

کانی شناسی و شیمی-کانی تورمالین و گارنت در گرانیت‌تؤید روستای ملاطالب (شمال الیگودرز) شمال غربی اصفهان

مهین منصوری اصفهانی^{*}، محمود خلیلی^۲

۱- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۱/۴/۷، نسخه نهایی: ۹۱/۹/۲۰)

چکیده: گرانیت‌تؤیدهای روستای ملاطالب به سن ژوراسیک میانی در پهنه‌ی سنندج-سیرجان رخنمون دارد. این توده که در شمال غرب اصفهان واقع شده است بیشتر از دیوریت‌ها، تونالیت‌ها و گرانودیوریت‌های پرآلومینه دو میکائی تشکیل شده و شیل‌ها و اسلیت‌های ژوراسیک (لیاس-دوگر) را قطع کرده است. تورمالین و گارنت در شمار کانی‌های فرعی آشکار گرانودیوریت‌های این منطقه است. تورمالین‌ها نیمه شکل دار تا بدون شکل با چند رنگی قهقهه‌ای تا سیز و گاهی آبی در بین دیگر کانی‌های این سنگ‌ها به مقدار نادر پراکنده‌اند. بر پایه‌ی داده‌ها و نمودارهای ژئوشیمیایی، تورمالین‌های مورد سخن دارای منطقه‌بندی ضعیف شیمیایی و طبیعت دراویت هستند که میزان Mg آن‌ها تا اندازه‌ای افزون بر محتوای Fe است. مقادیر سایر اعضای انتهایی تورمالین‌ها (شورلیت، اوویت، فوئیت) ناچیز است. تورمالینهای Mg دار معمولاً در ارتباط با مجموعه‌های دگرگونی یا دگرنهاد است. خاستگاه نخستین این گونه تورمالین‌ها را می‌توان به سنگ‌های متا-رسوبی از قبیل متا-پلیت‌ها و متا-پسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از Al نسبت داد. گارنت‌ها بی‌شکل و با رگجهایی از بلورهای کوچک بیوتیت و یا مسکویت قطع و یا احاطه شده‌اند که در مواردی ادخال‌های بسیار کوچک این دو کانی را تشکیل می‌دهند. همچنین، به طور جزئی بلورهایی از کلریت در حواشی گارنت‌ها مشاهده می‌شود. ترکیب شیمیایی این کانی‌ها بیشتر از آلماندین است که در حاشیه از اسپسارتین نسبتاً غنی و از پیروپ تا حدودی تهی است. این منطقه بندی معکوس، ویژگی چشمگیر گارنت‌های دگرگونی با درجه‌ی بالاست و به تبلور این کانی در یک رژیم فشار با پایین اشاره دارد که غالباً Mn در مایعات پسمانده از ماقمای در حال تبلور موجب پایداری آن شده است. بر پایه‌ی داده‌های فوق، نهشته‌های پلیتی وابسته به ژوراسیک زیرین در اعماق نسبتاً کم تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای پیشرونده (رخساره آمفیبولیت بالایی- گرانولیت زیرین) قرار گرفته که ذوب بخشی گسترده‌ی متابلیت‌ها را به همراه داشته است. گارنت‌های مورد بررسی از جمله فازهای فرومیزین دار است که در و یا نزدیک به اوج دگرگونی تشکیل شده است.

واژه‌های کلیدی: گرانیت‌تؤید؛ تورمالین؛ گارنت؛ شیمی-کانی؛ روستای ملاطالب؛ پهنه‌ی سنندج - سیرجان.

مقدمه

آن شرایط با کانی‌های اصلی تا اندازه‌ای با دشواری روبروست. بسیاری از عناصر نادر در کانی‌های فرعی جایگزین می‌شوند لذا این کانی‌ها رفتار این گروه از عناصر نادر را در جریان تبلور ماقما و رخدادهای پس از تبلور همچون دگرسانی گرمابی،

کانی‌های فرعی در سنگ‌زایی ماقمای گرانیتی از اهمیت خاصی برخوردارند. وجود این کانی‌ها می‌تواند برخی از شرایط فیزیکو-شیمیایی حاکم بر تبلور ماقما را بیان کند که تفسیر

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۱۱۳۹۱۵۱۰۷، نامبر: ۰۳۱۱۳۹۱۲۷۷۶، پست الکترونیکی: mmansouri_2001@yahoo.com

های آذرین شدیداً کرندم دار یافت می‌شود، به ذوب بخشی منابع رسوبی نسبت داده می‌شود [۸]. گارنت‌ها از جمله فراوان ترین کانی‌های با منطقه‌بندی شیمیایی در سنگ‌های دگرگون به شمار می‌روند که تفسیر صحیح روابط تعادلی آن‌ها برای بررسی سنگ‌های گارنت‌دار بسیار ضروری است. [۹] معتقدند گارنت‌هایی که در فرآیند دگرگونی پیشرونده متارسوبی‌ها متبلور می‌شوند در حاشیه از میزان اسپسارتین بیشتر و از مقدار پیروپ کمتری برخوردارند. این منطقه‌بندی وارون احتمالاً در جریان دگرگونی پسروندۀ ایجاد شده که ضمن آن بخشی از گارنت به وسیله‌ی کلریت جایگزین شده است.

