود مشهود، به روش XRF تجزیه شیمیایی شدند. همچنین بلورهای گارنت موجود در نمونه‌های مناسب با استفاده از ریز پردازنده‌ی الکترونی JEOL 8900 در گروه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک دانشگاه مینسوتا آمریکا، با ولتاژ شتاب دهنده‌ی ۱۵ kV و جریان ۲۵ nA بررسی شدند.

سری‌های یکریخت (محلول جامد) رشد می‌کنند. در این پژوهش سعی بر این بوده است که با استفاده از بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی متعدد عوامل مؤثر بر ریخت‌شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه به دقت بررسی شوند.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه‌ی مورد بررسی بخشی از استان همدان است که بین طول‌های جغرافیایی $48^{\circ}24'51.6''$ تا $48^{\circ}45'29.6''$ شمالی و عرض‌های جغرافیایی $34^{\circ}32'9.3''$ تا $34^{\circ}51'35.5''$ شرقی قرار گرفته است و از نظر زمین‌شناسی، در زون سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد (شکل ۱) توده‌ی پلوتونیک الوند مهم-ترین پدیده‌ی آذرین منطقه است که پیرامون آن را سنگ‌های دگرگون مجاورتی و ناحیه‌ای با درجه‌ی دگرگونی پایین تا بالا فرا گرفته است. سنگ‌های دگرگون همدان را می‌توان به سه گروه سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای، دگرگون مجاورتی و میگماتیت‌ها رده‌بندی کرد. سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای منطقه از اسلیت، فیلیت، میکاشیست، گارنت میکاشیست، گارنت آندالوزیت (\pm سیلیمانیت، \pm کیانیت) شیست، گارنت استارولیت شیست، آمفیبول شیست و آمفیبولیت تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دگرگون مجاورتی منطقه را نیز میکا هورنفلس، گارنت هورنفلس، گارنت-آندالوزیت (\pm فیبرولیت) هورنفلس،



شکل ۱ موقعیت زون سنندج-سیرجان، همراه با نقشه‌ی سنگ‌شناسی منطقه‌ی همدان [۱۱].

و دوزنقه وجهی‌هایی، با ۱۲ سطح لوزی شکل (با دوازده وجه) و ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای شکل (با رخ‌های دوزنقه‌ای) و مجموعاً دارای ۳۶ سطح است.

۲-۳- پیکربندی دوازده وجهی ویژه: ترکیبی است از پیکربندی دوازده وجهی و دوزنقه وجهی، با ۱۲ سطح لوزی شکل (به صورت دوازده وجه) و ۲۳-۱ سطح شبه دوزنقه‌ای (دوزنقه وجهی)، که تعداد سطوح آن می‌تواند بین ۱۳ تا ۳۵ سطح تغییر کند.

۳-۳- پیکربندی دوزنقه وجهی ویژه: ترکیبی است از دوازده وجهی‌ها و دوزنقه وجهی‌ها، با ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای شکل (پیکربندی دوزنقه وجهی) و ۱۱-۱ سطح لوزی شکل (دوازده وجهی)، تعداد سطوح این پیکربندی می‌تواند بین ۲۵ تا ۳۵ سطح تغییر کند.

پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص

در این پیکربندی بلورهای گارنت دارای ۱۲ سطح لوزی شکل بوده و به صورت شاخص {۱۱۰} نمایش داده می‌شوند (شکل ۲). گارنت‌هایی که به این شکل متبلور می‌شوند تمامی سطوحشان در حالت ایده‌آل خود بوده و هیچ‌گونه سطوح اضافی و جدید در نمونه‌ی دستی آن‌ها دیده نمی‌شود (شکل ۳).

برای آگاهی از ریخت بلورهای گارنت، پس از بررسی‌های صحرایی، این بلورها در آزمایشگاه با میکروسکوپ بینوکولار و روش تغییر متناوب زاویه‌ی تابش نور به بلور مورد بررسی قرار گرفتند. لازم به یادآوری است که فرمول ساختاری گارنت‌ها با استفاده از روش رسل و همکاران [۴] با فرض ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن محاسبه شد. در این مقاله علاوه بر اختصاری کانی‌ها بر مبنای کرتز [۵] بوده و نامگذاری سنگ‌ها نیز، بنا بر پیشنهاد اتحادیه‌ی بین‌المللی علوم زمین [۶] انجام گرفت.

بحث و بررسی

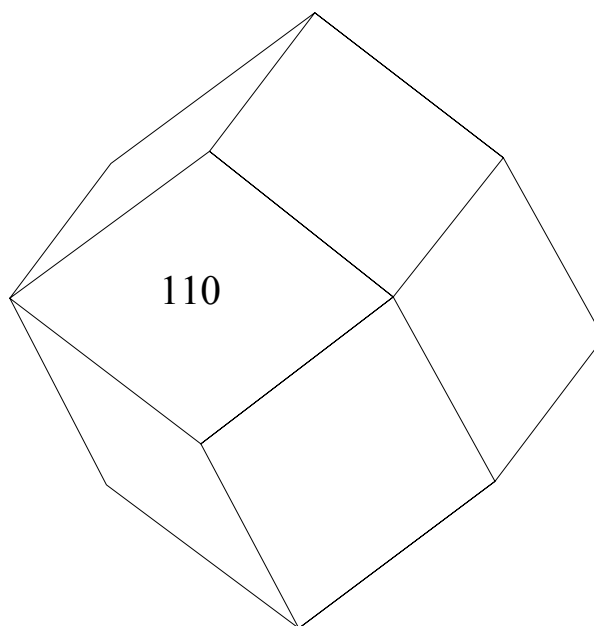
بلورهای گارنت منطقه در پیکربندی‌های دوازده وجهی، دوزنقه وجهی و ویژه تشکیل می‌شوند. ولی در بعضی از بلورها سطوح لوزی شکل نسبت به سطوح شبه دوزنقه‌ای رشد بیشتری داشته‌اند و یا سطوح شبه دوزنقه‌ای شکل بهتر رشد کرده‌اند. تقسیم‌بندی زیر [۷] شامل سه گروه و سه زیر گروه است که، برای ریخت‌شناختی بلورهای منطقه پیشنهاد شده است.

