

(±آندالوزیت) هورنفلس، کردیریت پتاسیم فلدسپار هورنفلس و سیلیمانیت پتاسیم فلدسپار هورنفلس تشکیل می‌دهند. 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 رگ‌های آپلیتی-پگماتیتی و رگ‌های سیلیسی قطع شده‌اند و این بلورها در آپلیت‌ها، پگماتیت‌ها و مونزوگرانیت‌ها مشاهده می‌شوند.

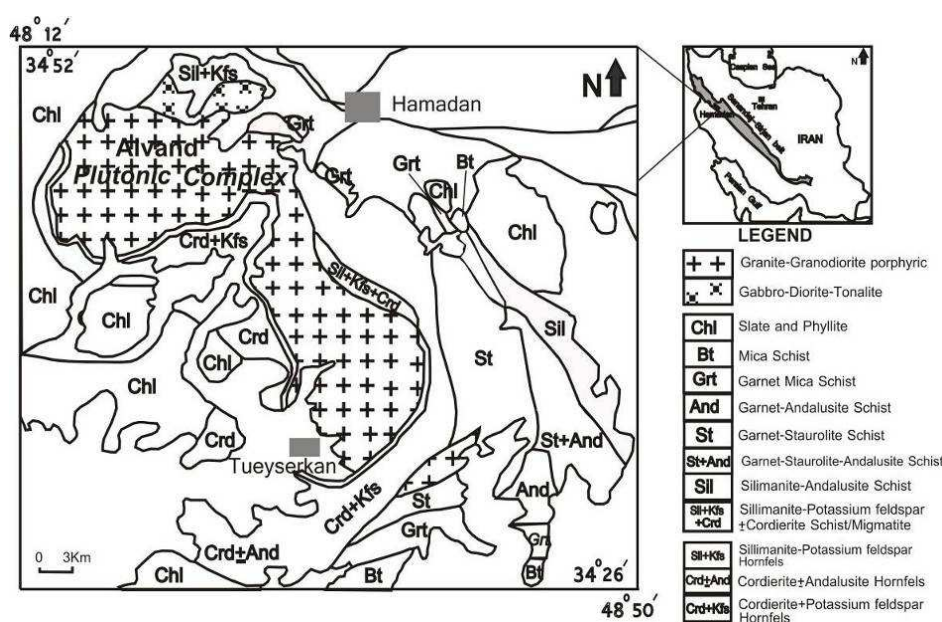
روش بررسی

به‌منظور بررسی سنگ شناسی و ریخت‌شناسی بلورهای گارنت موجود در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه، پس از بررسی‌های 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 یکرخت (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 ۴۸°۲۴′۵۱٫۶" تا ۴۸°۴۵′۲۹٫۶" شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۳۴°۳۲′۹٫۳" تا ۳۴°۵۱′۳۵٫۵" شرقی قرار گرفته است و از نظر زمین‌شناسی، در زون سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد (شکل ۱) توده‌ی پلوتونیک الوند مهم‌ترین پدیده-ی 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 (±سیلیمانیت، ±کیانیت) شیست، گارنت استارولیت شیست، آمفیبول شیست و آمفیبولیت تشکیل شده‌اند. سنگ‌های دگرگون مجاورتی منطقه را نیز میکا هورنفلس، گارنت هورنفلس، گارنت-آندالوزیت (±فیبرولیت) هورنفلس، کردیریت



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 (با وجهای 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 (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 بایکروسکوپ بینوکلار و روش تغییر متناوب زاویه‌ی تابش نور به بلور مورد بررسی گرفتند. لازم به یادآوری فرمول ساختاری گارنت‌ها با استفاده از روشل و همکاران [۴] با فرض ۸ کاتیون و ۱۲ اکسیژن محاسبه شد. در این مقاله علائم اختصاری کانی‌ها بر مبنای کرتز [۵] بوده و نامگذاری سنگ‌ها نیز، بنا بر پیشنهاد اتحادیه‌ی بین‌المللی علوم زمین [۶] انجام گرفت.