این پژوهش به توصیف ویژگی‌های سنگنگاری و شیمی کانی‌شناختی دو کانی فرعی تورمالین و گارنت توده‌ی نفوذی روستای ملاطالب پرداخته است، تا بر پایه‌ی داده‌های حاصل بتوان به خاستگاه و سرشت این کانی‌ها و پیوند ژنتیکی احتمالی آنها با توده‌ی مورد پژوهش آگاهی یافت.

روش بررسی

مقاطع نازک این پژوهش با میکروسکوپ قطبشی Olympus مدل BH-2 مورد بررسی قرار گرفته است. آنالیز ریزپردازش کانی‌های تورمالین و گارنت به وسیله‌ی دستگاه مدل Cameca-SX50 در دانشگاه اکلاهوماسیتی آمریکا انجام گرفته است. داده‌ها با نرمافزار Spread Sheet بررسی و نیز نمودارهای شیمیایی به وسیله‌ی برنامه‌های Excel و Minpet ترسیم شده‌اند.

زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد بررسی

توده‌ی نفوذی ملاطالب در شمال غرب اصفهان و نزدیک به روستایی به همین نام در شمال الیگودرز استان لرستان قرار دارد و از دیدگاه ساختار زمین‌شناسی در پهنه‌ی سندنج-سیرجان واقع شده است. این توده که سن آن به کرتاسه نسبت داده می‌شود [۱۰] در شیل‌ها، اسلیت‌ها و فیلیت‌های ژوراسیک نفوذ کرده و موجب دگرگونی این رسوب‌ها در حد رخساره‌ی آلبیت-اپیدوت هورنفلس شده است (شکل ۱). براساس بررسی‌های سنگنگاری و ژئوشیمیایی مهمترین سنگ‌های نفوذی این منطقه عبارتند از تونالیت و گرانودیوریت‌های دو میکایی. کانی‌های مهم گرانودیوریت‌ها را کوارتز، پلازیوکلاز، بیوتیت، فلدسپات‌های قلیایی و مسکویت و کانی‌های مهم تونالیت‌ها را کوارتز، پلازیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول تشکیل می‌دهند. سایر کانی‌ها چون آپاتیت و زیرکن به میزان ناچیز در تونالیت‌ها و

کانسارسازی، دگرنهادی و هوازدگی ترسیم می‌کند [۱]. تورمالین و گارنت اگر چه در میان کانی‌های فرعی حجم اندکی از سنگ میزبان خود را تشکیل می‌دهند، ولی در بحث و تفسیر سنگ‌زایی مagma‌ای گرانیتی جایگاه ویژه‌ای دارند.

تورمالین کانی رایج گرانیت‌وئیدها، پگماتیت‌ها و سنگ‌های گرمایی وابسته به آن‌هاست [۲]. این کانی همچنین از شیسته‌های پلیتی و پسامیتی سرزمین‌های دگرگون ناحیه‌ای و کمریندهای شدیداً چین خورده گزارش شده است [۳]. ترکیب شیمیایی متفاوت تورمالین‌ها شاخص روشی است که در تفسیر پتروژئنیکی گرانیت‌ها بشرط می‌رود. ترکیب شیمیایی و منطقه‌بندی تورمالین‌ها بستگی به نوع، خاستگاه magma، سیال اولیه و نیز شرایط فیزیکو-شیمیایی حاکم بر تبلور این کانی سیلیکاتی بوردار دارد.