۱. پیکربندی دوازده وجهی خاص با ۱۲ سطح لوزی شکل، با شاخص {۱۱۰}.

۲. پیکربندی دوزنقه وجهی (ایکوزی تتراهدرن) خاص با ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای شکل {۲۱۱}.

۳. پیکربندی‌های ترکیبی:

۱-۳- پیکربندی ترکیبی کامل: این پیکربندی از دوازده وجهی



شکل ۲ تصویر پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص {۱۱۰} [۱۲].



شکل ۳ بلور گارنت با پیکربندی دوازده وجهی خاص {۱۱۰}، اندازه بلور تقریباً ۱۰ میلی متر است.

دوزنقه‌ای ویژه کمتر مشاهده می‌شوند.

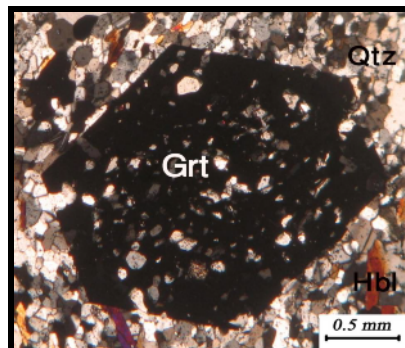
پیکربندی بلوری دوازده وجهی ویژه

این پیکربندی ترکیبی از دو پیکربندی بلوری دوازده وجهی {۱۱۰} و دوزنقه وجهی {۲۱۱} است. بلورهای گارنت در این پیکربندی دارای ۱۲ سطح لوزی شکل (دوازده وجهی) بوده و تعداد سطوح شبه دوزنقه‌ای (دوزنقه وجهی) آن بین ۱ تا ۲۳ سطح متغیر است. لازم به یادآوری است که در این پیکربندی، تعداد سطوح بین ۱۳ تا ۳۵ سطح است (شکل ۵).

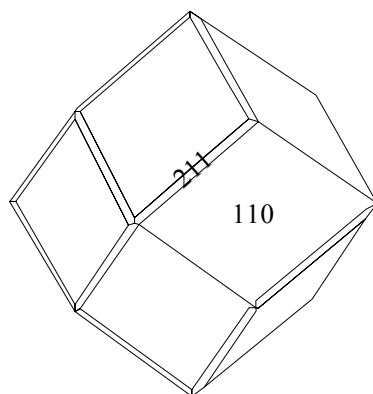
این پیکربندی بلور در گارنت آمفیبول شیست‌ها، گاهی در گارنت-میکا شیست‌ها، گارنت-میکا هورنفلس‌ها و گاهی در مزوسوم میگماتیت‌ها دیده می‌شود. در مقاطع میکروسکوپی نیز این بلورها کاملاً ایدئوبلاستیک هستند (شکل ۴).

پیکربندی بلوری ترکیبی

این پیکربندی به سه زیر گروه دوازده وجهی ویژه، ترکیبی کامل و دوزنقه وجهی ویژه تقسیم می‌شود. شکل دوازده وجهی ویژه نسبت به پیکربندی ترکیبی کامل و دوزنقه وجهی ویژه گسترش بیشتری دارد و پیکربندی‌های ترکیبی کامل و



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی گارنت با پیکربندی دوازده وجهی خاص {۱۱۰}، در گارنت آمفیبول شیست (تصویر در نور X.P.L.).



شکل ۵ تصویر پیکربندی بلوری دوازده وجهی ویژه، تشکیل شده از دو پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوزنقه وجهی {۲۱۱}.

وجهی) آن بین ۱ تا ۱۱ سطح متغیر است. تعداد سطوح در این پیکربندی بین ۲۵ تا ۳۵ سطح است (شکل ۷).

گارنت‌های با پیکربندی بلوری ترکیبی در سنگ‌های گارنت- میکا شیست، گارنت- گرافیت شیست، گارنت- آندالوزیت شیست، گارنت- استارولیت شیست، گارنت- آندالوزیت- سیلیمانیت شیست، میگماتیت (لوکوسم، مزوسم، ملانوسم)، گارنت- میکا هورنفلس، گارنت- استارولیت هورنفلس، گارنت- کیانیت آندالوزیت- استارولیت هورنفلس، استارولیت- گارنت- کردیریت هورنفلس، گارنت- سیلیمانیت- پتاسیم فلدسپار هورنفلس، گارنت- کردیریت- پتاسیم فلدسپار هورنفلس، گارنتیت و مونزوگرانیت دیده می‌شوند.

پیکربندی دوزنقه وجهی (هشت وجهی چهارگوش) خاص

بلورهای گارنت که در این پیکربندی متبلور می‌شوند دارای ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای است و با شاخص {۲۱۱} مشخص می‌شوند (شکل ۸). این بلورهای گارنت در نمونه‌ی دستی دارای سطوح و یال‌های کامل بوده و سطوح اضافی در آن‌ها دیده نمی‌شوند. در این پیکربندی، بلورهای گارنت معمولاً درشت‌تر از پیکربندی دوازده وجهی خاص هستند و در آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها دیده می‌شوند (شکل ۹). در جدول ۱ پیکربندی بلوری گارنت در سنگ‌های منطقه آورده شده است.