بحث و بررسی

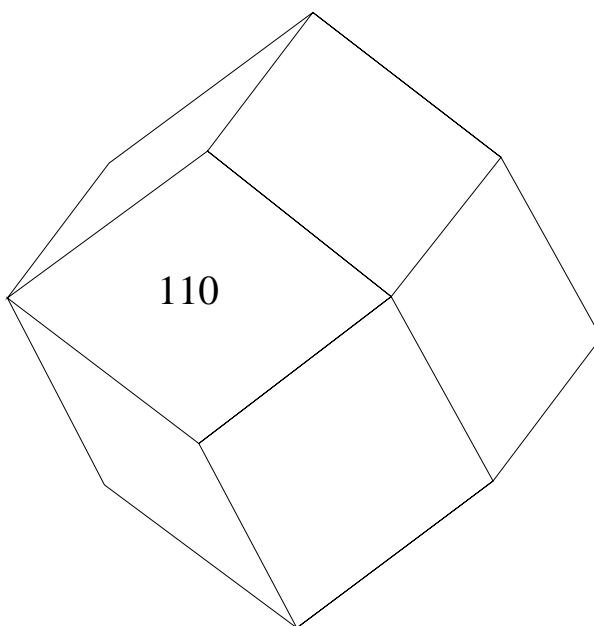
بلورهای گارنت منطقه در پیکربندی‌های دوازده وجهی، دوزنقه وجهی و ویژه تشکیل می‌شوند. ولی در بعضی از بلورها سطوح لوزی شکل نسبت به سطوح شبه دوزنقه‌ای رشد بیشتری داشته‌اند و یا سطوح شبه دوزنقه‌ای شکل بهتر رشد کرده‌اند. تقسیم‌بندی زیر [۷] شامل سه گروه و سه زیر گروه است که، برای ریخت‌شناختی بلورهای منطقه پیشنهاد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

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

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

۳. پیکربندی‌های ترکیبی:

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



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



شکل ۳ بلور گارنت با پیکربندی دوازده وجهی خاص $\{110\}$ ، اندازه بلور تقریباً ۱۰ میلی متر است.

ویژه کمتر مشاهده می شوند.

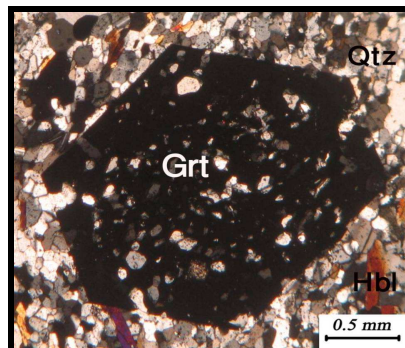
پیکربندی بلوری دوازده وجهی ویژه

این پیکربندی ترکیبی از دو پیکربندی بلوری دوازده وجهی $\{110\}$ و دوزنقه وجهی $\{211\}$ 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).

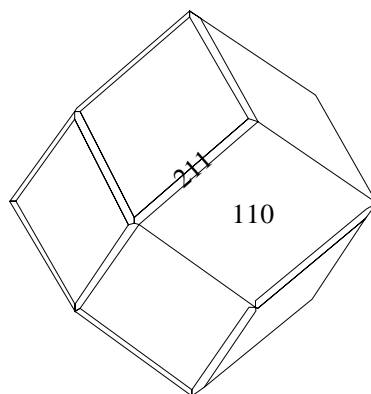
این پیکربندی بلور در گارنت آمفیبول شیست‌ها، گاهی در گارنت-میکا شیست‌ها، گارنت-میکا هورنفلس‌ها و گاهی در مزوسوم میگماتیت‌ها دیده می شود. در مقاطع میکروسکوپی نیز این بلورها کاملاً ایدئوبلاستیک هستند (شکل ۴).

پیکربندی بلوری ترکیبی

این پیکربندی به سه زیر گروه دوازده وجهی ویژه، ترکیبی کامل و دوزنقه وجهی ویژه تقسیم می شود. شکل دوازده وجهی ویژه نسبت به پیکربندی ترکیبی کامل و دوزنقه وجهی ویژه گسترش بیشتری دارد و شکل‌های ترکیبی کامل و دوزنقه‌ای



شکل ۴ تصویر میکروسکوپی گارنت با پیکربندی دوازده وجهی خاص $\{110\}$ ، 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 $\{110\}$ و دوزنقه وجهی $\{211\}$.