بر پایه‌ی نظریه‌ی [۴]، تورمالین‌ها در سنگ‌های گرانیت‌وئیدی بیشتر به سری‌های شورلیت-البائیت و نسبتاً غنی از آهن وابسته‌اند. تورمالین‌های حاوی Mg و Fe با میزان Ti^{4+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , Li^{1+} , Fe^{3+} , Fe^{2+} , V^{3+} , Mg^{2+} شوند ویژگی گرانیت‌های پرآلومینه لویکوکراتیک است [۵]. از آنجا که واکنش بین گدازه/سیال و کانی‌های میزبان در هالدهای مجاورتی توده‌های گرانیت‌وئیدی رخ می‌دهد لذا ترکیب تورمالین، شیمی magma، طبیعت سیال و نیز ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناختی سنگ‌های میزبان را بازتاب می‌دهد. خاستگاه اصلی تورمالین نیز بر ترکیب شیمیایی این کانی تأثیرگذار است [۶]. تورمالین‌های magma معمولاً همگن، فاقد و یا دارای منطقه‌بندی ضعیف شیمیایی هستند. همچنین، نسبت $Na/Na+Ca$ و میزان B_2O_3 در آن‌ها بالا است. شرایط تبلور این نوع تورمالین‌ها در magma شدیداً پر آلومینه با محتوای بالای آهن که احتمالاً از نهشته‌های B دار و غنی از Al حاصل شده فراهم می‌شود [۷]. تورمالین‌های گرمایی دارای منطقه‌بندی شیمیایی بوده و میزان Mg آنها نسبت به تورمالین‌های magma بیشتر و اصولاً از نوع محلول جامد شورلیت - دراویت هستند [۵].

گارنت نیز در برخی گرانیت‌ها و پگماتیت‌ها یافت می‌شود. در میان گونه‌های این کانی، اسپسارتین فراوان ترین گارنت پگماتیت-گرانیت‌های است. آلماندین گارنت، کانی پارهای از گرانیت‌های پرآلومین و نیز سنگ‌های نفوذی حدواسط و آهکی-قلیایی است که از بسیاری از نقاط دنیا گزارش شده است [۸]. خاستگاه این گونه از گارنت‌ها که معمولاً در سنگ-

چند رنگی قهوه‌ای تا سبز و گاهی به رنگ آبی است. به طور کلی این کانی ویژگی‌های کانی‌شناختی متغیری دارد، ولی چند رنگی‌های متنوع پلئوکروکوئیسم عموماً بیانگر تغییرات ترکیب شیمیایی تورمالین نیست. (علام اختصاری در شکل-های میکروسکوپی بر اساس [۱۳] انتخاب شده).

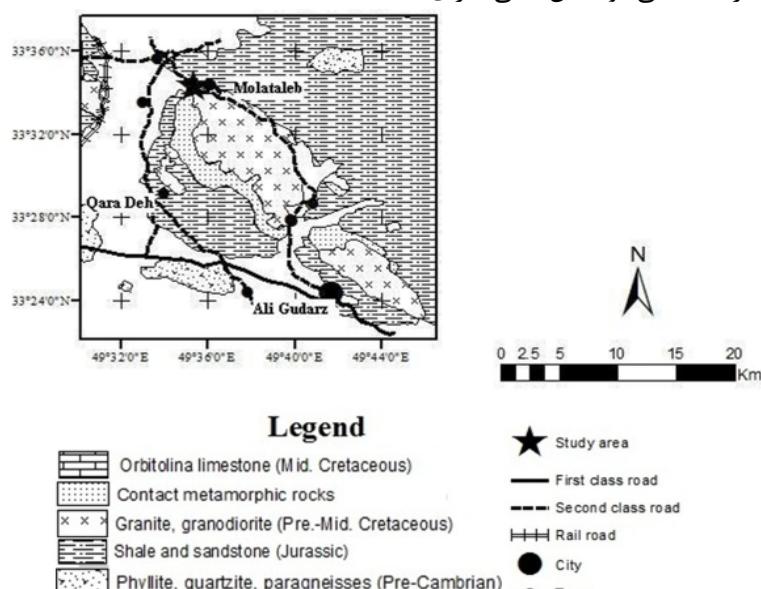
گارنت

این کانی غالباً در ابعاد درشت تا ریزدانه، بدون شکل، خرد شده و دارای شکستگی است که این شکستگی‌ها را دو کانی بیوتیت و مسکویت پر می‌کنند. گارنت‌های مورد پژوهش بیشتر در جوار دو کانی اخیر و گاهی به همراه تورمالین یافت می‌شوند [۱۱، ۱۲]، و در مواردی از آن‌ها به کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۳).

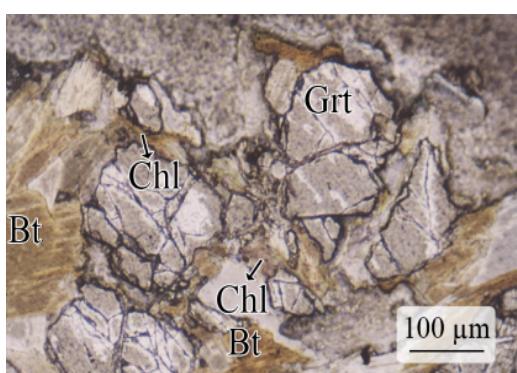
آپاتیت، زیرکن، آلانیت، گارنت و تورمالین در گرانوودیوریت‌ها مشاهده می‌شوند. پیرامون توده‌ی گرانیت‌وئیدی برونزدهای پigmاتیتی با کانی‌های درشت تورمالین، کوارتز، فلدسپات و مسکویت پراکنده‌اند. بر مبنای بازدیدهای صحرایی و بررسی-های سنگنگاری و نیز داده‌های ژئوشیمیائی [۱۱] گرانوودیوریت‌های دو میکایی این منطقه را می‌توان در شماره نوع I [۱۲] قرار داد.