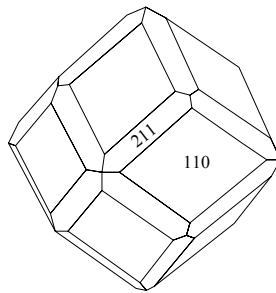
در این پیکربندی دوازده وجهی ویژه سطوح بلوری جدید (دوزنقه وجهی) در پیوندگاه سطوح به صورت لوزی ظاهر می‌شوند. ممکن است سطوح جدید در تمام یال‌ها ظاهر نشده باشند و نسبت به پیکربندی دوزنقه وجهی خاص چند سطح بیشتر داشته باشد. این سطوح گسترش چندانی نداشته و به سختی قابل رؤیت هستند.

پیکربندی بلوری ترکیبی کامل

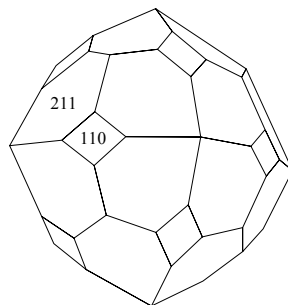
این پیکربندی ترکیبی از پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوزنقه وجهی {۲۱۱} است. بلورهای گارنت در این پیکربندی، دارای ۱۲ سطح لوزی شکل (پیکربندی دوازده وجهی) و ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای شکل (دوزنقه وجهی) هستند، و در مجموع این گارنت‌ها دارای ۳۶ سطح‌اند (شکل ۶). در این پیکربندی بلوری، سطوح جدید (دوزنقه وجهی) در تمام یال‌ها ظاهر شده و گسترش یافته‌اند.

پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی ویژه

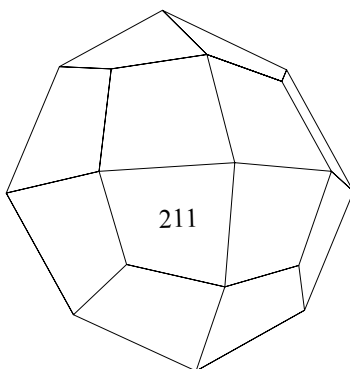
این پیکربندی بلوری نیز ترکیبی از پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوزنقه وجهی {۲۱۱} است، با این تفاوت که بلورهای گارنت در این پیکربندی دارای ۲۴ سطح شبه دوزنقه‌ای (دوزنقه وجهی) بوده و تعداد سطوح لوزی شکل (دوازده



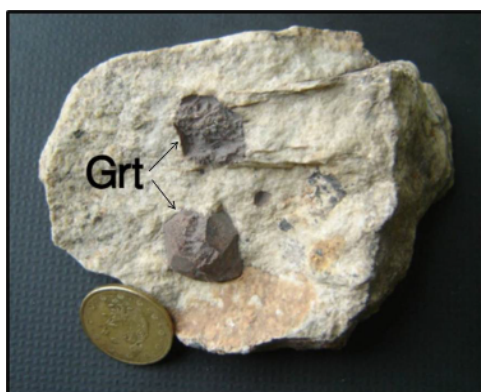
شکل ۶ تصویر پیکربندی بلوری ترکیبی کامل، تشکیل شده از دو پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوزنقه وجهی {۲۱۱} [۱۲].



شکل ۷ تصویر پیکربندی بلور دوزنقه وجهی ویژه، تشکیل شده از دو پیکربندی دوزنقه وجهی {۲۱۱} و دوازده وجهی {۱۱۰} [۱۲].



شکل ۸ تصویر پیکربندی بلور دوزنقه وجهی خاص، {۲۱۱} [۱۲].



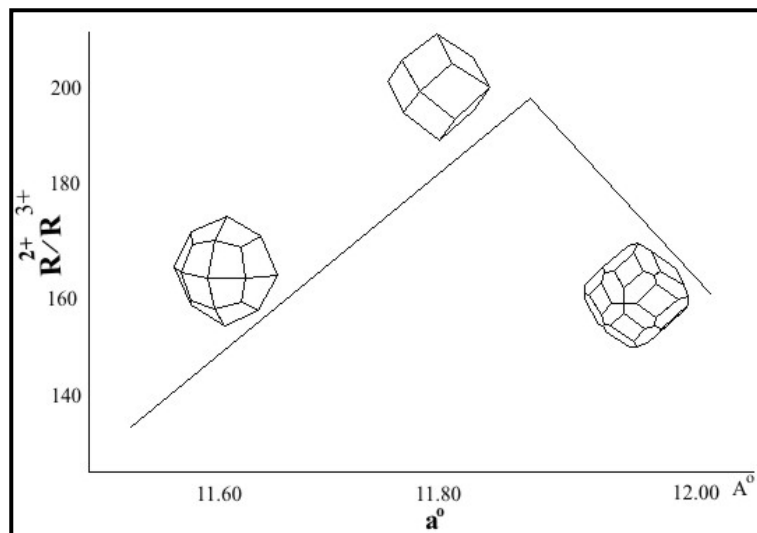
شکل ۹ تصویر ماکروسکوپی از بلور گارنت با پیکربندی دوزنقه وجهی خاص {۲۱۱}.

جدول ۱ پیکربندی بلور گارنت در انواع سنگ‌های گارنت‌دار منطقه.