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

گارت‌های 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، گارنت- کردیریت هورنفلس، گارنت- سیلیمانیت- پتاسیم فلدسپار هورنفلس، گارنت- کردیریت- پتاسیم فلدسپار هورنفلس، گارنتیت و مونزوگرانیت دیده می‌شوند.

پیکربندی دوازده وجهی (هشت وجهی چارگوش) خاص

بلورهای گارنت که در این پیکربندی متبلور می‌شوند دارای ۲۴ سطح شبه دوازده‌ای 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.

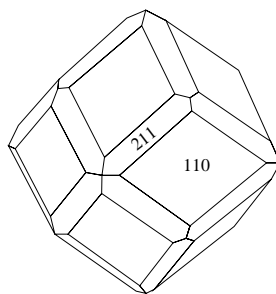
در این پیکربندی دوازده وجهی ویژه سطوح بلوری جدید (دوازده وجهی) در پیوندگاه سطوح به صورت لوزی ظاهر می‌شوند. ممکن است سطوح جدید در تمام یال‌ها ظاهر نشده باشند و نسبت به پیکربندی دوازده وجهی خاص چند سطح بیشتر داشته باشد. این سطوح گسترش چندانی نداشته و به سختی قابل رؤیت هستند.

پیکربندی بلوری ترکیبی کامل

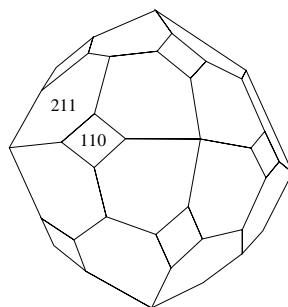
این پیکربندی ترکیبی از پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوازده وجهی {۲۱۱} است بلورهای گارنت در این پیکربندی، دارای ۱۲ سطح لوزی (پیکربندی دوازده وجهی) و ۲۴ سطح شبه دوازده‌ای (دوازده وجهی) هستند، در مجموع این گارنت‌ها دارای ۳۶ سطح اند (شکل ۶). در این پیکربندی بلوری، سطوح جدید (دوازده وجهی) در تمام یال‌ها ظاهر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

پیکربندی بلوری دوازده وجهی ویژه

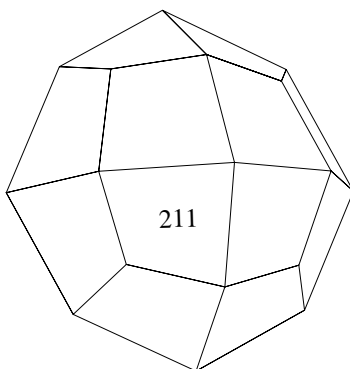
این پیکربندی بلوری نیز ترکیبی از پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوازده وجهی {۲۱۱} است، با این تفاوت که بلورهای گارنت در این پیکربندی دارای ۲۴ سطح شبه دوازده‌ای (دوازده وجهی) بوده و تعداد سطوح لوزی شکل (دوازده



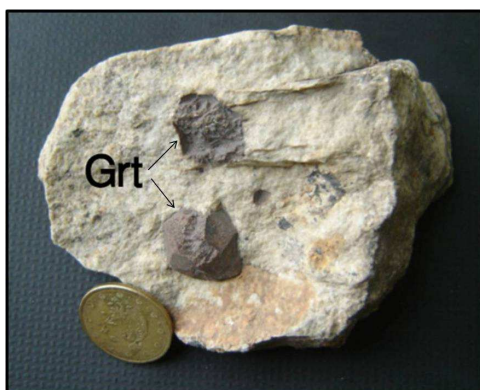
شکل ۶ تصویر پیکربندی بلوری ترکیبی کامل، تشکیل شده از دو پیکربندی دوازده وجهی {۱۱۰} و دوازده وجهی {۲۱۱} [۱۲].



شکل ۷ تصویر پیکربندی بلور دوازده وجهی ویژه، تشکیل شده از دو پیکربندی دوازده 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}.