کانی شناختی کانی‌های فرعی تورمالین

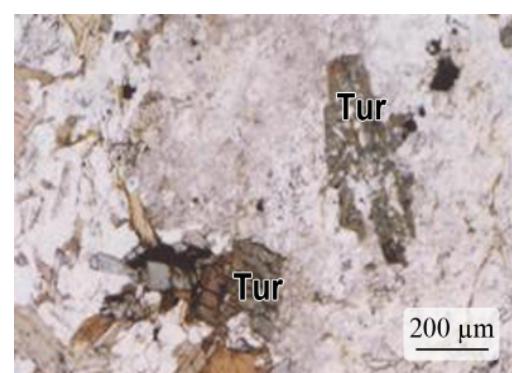
کانی تورمالین در ابعاد درشت تا متوسط، در مقطع طولی بدون شکل (شکل ۲) ولی در مقاطع عرضی گاهی مثلثی با گوشه‌های گرد شده و نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. این کانی دارای



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد نظر (برگرفته از [۱]).



شکل ۲ حضور کانی‌های بیوتیت و کلریت بین شکستگی‌های گارنت، در نور PPL.

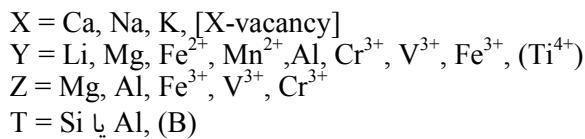


شکل ۲ بلورهای نیمه شکل و بی شکل تورمالین، در نور PPL.

گیرند (شکل ۴). بر اساس داده‌ها، تغییرات اندکی در محتوای عناصر Mg و Fe در بخش‌های حاشیه و مرکزی تورمالین‌های موردنده بحث دیده می‌شوند (جدول ۱). به عبارت دیگر، تورمالین‌ها دارای منطقه‌بندی ضعیف شیمیایی هستند و از دو عنصر یاد شده، مقدار Mg تا اندازه‌ای افزون بر میزان Fe است (جدول ۱) (شکل ۵). فراوانی اندک Ca حاکی از حضور مقدار بسیار ناچیز عضو پایانی تورمالین کلسیم‌دار (برای مثال اوتیت ایونی تورمالین‌ها به صورت $[Ca(Fe, Mg)(Na, Al)]$ در ساختار تورمالین‌های این منطقه است. مهمترین جانشینی عناصر شامل Al, Fe, Mg, Na, Ca است که توصیف این عناصر در شناخت تورمالین‌های سیستم‌های گرمابی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ترسیم نمونه‌ها در نمودار Al in R_2 * نسبت به R_2 به جانشینی مقداری البائیت اشاره دارد (شکل ۶). فراوانی نسبی سدیم در این کانی، $(Na_2O > 1.39)$ (جدول ۱) سرشت قلیایی این تورمالین‌ها را نمایان می‌سازد [۱۶] (شکل ۷).

شیمی-کانی تورمالین

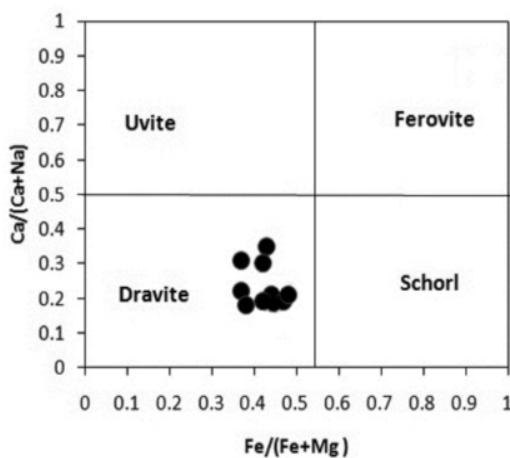
۴ نمونه از تورمالین‌های روستای ملاطاب مورد بررسی ریزپردازشی قرار گرفتند و فرمول ساختاری این کانی با فرض اکسیژن محاسبه شد (جدول ۱). میزان B_2O_3 برای ایجاد ۳ آئیون B به روش عنصرستنجی نیز محاسبه شده. فرمول عمومی تورمالین‌ها به صورت $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)3W_4$ است [۱].