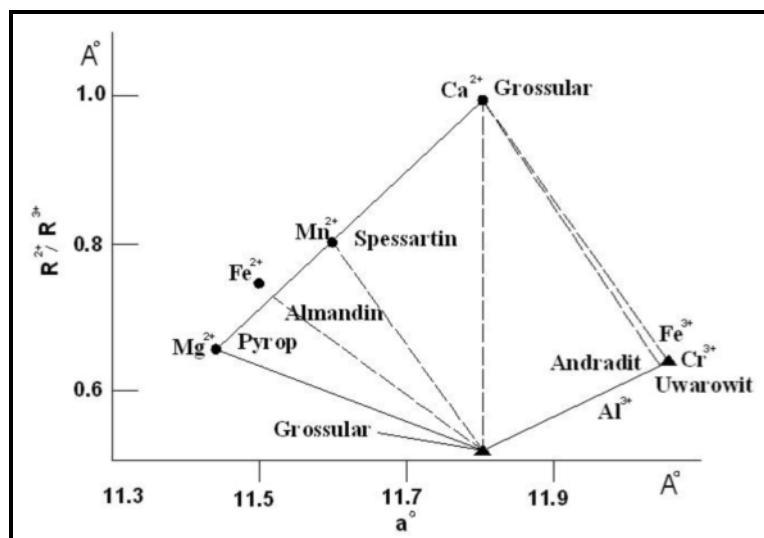
فرم بلوری گارنت در این سنگ‌ها	انواع سنگ‌های گارنت‌دار منطقه	
پیکربندی ترکیبی، گاهی با پیکربندی دوازده وجهی خاص	گارنت میکا شیست	سنگ‌های گروگن ناحیه‌ای و میگماتیت‌ها
پیکربندی ترکیبی	گارنت گرافیت شیست	
پیکربندی ترکیبی	گارنت آندالوزیت شیست	
پیکربندی ترکیبی	گارنت استارولیت شیست	
پیکربندی ترکیبی	گارنت آندالوزیت سیلیمانیت شیست	
پیکربندی دوازده وجهی خاص	گارنت آمفیبول شیست	
پیکربندی ترکیبی	گارنتیت	
پیکربندی ترکیبی، گاهی پیکربندی دوازده وجهی خاص (بیشتر در مزوسوم)	گارنت میکا هورنفلس	سنگ‌های گروگن مجاورتی
پیکربندی ترکیبی	گارنت کیانیت آندالوزیت استارولیت هورنفلس	
پیکربندی ترکیبی	گارنت استارولیت هورنفلس	
پیکربندی ترکیبی	استارولیت گارنت کردیریت هورنفلس	
پیکربندی ترکیبی	گارنت سیلیمانیت پتاسیم فلدسپار هورنفلس	
پیکربندی ترکیبی	گارنت کردیریت پتاسیم فلدسپار هورنفلس	
دوزنقه وجهی خاص	آپلیت	سنگ‌های آذرین
دوزنقه وجهی خاص	پگماتیت	
پیکربندی ترکیبی	مونزوگرانیت	

پیکربندی بلوری گارنت‌ها از دوازده وجهی به دوزنقه وجهی تغییر می‌کند. این تغییر پیکربندی را می‌توان را به این صورت بیان داشت که در گارنت‌های غنی از آلماندین با نسبت پایین X_{Grs}/X_{Sps} و $X_{Grs}/(X_{Sps}+X_{Prp})$ پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شود و گارنت‌هایی با نسبت بالا X_{Grs}/X_{Sps} و $X_{Grs}/(X_{Sps}+X_{Prp})$ ، پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص ایجاد می‌شود. همچنین گارنت‌هایی با نسبت میانگین روابط بالا، دارای پیکربندی بلوری ترکیبی هستند (جدول ۲).

تأثیر ترکیب شیمیایی بر ریخت‌شناسی بلورهای گارنت
ترکیب شیمیایی بلورهای گارنت، نسبت کاتیون‌های دوزنقه‌ای به سه ظرفیتی و اندازه‌ی [یاخته‌ی یکه] از عوامل مؤثر بر پیکربندی بلوری گارنت‌ها هستند [۹، ۸] (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). با توجه به نمودارهای پیشنهادی کاستف، رسلر و بررسی تغییر درصد کاتیون‌های عناصر در پیکربندی دوازده وجهی خاص و دوزنقه وجهی خاص در بلورهای گارنت منطقه، می‌توان به این نکته اشاره کرد که نسبت کاتیون‌های Ca^{2+} و Mn^{2+} بیشترین نقش را در تعیین پیکربندی بلورهای گارنت دارند. به این صورت که با افزایش نسبت Mn/Ca و $(Mn+Mg)/Ca$



شکل ۱۰ تغییر پیکربندی بلورهای گارنت وابسته به نسبت کاتیون‌های دو ظرفیتی به سه ظرفیتی و اندازه‌ی یخته‌ی یکه [۸].



شکل ۱۱ تغییر ترکیب شیمیایی بلورهای گارنت وابسته به نسبت کاتیون‌های دو ظرفیتی به سه ظرفیتی و اندازه‌ی یخته‌ی یکه [۹].

جدول ۲ بررسی تأثیر درصد کاتیون‌ها و اعضای گارنت، در پیکربندی بلوری گارنت‌ها.