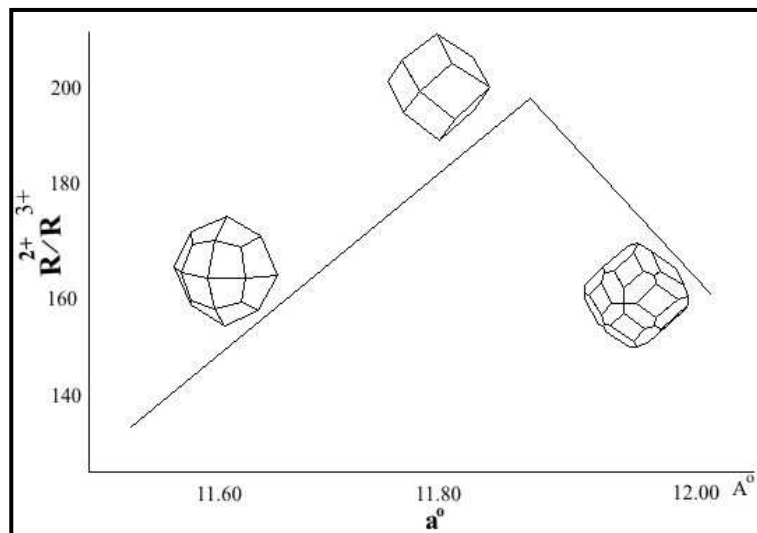
جدول ۱ پیکربندی بلور گارنت در انواع سنگ‌های گارنت‌دار منطقه.

انواع سنگ‌های گارنت‌دار منطقه	فرم بلوری گارنت در این سنگ‌ها
سنگ‌های دگرگون ناحیه‌ای و میگماتیت‌ها	گارنت میکا شیست
	گارنت گرافیت شیست
	گارنت آندالوزیت شیست
	گارنت استارولیت شیست
	گارنت آندالوزیت سیلیمانیت شیست
	گارنت آمفیبول شیست
	گارنتیت
سنگ‌های دگرگونی مجاورتی	پیکربندی (لوکوسم، مزوسم، ملانوسم)
	گارنت میکا هورنفلس
	گارنت کیانیت آندالوزیت استارولیت هورنفلس
	گارنت استارولیت هورنفلس
	استارولیت گارنت کردیریت هورنفلس
	گارنت سیلیمانیت پتاسیم فلدسپار هورنفلس
سنگ‌های آذرین	گارنت کردیریت پتاسیم فلدسپار هورنفلس
	آپلیت
	پگماتیت
	مونوزوگرانیت
	دوزنقه وجهی خاص
	دوزنقه وجهی خاص
	پیکربندی ترکیبی

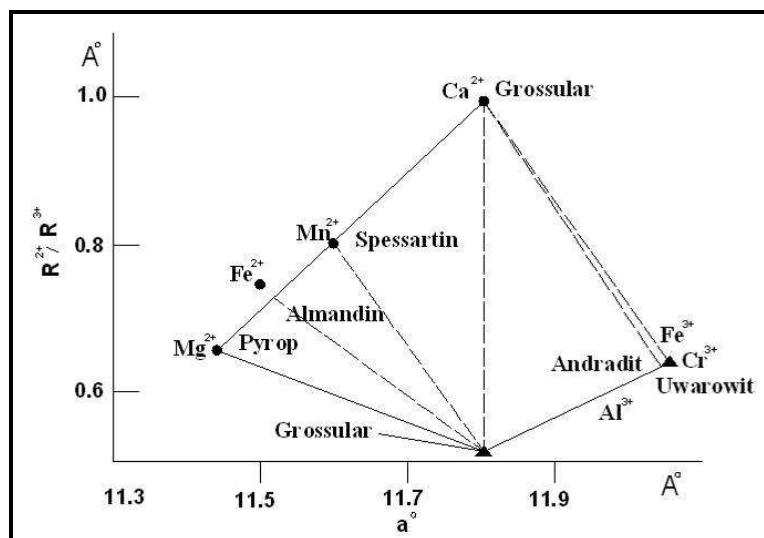
پیکربندی بلوری گارنت‌ها از دوازده وجهی به دوزنقه وجهی تغییر می‌کند. این تغییر پیکربندی را می‌توان را به این صورت بیان داشت که در گارنت‌های غنی از آلماندین با نسبت پایین X_{Grs}/X_{Sps} و $X_{Grs}/(X_{Sps}+X_{Prp})$ پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شود و گارنت‌هایی با نسبت بالا X_{Grs}/X_{Sps} 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	Aplite _۱	Aplite _۲	Aplite _۳	Aplite _۴
	۱schist	۲schist	۳schist	۴schist	۵schist	۵schist	۷schist						
	Garnet Schist	Garnet Schist	Garnet Schist	Garnet Schist	Garnet Schist	Garnet Schist	Garnet Schist	migmatite	Hornfels	Aplite	Aplite	Aplite	Aplite
Garnet crystalforms	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
XGrS/XSpS	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
XGrS/(XSpS+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
XSpS/XGrS	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
XSpS/(XGrS+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	۰٫۴	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	۳٫۴	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