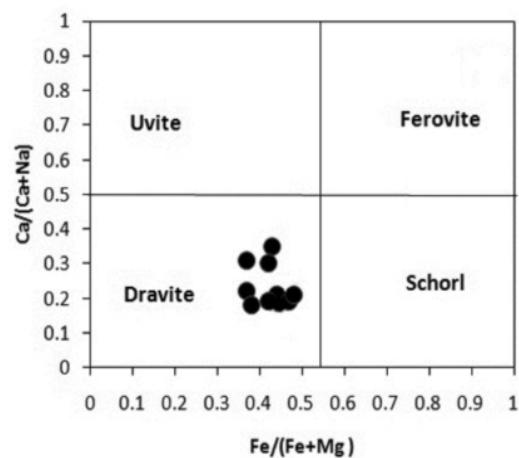
با استفاده از نمودار $Fe/(Fe+Mg)$ نسبت به $Ca/(Ca+Na)$ که به منظور تعیین سرشت تورمالین‌ها پیشنهاد شده [۱۴]، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی دراویت قرار می- [۱۵]

جدول ۱ نتایج آنالیز ریزپردازش تورمالین‌های منطقه‌ی مورد بررسی (بر حسب wt%) بر اساس ۲۴/۵ اکسیژن.

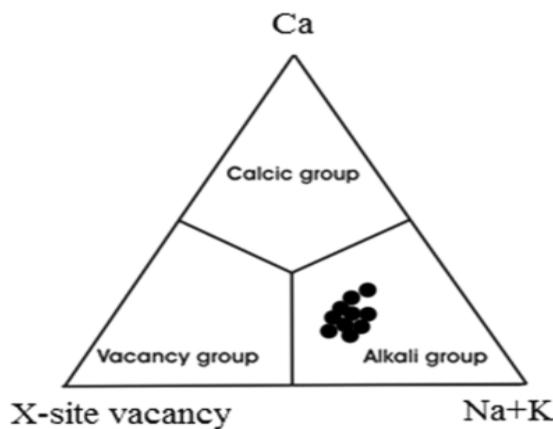
sample	Tur-1			Tur-2			Tur-3			Tur-4		
	حاشیه	میانه	مرکز	حاشیه	مرکز	حاشیه	مرکز	حاشیه	میانه	مرکز	حاشیه	میانه
SiO ₂	۳۶,۴۲	۳۶,۷۹	۳۶,۳۲	۳۶,۶۷	۳۶,۶۹	۳۶,۱۱	۳۶,۷۷	۳۶,۴۸	۳۵,۹۵	۳۵,۷۲		
TiO ₂	۰,۸۷۴	۱,۱۶۶	۰,۶۴۲	۱,۰۷۱	۲,۸۰۵	۰,۹۸	۰,۶۷	۰,۷	۰,۰۶	۰,۱۳		
Al ₂ O ₃	۳۴,۹۰۶	۳۱,۹۸۳	۳۲,۱۳۹	۳۲,۵۳۶	۳۰,۵۶۴	۳۲,۶۴	۳۲,۵۳	۳۵,۶۶	۳۷,۰۶	۳۷,۰۷		
FeO	۷,۲۷۷	۸,۰۹۴	۷,۲۳۰	۷,۲۸۵	۷,۷۴۸	۷,۹۵	۷,۲۲	۶,۶۵	۶,۳۴	۶,۶۶		
MgO	۵,۸۲۱	۷,۰۴۸	۵,۷۰۶	۶,۱۱۳	۶,۲۶۱	۶,۰۱	۶,۰۹	۶,۰۵	۵,۵۹	۵,۳۵		
CaO	۰,۸۱۷	۱,۴۲۴	۰,۸۵۱	۰,۷۳۶	۰,۹۲۶	۱,۰۹۱	۰,۷۸۹	۰,۸۷	۱,۲۱	۱,۲۱۰		
MnO	۰,۰۳۱	۰,۰۲۵	۰,۰۵۱	۰,۰۴۵	۰,۰۶۸	۰,۰۵۸	۰,۰۷۴	۰,۰۵	۰,۰۷	۰,۰۷۰		
Na ₂ O	۱,۶۵۴	۱,۸۸۸	۱,۶۹۰	۱,۸۲۰	۱,۷۷۳	۱,۶۸۷	۱,۶۸۷	۱,۵۳	۱,۵۰	۱,۳۹۰		
K ₂ O	۰,۰۳۶	۰,۰۴۲	۰,۰۴۵	۰,۰۳۹	۰,۰۵۳	۰,۰۳۶	۰,۰۲۹	۰,۰۶	۰,۰۴	۰,۰۳۰		
B ₂ O ₃	۱۰,۸۴۱	۱۰,۷۷۶	۱۰,۸۴۸	۱۰,۷۴۶	۱۰,۶۲۲	۱۰,۷۶۰	۱۰,۸۸۶	۱۰,۶۶۰	۱۰,۴۴۰	۱۰,۰۵۰		
F	۰,۱۱۰	۰,۱۴۰	۰,۰۹۰	۰,۲۱۰	۰,۱۹۰	۰,۲۵۰	۰,۴۱۰	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۲۰		