Samples/Oxides	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	Grt	mig	Hrf	۱Aplite	Aplite ۲	۳Aplite	۴Aplite
	۱schist	۲schist	۳schist	۴schist	۵schist	۵schist	۷schist	migmatite	Hornfels	Aplite	Aplite	Aplite	Aplite
Garnet crystal forms	ddk	ddk	ddk	mixed	mixed	mixed	mixed	mixed	ddk	tpz	tpz	tpz	tpz
Mn/Ca	۱,۸۰	۷۶,۲	۶۱,۲	۴۱,۳	۵۷,۱	۷۱,۲	۱۳,۲	۵۲,۲	۷۷,۱	۰,۰۶	۰,۰۸	۱۴,۱۳	۱۱,۸
(Mn+Mg)/Ca	۶۰,۲	۷۱,۳	۲۵,۳	۰,۷۴	۴۰,۲	۳۸,۳	۸۲,۲	۶۸,۳	۹۵,۲	۷۸,۷	۰,۰۹	۰,۰۱۵	۵۶,۸
Ca/Mn	۵۶,۰	۳۶,۰	۳۸,۰	۲۹,۰	۶۴,۰	۳۷,۰	۴۷,۰	۴۰,۰	۵۶,۰	۱۷,۰	۱۳,۰	۰,۸۰	۱۲,۰
Ca/(Mn+Mg)	۳۸,۰	۲۷,۰	۳۱,۰	۲۵,۰	۴۲,۰	۳۰,۰	۳۵,۰	۲۷,۰	۳۴,۰	۱۳,۰	۱۱,۰	۰,۷,۰	۱۲,۰
XGr _s /XSp _s	۵۳,۰	۳۷,۰	۳۶,۰	۲۷,۰	۶۷,۰	۳۶,۰	۴۵,۰	۳۸,۰	۵۴,۰	۱۵,۰	۰,۰۱	۰,۵,۰	۱۰,۰
XGr _s /(XSp _s +XPyp)	۳۶,۰	۲۸,۰	۲۹,۰	۲۳,۰	۴۳,۰	۲۹,۰	۳۴,۰	۲۵,۰	۳۲,۰	۱۲,۰	۰,۹,۰	۰,۴,۰	۰,۹,۰
XSp _s /XGr _s	۸۹,۱	۷۱,۲	۷۵,۲	۶۷,۳	۵۰,۱	۷۵,۲	۲۰,۲	۶۷,۲	۸۶,۱	۶۷,۶	۰,۰۱۰	۰,۰۲۱	۵۰,۱۰
XSp _s /(XGr _s +XPyp)	۰,۰۱	۴۶,۱	۵۷,۱	۲۰,۲	۸۳,۰	۵۷,۱	۲۹,۱	۱۴,۱	۸۱,۰	۲۲,۲	۰,۰۵	۲۵,۵	۰,۰۷

پیرالسپیت بوده و بیشتر پیکربندی‌های دوازده وجهی و ترکیبی در این سنگ‌ها دیده می‌شوند. سنگ‌های آذرین اسیدی نیز به دو گروه تقسیم می‌شوند:

مونوزوگرانیت‌های گارنت‌دار: گارنت‌های موجود در این سنگ‌ها غنی از آلماندین بوده و دارای خاستگاه دگرگونی هستند. این گارنت‌ها اغلب دگرسان شده‌اند و بیوتیت و کلریت در قالب بلورهای گارنت قرار می‌گیرند. در نتیجه تشخیص پیکربندی بلوری آن‌ها مشکل است. ولی در بعضی از بلورهای گارنت تعدادی از سطوح لوزی شکل و شبه دوزنقه‌ای باقی مانده‌اند که می‌توانیم پیکربندی بلور ترکیبی را در آن‌ها تشخیص دهیم.

آپلیت‌ها و پگماتیت‌های گارنت‌دار: پیکربندی بلوری گارنت در آپلیت‌های گارنت‌دار و پگماتیت‌های گارنت‌دار دوزنقه وجهی خاص است. اندازه‌ی گارنت‌های موجود در این سنگ‌ها از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر متغیر بوده و دارای خاستگاه آذرین هستند (شکل ۱۲).

با توجه به مطالب بالا، مقدار کاتیون‌های Ca^{2+} و Mn^{2+} بیشترین تأثیر را بر ریختشناسی بلورهای گارنت دارند و مقدار کاتیون Mg^{2+} تأثیر کمی بر پیکربندی بلوری گارنت‌ها می‌گذارد. با توجه به میزان دما و فشار محیط Ca , Mn , Mg , Fe^{2+} برای جایگزینی در ساختار گارنت به صورت انتخابی عمل می‌کنند. در درجات پایین دما و فشار Ca و Mn وارد ساختار گارنت می‌شوند و گارنت‌های گراسولار و اسپسارتین را تشکیل می‌دهند. لازم به یادآوری است که آلماندین نیز همراه آن‌ها تشکیل می‌شود و به موازات پیشرفت دگرگونی، مقدار آن در گارنت افزایش می‌یابد. در نتیجه می‌توان ترکیب شیمیایی بلورهای گارنت را مهم‌ترین عامل در تعیین ریختشناسی این بلورها دانست.

مقایسه‌ی ریختشناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه

در سنگ‌های دگرگون منطقه، گروه عمومی گارنت‌ها



شکل ۱۲ تصویر ماکروسکوپی از گارنت‌های شکل‌دار در پگماتیت‌های گارنت‌دار منطقه.

پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شوند (نمونه‌ی Aplite، جدول ۴). در حالی که سنگ‌های دگرگون نسبت به این سنگ‌ها غنی‌تر از Ca هستند (نمونه‌ی Amph-sch₁، جدول ۳) و در نتیجه گارنت‌های غنی‌تر از Ca، با پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص (نمونه Grt-Amph Sch، جدول ۵) و پیکربندی ترکیبی در این سنگ‌ها تشکیل می‌شود.