جدول ۵ نتایج آنالیز شیمیایی بلورهای گارنت به روش EPMA

	Grt-KH		Sim-L		Sim-M2		Grt-M-S	
	Garnetite		Leucosome Migmatite		Melanosome Migmatite		Schist	
	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim
SiO ₂	۳۶,۴۷	۳۷,۲۷	۳۵,۹۶	۶۳,۱۰	۳۵,۸۰	۳۷,۲۷	۳۶,۵۰	۳۵,۶۴
TiO ₂	۰,۰۶	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۱۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al ₂ O ₃	۲۱,۶۹	۲۱,۷۸	۲۱,۷۰	۲۱,۵۷	۲۱,۲۷	۲۱,۸۹	۲۱,۴۱	۲۱,۳۲
FeO	۲۶,۳۶	۳۳,۵۹	۲۹,۹۷	۴۳,۲۳	۲۹,۵۳	۳۵,۹۷	۲۷,۱۳	۳۱,۹۹
MnO	۱۲,۹۳	۴,۵۴	۱۰,۱۳	۳,۶۵	۸,۷۰	۲,۶۴	۱۰,۹۱	۵,۵۹
MgO	۱,۲۲	۲,۶۳	۱,۵۹	۲,۶۶	۱,۴۸	۲,۲۶	۱,۵۳	۱,۸۹
CaO	۱,۹۵	۰,۹۵	۱,۰۹	۱,۰۱	۲,۹۳	۱,۸۸	۱,۲۶	۱,۹۴
Total	۱۰۰,۶۸	۱۰۰,۶۷	۱۰۰,۴۴	۹۹,۲۲	۹۹,۸۰	۱۰۱,۹۱	۹۸,۷۴	۹۸,۳۸
Number of cations on the basis of 12 Oxygens								
Si	۲,۹۵	۲,۹۸	۲,۹۳	۲,۹۵	۲,۹۳	۲,۹۶	۲,۹۹	۲,۹۴
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
Al	۲,۰۷	۲,۰۶	۲,۰۸	۲,۰۷	۲,۰۵	۲,۰۵	۲,۰۷	۲,۰۷
Fe	۱,۷۸	۲,۲۵	۲,۰۴	۲,۳۳	۲,۰۲	۲,۳۹	۱,۸۶	۲,۲۱
Mn	۰,۸۹	۰,۳۱	۰,۷۰	۰,۲۵	۰,۶۰	۰,۱۸	۰,۷۶	۰,۳۹
Mg	۰,۱۵	۰,۳۱	۰,۱۹	۰,۳۲	۰,۱۸	۰,۲۷	۰,۱۹	۰,۲۳
Ca	۰,۱۷	۰,۰۸	۰,۱۰	۰,۰۹	۰,۲۶	۰,۱۶	۰,۱۱	۰,۱۷
Amounts of garnet end members								
X _{Alm}	۰,۶۰	۰,۷۶	۰,۶۷	۰,۷۸	۰,۶۶	۰,۸۰	۰,۶۴	۰,۷۴
X _{Sps}	۰,۳۰	۰,۱۰	۰,۲۳	۰,۰۸	۰,۲۰	۰,۰۶	۰,۲۶	۰,۱۳
X _{PyP}	۰,۰۵	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۱۱	۰,۰۶	۰,۰۹	۰,۰۶	۰,۰۸
X _{Grs}	۰,۰۶	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۳	۰,۰۸	۰,۰۵	۰,۰۴	۰,۰۶
	Grt-Gt1		Grt-Gt2		Amph-sch1		Amph-sch2	
	Granite		Granite		Amphibole Schist		Amphibole Schist	
	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim	Core	Rim
SiO ₂	۳۶,۹۱	۳۶,۵۴	۳۷,۴۳	۳۶,۴۳	۳۷,۳۳	۳۷,۲۴	۳۶,۷۷	۳۶,۷۷
TiO ₂	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۱۳	۰,۰۳
Al ₂ O ₃	۲۱,۸۴	۲۱,۴۱	۲۱,۸۴	۲۱,۳۵	۲۱,۶۹	۲۱,۹۴	۲۱,۵۸	۲۱,۲۶
FeO	۳۵,۵۸	۵۳,۳۳	۳۴,۲۰	۳۴,۷۷	۱۵,۶۹	۲۴,۰۱	۲۴,۳۴	۲۵,۹۸
MnO	۱,۳۹	۲,۴۵	۲,۳۹	۲,۸۴	۷,۸۵	۵,۳۸	۵,۰۳	۳,۶۰
MgO	۳,۴۱	۲,۷۹	۴,۰۸	۲,۹۱	۰,۷۳	۱,۲۲	۱,۴۸	۱,۷۴
CaO	۱,۳۱	۱,۳۶	۰,۵۲	۰,۸۷	۱۵,۸۱	۱۰,۳۲	۹,۴۰	۸,۸۵
Total	۱۰۰,۴۵	۹۹,۸۸	۱۰۰,۴۶	۹۹,۱۷	۹۹,۱۶	۱۰۰,۱۵	۹۸,۶۳	۹۸,۲۳