Total	۹۸,۵۶	۹۸,۹۴	۹۸,۶۱	۹۸,۰۳	۹۸,۰۴	۹۸,۵۹	۹۹,۳۰	۹۸,۵۰	۹۸,۴۴	۹۸,۶۲		
Si	۵,۸۳۶	۵,۸۹۷	۵,۸۲۰	۵,۸۷۸	۵,۸۸۰	۵,۸۳۳	۵,۸۷۱	۵,۸۳۹	۵,۷۲۰	۵,۷۱۵		
Al	۰,۱۶۴	۰,۱۰۳	۰,۱۸۰	۰,۱۲۲	۰,۱۲۰	۰,۱۶۷	۰,۱۲۹	۰,۱۶۱	۰,۱۷۰	۰,۱۸۵		
B	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰	۳,۰۰۰		
Al(Z)	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰	۵,۸۹۴	۵,۸۳۳	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰	۶,۰۰۰		
Al(Y)	۰,۵۹۶	۰,۰۸۰	۰,۶۳۵	۰,۳۹۳	۰,۰۰۰	۰,۰۰۰	۰,۵۰۷	۰,۷۲۷	۰,۸۷۰	۰,۹۸۸		
Ti	۰,۰۸۱	۰,۱۴۱	۰,۰۷۷	۰,۱۳۰	۰,۳۴۵	۰,۱۱۹	۰,۰۸۱	۰,۰۳۲	۰,۰۰۷	۰,۰۱۶		
Mg	۱,۳۹۱	۱,۶۹۵	۱,۳۶۲	۱,۴۷۴	۱,۰۵۲	۱,۴۴۸	۱,۴۵۰	۱,۴۴۴	۱,۳۲۷	۱,۲۷۶		
Mn	۰,۰۰۴	۰,۰۰۳	۰,۰۰۷	۰,۰۰۶	۰,۰۰۹	۰,۰۰۸	۰,۰۱۰	۰,۰۰۷	۰,۰۰۹	۰,۰۱		
Fe	۰,۹۷۵	۱,۰۹۲	۰,۹۶۹	۰,۹۹۹	۱,۱۹۷	۱,۰۷۵	۰,۹۷۷	۰,۸۹۱	۰,۸۴۴	۰,۹۲۲		
Y total	۲,۱۴۷	۳,۰۱۱	۳,۰۵۱	۳,۰۰۲	۳,۱۰۳	۳۶۵۰	۳,۰۲۵	۲,۱۰۱	۳,۰۵۷	۲,۲۱۲		
Ca	۰,۱۴۰	۰,۲۴۶	۰,۱۴۶	۰,۱۲۶	۰,۱۶۲	۰,۱۸۹	۰,۱۳۵	۰,۱۴۹	۰,۲۰۶	۰,۲۰۸		
Na	۰,۵۱۴	۰,۵۲۸	۰,۵۲۵	۰,۵۱	۰,۵۶۳	۰,۵۲۸	۰,۵۲۱	۰,۴۷۵	۰,۴۶۴	۰,۴۳۲		
K	۰,۰۰۷	۰,۰۰۹	۰,۰۰۹	۰,۰۰۸	۰,۰۱۱	۰,۰۰۷	۰,۰۰۶	۰,۰۱۲	۰,۰۰۸	۰,۰۰۷		
X total	۰,۶۶۲	۰,۷۸۲	۰,۶۸۰	۰,۷۰۵	۰,۷۳۶	۰,۷۷۴	۰,۶۶۲	۰,۶۳۶	۰,۷۸۸	۰,۶۴۷		
X-Vacancy	۰,۳۳۸	۰,۲۱۷	۰,۳۱۹	۰,۲۹۴	۰,۲۹۰	۰,۲۷۴	۰,۳۳۵	۰,۳۶۴	۰,۲۲۲	۰,۳۵۵		
Fe ₂ Fe+Mg	۰,۴۱۲	۰,۳۷۹	۰,۴۱۵	۰,۴۰۴	۰,۴۳۵	۰,۴۲۶	۰,۴۰۲	۰,۳۸۱	۰,۳۸۹	۰,۴۱۹		
FeO ⁺ =FeO /FeO+MgO	۰,۵۵۵	۰,۵۳۴	۰,۵۵۸	۰,۵۴۷	۰,۵۴۹	۰,۵۶۹	۰,۵۴۶	۰,۵۲۴	۰,۵۳۱	۰,۵۵۴		