لذا گارنت‌های با خاستگاه دگرگون اغلب دارای پیکربندی دوازده وجهی خاص و ترکیبی هستند ولی گارنت‌های با خاستگاه آذرین اغلب پیکربندی دوزنقه وجهی خاص دارند. این پدیده را می‌توان با ترکیب شیمیایی سنگ مادر این گارنت‌ها توجیه کرد. آپلیت‌های گارنت‌دار (نمونه Aplite، جدول ۳) و پگماتیت‌های گارنت‌دار فقیر از Ca هستند، در نتیجه گارنت‌های تشکیل شده در این سنگ‌ها نیز فقیر از Ca بوده و در

جدول ۳ نتایج آنالیز شیمیایی چند نمونه از سنگ‌های گارنت‌دار منطقه به روش XRF

Sampels/Oxides (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	TiO ₂	MnO	CaO	P ₂ O ₅	Fe ₂ O ₃
Grt-Amph Sch	۵۹٫۸۹	۱۳٫۶۵	۰٫۷۲	۲٫۲۲	۰٫۹	۰٫۶۶	۰٫۲۷	۱۲٫۲۹	۰٫۱۲	۷٫۴۷
Grt-Mica Sch	۵۵٫۷۴	۱۸٫۱۴	۱٫۰۹	۲٫۷۲	۶٫۱۰	۰٫۹۵	۰٫۱۲	۲٫۰۳	۰٫۱۵	۹٫۸۰
Aplite1	۷۵٫۲۶	۱۲٫۳۵	۱٫۹۹	۰٫۲۰	۲٫۰۹	۰٫۰۳	۱٫۲۶	۰٫۶۹	۰٫۰۴	۵٫۳۶
Aplite2	۷۱٫۲۴	۱۴٫۲۹	۳٫۲۰	۰٫۰۱	۸٫۹۹	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۴۲	۰٫۲۹	۰٫۶۰
Monzo granite	۶۶٫۹۶	۱۴٫۰۵	۲٫۵۶	۱٫۶۳	۳٫۷۶	۰٫۹۱	۰٫۱۰	۲٫۳۳	۰٫۱۸	۶٫۶۳
Grt-Mica Hrf	۵۲٫۹۸	۲۴٫۱۵	۲٫۷۸	۲٫۸۰	۳٫۵۰	۱٫۴۲	۰٫۱۵	۱٫۰۷	۰٫۱۳	۹٫۰۹
Garnetite	۵۰٫۴۳	۸٫۱۳	۰٫۰۸	۱٫۲۵	۰٫۱۰	۰٫۵۵	۳٫۲۱	۱٫۰۹	۰٫۱۹	۳۴٫۸۸

Sampels/Oxides (ppm)	Ba	Ce	Co	Cr	Cu	Nb	Mo	U	Th	Cl
Grt-Amph Sch	۱۲۳	۶۷	۱۱	۴۴	۱۲	۸	۴	۸	۱۱	۵
Grt-Mica Sch	۳۷۸	۷۶	۱۲	۷۹	۳۶	۹	۴	۴	۱۲	۱۲
Aplite1	۱۵۷	۱۶	۳	۲	-	-	۱	۵	-	۱۲۰
Aplite2	۱۰	۱۴	-	-	۲	۴۴	-	۱۴	۵	۲
Monzo granite	۳۶۵	۵۴	۱۲	۳۳	۱	۲۲	۱	۳	۱۲	۳۱۲
Grt-Mica Hrf	۵۶۲	۲۱۸	۱۸	۱۲۹	۲۷	۱۸	۸	۹	۴۷	۴۰۶
Garnetite	۹۷	۱۰۲	۴۳	۲۱۰	-	۷	۱۱	-	۳	۵۳