Number of cations on the basis of 12 Oxygens								
Si	۲,۹۶	۲,۹۶	۲,۹۸	۲,۹۷	۲,۹۷	۲,۹۶	۲,۹۷	۲,۹۸
Ti	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۱	۰,۰۰
Al	۲,۰۶	۲,۰۴	۲,۰۵	۲,۰۵	۲,۰۳	۲,۰۶	۲,۰۵	۲,۰۳
Fe	۲,۳۸	۲,۳۹	۲,۲۸	۲,۳۷	۱,۰۴	۱,۶۰	۱,۶۴	۱,۷۶
Mn	۰,۰۹	۰,۱۷	۰,۱۶	۰,۲۰	۰,۵۳	۰,۳۶	۰,۳۴	۰,۲۵
Mg	۰,۴۱	۰,۳۴	۰,۴۸	۰,۳۵	۰,۰۹	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۲۱
Ca	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۴	۰,۰۸	۰,۲۸	۰,۱۸	۰,۸۱	۰,۷۷
Amounts of garnet end members								
X _{Alm}	۰,۸۰	۰,۷۹	۰,۷۷	۰,۷۹	۰,۳۵	۰,۵۴	۰,۵۵	۰,۵۹
X _{Sps}	۰,۰۳	۰,۰۶	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۱۸	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۰۸
X _{PyP}	۰,۱۴	۰,۱۱	۰,۱۶	۰,۱۲	۰,۰۳	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۷
X _{Grs}	۰,۰۴	۰,۰۴	۰,۰۲	۰,۰۳	۰,۴۵	۰,۳۰	۰,۲۷	۰,۲۶

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 شایسته‌ها، گاهی در گارنت-میکا شایسته‌ها، 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 دوظرفیتی 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 به علت پایین بودن درصد این عنصر در گارنت‌ها پیکربندی بلوری دوزنقه وجهی خاص تشکیل می‌شود. به عبارت 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 Fe^{3+} centers in a series of garnet crystals $A_3B_2C_3O_{12}$ ($A = Cd, Ca; B = Al, Ga, Sc,$

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 دمای دگرگونی ناحیه‌ای و دگرگونی مجاورتی در منطقه تقریباً یکسان است و فشار لیتوستاتیک در دگرگونی ناحیه‌ای ۲ تا ۴ کیلو بار و در دگرگونی مجاورتی چند صد بار تا ۲،۵ کیلو بار 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 شایسته) ترکیبی و در موارد کمتری دوازده وجهی خاص است. در درجات بالای دگرگونی (گارنت استارولیت شایسته 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 شایسته، 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. به علت 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. به عبارت دیگر میزان

- 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. Palatou. 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