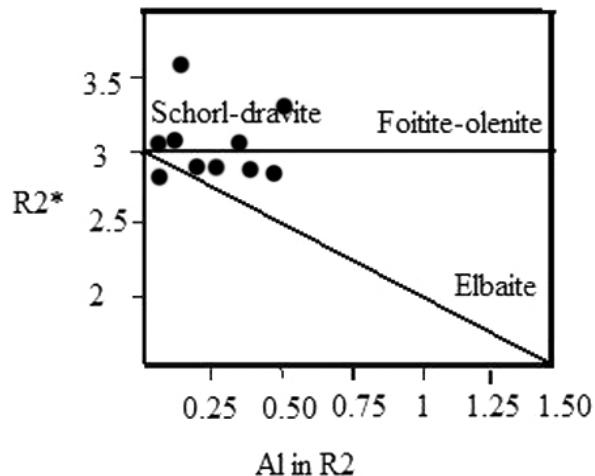
شکل ۵ تغییرات منطقه بندی شیمیایی تورمالین در گرانیت‌های منطقه ملاططالب R=Rim C=Core



شکل ۶ موقعیت کانی شناختی تورمالین بر اساس موقعیت X و Y با ترکیب دراویت [۱۴].



شکل ۷ موقعیت تورمالین‌های منطقه مورد بررسی با سرشت قلیایی [۱۴].



شکل ۸ موقعیت کانی شناختی تورمالین در نمودار $\text{R}2^*$ در برابر $\text{Al in R}2$ [۱۵].

$$\begin{aligned}\text{R}2^* &= \text{Fe} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Al} \\ \text{Al in R}2 &= \text{Al} + 1.33\text{Ti} + \text{Si}-12\end{aligned}$$

اسپسارتین بیشتر و از پیروپ کمتر بخوردارند (شکل ۹). این گونه منطقه‌بندی ضعیف شیمیایی خاص گارنٹ‌های دگرگونی با درجه‌ی بالاست [۱۹, ۲۰].

بحث

رفتار و انتشار ژئوشیمیایی B به عواملی چون طبیعت بروتولیت، تاریخچه‌ی گرمایی، تحرک سیالات، روابط شیمیایی بلورها و پایداری کانی‌های B دار است. میانگین B در شیل‌ها ۲۵۰-۷۰ ppm است [۲۰]، بنابراین به نظر می‌رسد کانی‌های رسی مهمترین خاستگاه B در شرایط با دمای پایین باشند [۲۱].

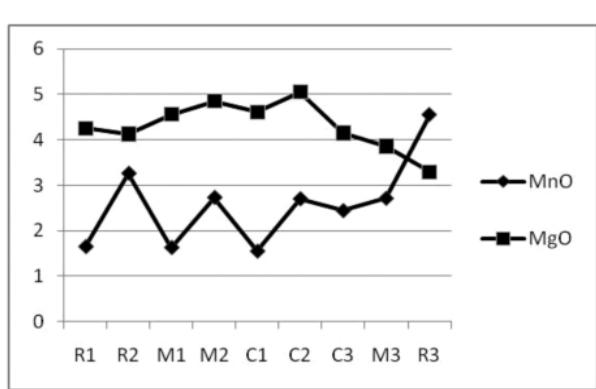
گارنت

ترکیب شیمیایی گارنٹ‌ها با فرمول ساختاری عمومی $\text{R}_3 \text{R}_2 (\text{SiO}_4)_3$ بیان می‌شود. در این فرمول R_3 با کاتیون‌های $\text{Al}^{+3}, \text{Fe}^{+3}, \text{Cr}^{+3}$ و R_2 با کاتیون‌های $\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}^{+2}, \text{Mn}^{+2}$ اشغال می‌شود.

آنالیز ریزپردازی روی سه نمونه از گارنٹ‌های گرانوودیوریت‌های گستره‌ی مورد بررسی صورت گرفت. داده‌های حاصل از بخش‌های مرکزی، میانه و حاشیه این کانی در جدول ۲ و شکل ۸ آورده شده‌اند [۱۷]. بر پایه‌ی این داده‌ها، طبیعت گارنٹ‌های این منطقه آلماندین است که در حاشیه از

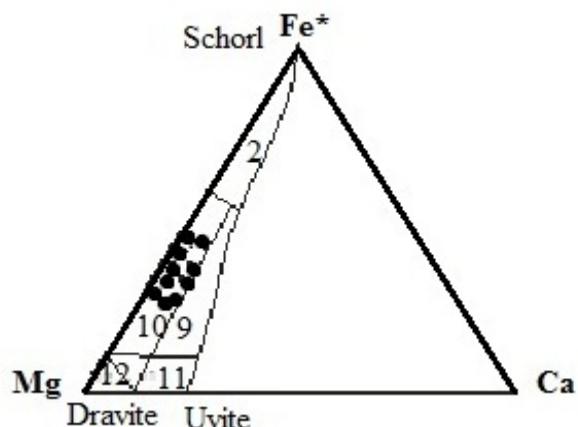
جدول ۲ نتایج آنالیز ریز پردازش گارنت‌های منطقه‌ی مورد بررسی (بر حسب %wt) بر اساس ۱۲ اکسیژن.