جدول ۴ نتایج آنالیز شیمیایی بلورهای گارنت به روش XRF

Samples/Oxides	۱Grt sch	۲Grt sch	۳Grt sch	۴Grt sch	۵Grt sch	۶Grt sch	۷Grt sch	mig	Hrf	۱Aplite	۲Aplite	۳Aplite	۴Aplite
Garnet crystal forms	ddk	ddk	ddk	mixed	mixed	mixed	mixed	mixed	ddk	tpz	tpz	tpz	tpz
SiO ₂	۳۶٫۰۶	۳۹٫۱۹	۳۲٫۷۳	۲۹٫۹۲	۳۹٫۰۹	۳۲٫۳۱	۳۴٫۳۹	۳۴٫۶۸	۳۹٫۰۲	۴۳٫۰۳	۴۱٫۶۴	۳۰٫۸۸	۴۰٫۶۸
TiO ₂	۰٫۴۱	۰٫۰۷	۰٫۵۸	۰٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۱۹	۰٫۶۷	۰٫۳۲	۰٫۲۴	۰٫۰۱	۰٫۱۵	۰٫۰۷	۰٫۱۸
Al ₂ O ₃	۱۹٫۹۸	۱۹٫۹۸	۱۳٫۷۳	۱۳٫۳	۱۹٫۲۶	۱۴٫۰۲	۱۵٫۲	۱۴٫۹۶	۱۹٫۹۹	۱۸٫۹۲	۱۸٫۸۴	۱۳٫۸۴	۱۰٫۴۸
FeO	۳۰٫۵۷	۲۹٫۲۹	۳۴٫۷۴	۳۹٫۲۳	۲۸٫۵	۳۵٫۶۸	۳۱٫۴۶	۳۵٫۸۷	۳۱٫۶۶	۲۸	۳۱٫۵۲	۴۰٫۸	۳۶٫۴۵
MgO	۲	۱٫۶۸	۱٫۷۳	۱٫۴۴	۲٫۰۴	۱٫۷۷	۲٫۱	۲٫۲۹	۲٫۱۵	۱٫۳۵	۰٫۵۷	۱	۰٫۲۹
MnO	۷٫۶۹	۸٫۵۸	۱۲٫۵۴	۱۲٫۸۲	۶٫۸۳	۱۲٫۳۱	۱۱٫۴۳	۸٫۵۸	۵٫۸۵	۸٫۱۳	۸٫۳۳	۱۲٫۰۱	۱۰٫۰۱
CaO	۲٫۴	۲٫۴۱	۳٫۷۸	۲٫۹۴	۳٫۴۲	۳٫۵۸	۴٫۱۸	۲٫۶۸	۲٫۵۸	۱٫۰۷	۰٫۷۸	۰٫۷	۰٫۹۴
Cr ₂ O ₃	۰٫۵۱	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۵۴	۰٫۳۳	۰٫۴۴	۰٫۷۳	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۲۴	۰٫۶۳	-
Number of cations on the basis of 12 Oxygens													
Si ⁴⁺	۲٫۹۶	۳٫۱۲	۲٫۸۹	۲٫۷۱	۳٫۱۶	۲٫۸۵	۲٫۹۶	۲٫۹۹	۳٫۱	۳٫۳۸	۳٫۲۹	۲٫۷۹	۳٫۴۸
Al ³⁺	۱٫۹۳	۱٫۸۸	۱٫۴۳	۱٫۴۲	۱٫۸۳	۱٫۴۶	۱٫۵۴	۱٫۵۲	۱٫۸۷	۱٫۷۵	۱٫۷۶	۱٫۴۷	۱٫۰۶
Fe ²⁺	۲٫۱	۱٫۹۵	۲٫۵۶	۲٫۹۸	۱٫۹۳	۲٫۶۳	۲٫۲۷	۲٫۵۸	۲٫۱۱	۱٫۸۴	۲٫۰۹	۳٫۰۹	۲٫۶۱
Mg ²⁺	۰٫۲۴	۰٫۲	۰٫۲۳	۰٫۱۹	۰٫۲۵	۰٫۲۳	۰٫۲۷	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۱۶	۰٫۰۷	۰٫۱۳	۰٫۰۴
Mn ²⁺	۰٫۵۴	۰٫۵۸	۰٫۹۴	۰٫۹۹	۰٫۴۷	۰٫۹۲	۰٫۸۳	۰٫۶۳	۰٫۳۹	۰٫۵۴	۰٫۵۶	۰٫۹۲	۰٫۷۳
Ca ²⁺	۰٫۳	۰٫۲۱	۰٫۳۶	۰٫۲۹	۰٫۳	۰٫۳۴	۰٫۳۹	۰٫۲۵	۰٫۲۲	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۰۹
Amounts of garnet end members													
XAlm	۰٫۶۶	۰٫۶۶	۰٫۶۳	۰٫۶۷	۰٫۶۶	۰٫۶۴	۰٫۶	۰٫۶۹	۰٫۷۱	۰٫۷	۰٫۷۵	۰٫۷۳	۰٫۷۵
XSps	۰٫۱۷	۰٫۱۹	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۱۵	۰٫۲۲	۰٫۲۲	۰٫۱۶	۰٫۱۳	۰٫۲	۰٫۲	۰٫۲۱	۰٫۲۱
XPy	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰٫۰۴	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۹	۰٫۰۶	۰٫۰۲	۰٫۰۳	۰٫۰۱
XGrs	۰٫۰۹	۰٫۰۷	۰٫۰۸	۰٫۰۶	۰٫۱	۰٫۰۸	۰٫۱	۰٫۰۶	۰٫۰۷	۰٫۰۳	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۲

مقایسه‌ی ریخت‌شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای با دگرگونی مجاورتی

پیکربندی بلوری گارنت در سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای و دگرگون مجاورتی یکسان است. این بلورها در سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای و مجاورتی در پیکربندی‌های دوازده وجهی خاص و ترکیبی متبلور می‌شوند.

لازم به یادآوری است که رژیم دمایی دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی در منطقه تقریباً یکسان است و فشار لیتوستاتیک در دگرگونی ناحیه‌ای ۲ تا ۴ کیلوبار و در دگرگونی مجاورتی چند صد بار تا ۲.۵ کیلوبار است [۱۰]. همچنین در دگرگونی ناحیه‌ای سرعت رشد بلورها کمتر از دگرگونی مجاورتی است. با توجه به مطالب بالا می‌توان پی‌برد که عوامل فشار، تغییرات دما و زمان (سرعت رشد بلورها) تأثیر چندانی بر ریخت‌شناسی بلورهای گارنت ندارند.

مقایسه‌ی ریخت‌شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دمای پایین و دمای بالای دگرگونی ناحیه‌ای

پیکربندی بلوری گارنت در دماهای پایین دگرگونی (گارنت میکا شیست) ترکیبی و در موارد کمتری دوازده وجهی خاص است. در درجات بالای دگرگونی (گارنت استارولیت شیست و میگماتیت‌ها) نیز پیکربندی بلوری گارنت‌ها ترکیبی و در موارد کمتری دوازده وجهی خاص (در مزوسوم میگماتیت‌ها) است. با استناد به مطالب بالا می‌توان به این نتیجه رسید که، دمای دگرگونی و دمای مطلق تشکیل سنگ‌ها تأثیر چندانی بر ریخت‌شناسی بلورهای گارنت ندارند.

تغییرات پیکربندی بلوری گارنت در لیتولوژی‌های غنی و فقیر از کلسیم

گارنت‌های تشکیل شده در سنگ‌های غنی از Ca (گارنت آمفیبول شیست، مانند نمونه‌ی Amph-sch₁، جدول ۳) دارای درصد بالایی CaO هستند. اگر این بلورها در سنگ‌های فقیر از Ca (آپلیت، مانند نمونه‌ی Aplit₂، جدول ۳) تشکیل شوند، درصد CaO پایینی خواهند داشت. هنگام تشکیل گارنت در سنگ‌های غنی از کلسیم، در دما و فشار پایین Ca و Mn وارد ساختار بلوری گارنت می‌شوند. به‌علت بالا بودن کلسیم در ساختار بلوری این گارنت‌ها، پیکربندی دوازده وجهی خاص در این سنگ‌ها تشکیل می‌شود. در سنگ‌های فقیر از کلسیم نیز منگنز وارد ساختار بلوری گارنت شده و پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص را تشکیل می‌دهد. به‌عبارت دیگر میزان

CaO در سنگ مادر یکی از عوامل اصلی در کنترل ترکیب شیمیایی گارنت‌ها و در نهایت ریخت‌شناسی آن‌ها است.

برداشت

بلورهای گارنت به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین پورفایروبلاست‌ها در سنگ‌های دگرگون مجاورتی، ناحیه‌ای، میگماتیت‌ها و سنگ‌های پلوتونیک منطقه حضور دارند. این گارنت‌ها غنی از آلماندین بوده و در پیکربندی‌های بلوری دوازده وجهی خاص، ترکیبی و دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شوند. پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص در گارنت آمفیبول شیست‌ها، گاهی در گارنت-میکا شیست‌ها، گارنت-میکا هورنفلس‌ها و گاهی در مزوسوم میگماتیت‌ها دیده می‌شود. پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص در آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها دیده می‌شود و بلورهای گارنت در سنگ‌های گارنت‌دار دیگر منطقه، پیکربندی بلوری ترکیبی دارند.

ترکیب شیمیایی بلورهای گارنت، نسبت کاتیون‌های دوزنقه‌ای به سه ظرفیتی و اندازه‌ی یاخته‌ی یکی که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تشکیل این پیکربندی‌ها هستند. به این صورت که با افزایش نسبت Mn/Ca و (Mn+Mg)/Ca پیکربندی بلوری گارنت‌ها از دوازده وجهی به دوزنقه وجهی تغییر می‌کند. ترکیب شیمیایی گارنت‌ها به عوامل دما، فشار، ترکیب سنگ مادر، شاره‌ها، زمان، نرخ انتشار عناصر و همگن-شدگی بستگی دارد. ولی ترکیب شیمیایی سنگ مادر گارنت‌ها از مهم‌ترین عوامل تعیین کننده‌ی ترکیب شیمیایی این بلورها و به پیروی از آن پیکربندی بلوری گارنت است. لذا در لیتولوژی‌های غنی از کلسیم، درصد این عنصر در گارنت‌ها بالا بوده و باعث تشکیل پیکربندی بلوری دوازده وجهی خاص می‌شود. در لیتولوژی‌های فقیر از کلسیم به‌علت پایین بودن درصد این عنصر در گارنت‌ها پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شود. به‌عبارت دیگر میزان CaO در سنگ مادر یکی از عوامل اصلی در کنترل ترکیب شیمیایی گارنت‌ها و در نهایت ریخت‌شناسی آن‌هاست.

مراجع

- [1] Klein C., Harlbut Jr.C.S., "Manual of mineralogy", 21st ed., John Wiley and Sons, (1985) 596.
- [2] Li Li H., Kuang X., Mao A., Li Y., Wang S., "Study of local structures and optical spectra for octahedral Fe³⁺ centers in a series of garnet crystals A₃B₂C₃O₁₂ (A = Cd, Ca; B = Al, Ga, Sc,

- new subdivisions: data from pelitic schists, hornfelses and aplites of Hamadan region*", Iran. J. Sci. Tehnology, V. 31, No. A3 (2007).
- [8] Kostov I., "Mineralogy", Cliver and Boyd, London, 587 (1968).
- [9] Rösler H.J., "Lehrbuch der Mineralogie", Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig (1991).
- [10] Sepahi A.A., Whitney D. L., Baharifar A.A., "Petrogenesis of andalusite-kyanite-sillimanite veins and their host rocks, Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Hamadan, Iran", J. Met. Geol, 22 (2004) 119-134.
- [11] Sepahi A.A., "Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: With emphasis on the Alvand plutonic complex", N. Jb. Geol. Palatton. Abn, 247 (2008) 295-312.
- [12] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "Rock forming minerals, Orthosilicates", Longman, 919 (1982).
- In; C = Ge, Si) ", Chemical Physics Letters, 484 (2010) 387-391.
- [3] Locock A., "An Excel spreadsheet to recast analyses of garnet end-member componets, and a synopsis of the crystal chemistry of natural silicate garnets", Computers and Geosciences. V, 34 (2008) 1769-1780
- [4] Russell J.K., Dipple G.M., Lang J.R., Lueck B., "Major-element discrimination of titanium andradite from magmatic and hydrothermal environments; an example from the Canadian Cordillera", Europe. J. Miner, 11 (1999) 919-935.
- [5] Kretz R., "Symbols for rock-forming minerals", Amer. Miner. 69, (1983) 277-279.
- [6] Schmid R., Fettes D., Harte B., Davis E., Desmons J., Silvola J., "Towards a unified neomenclature in metamorphic petrology, 1. How to name a metamorphic rock- An outline no behalf of SCMR", Provisional version on SCMR website (2002).
- [7] Sepahi A.A., "A detailed study of morphology and chemistry of garnet crystals with suggestion of