Sample	G-1			G-2			G-3		
	حاشیه	میانه	مرکز	حاشیه	میانه	مرکز	حاشیه	میانه	مرکز
SiO ₂	۳۶,۷۷	۳۶,۷۰	۳۶,۸۷	۳۷,۳۵	۳۷,۰۲	۳۷,۲۲	۳۶,۸۸	۳۶,۲۲	۳۶,۸۵
TiO ₂	۰,۰۶	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۳	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۲	۰,۰۰	۰,۰۲
Al ₂ O ₃	۲۱,۵۶	۲۱,۶۳	۲۱,۹۸	۲۲,۰۳	۲۲,۰۵	۲۲,۱۳	۲۱,۶۲	۲۱,۹۲	۲۱,۶۲
FeO	۳۴,۴۹	۳۳,۸۲	۳۴,۲۵	۳۴,۰۹	۳۳,۴۷	۳۳,۵۸	۳۲,۹۹	۳۴,۶۸	۳۶,۵۰
MnO	۱,۶۵	۱,۶۳	۱,۵۵	۲,۲۶	۲,۷۳	۲,۷۰	۴,۵۵	۲,۷۱	۲,۴۴
MgO	۴,۲۵	۴,۵۶	۴,۶۱	۴,۱۳	۴,۸۵	۵,۰۵	۳,۲۹	۳,۸۶	۴,۱۵
CaO	۱,۶۱	۱,۶۵	۱,۶۳	۱,۲۹	۱,۲۵	۱,۲۶	۱,۵۱	۱,۵۵	۱,۵۵
Total	۱۰۰,۷۰	۱۰۰,۰۳	۱۰۰,۹۴	۱۰۱,۱۷	۱۰۱,۳۸	۱۰۱,۹۴	۱۰۰,۸۶	۱۰۰,۹۴	۱۰۱,۱۲
Si	۵,۸۸	۵,۸۷	۵,۸۵	۵,۸۷	۵,۸۴	۵,۸۴	۵,۹۰	۵,۷۹	۵,۸۶
Ti	۰,۰۰۸	۰,۰۰۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۳	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰	۰,۰۰۳	۰,۰۰۰	۰,۰۰۳
Al	۴,۰۶۴	۴,۰۸۰	۴,۱۱۰	۴,۰۸۶	۴,۱۰	۴,۰۹۶	۴,۰۷۷	۴,۱۳۶	۴,۰۸۵
Fe	۴,۶۱۳	۴,۵۲۷	۴,۵۴۴	۴,۴۸۷	۴,۴۲۲	۴,۴۱۰	۴,۴۱۴	۴,۶۴۳	۴,۵۹۴
Mn	۰,۲۲۴	۰,۲۲۱	۰,۲۰۸	۰,۴۳۴	۰,۳۶۵	۰,۳۵۹	۰,۶۱۷	۰,۲۶۸	۰,۳۲۹
Mg	۰,۰۱۳	۱,۰۸۹	۱,۰۹۰	۰,۹۶۹	۱,۱۴۳	۱,۱۸۳	۰,۷۸۵	۰,۹۲۲	۰,۹۸۴
Ca	۰,۲۷۶	۰,۲۸۲	۰,۲۷۸	۰,۲۱۸	۰,۲۱۱	۰,۲۱۲	۰,۲۶۰	۰,۲۶۵	۰,۲۶۴
Total	۱۶,۰۷۹	۱۶,۰۸۰	۱۶,۰۸۸	۱۶,۰۷۵	۱۶,۰۹۷	۱۶,۱۰۶	۱۶,۰۵۸	۱۶,۱۳۳	۱۶,۱۲۷
Mn/Ca	۰,۸۱۱	۰,۷۸۳	۰,۷۴۸	۱,۹۹۱	۱,۷۲۹	۱,۶۹۳	۲,۳۷۳	۱,۳۸۹	۱,۲۴۶
(Mn+Mg)/Ca	۱,۷۸۳	۴,۴۶۵	۴,۶۶۹	۶,۴۳۵	۷,۱۴۷	۷,۲۷۳	۵,۳۹۲	۴,۸۶۸	۴,۰۵۶
Py	۱۶,۵۴۴	۱۷,۷۹۹	۱۷,۸۱۳	۱۵,۸۶۰	۱۸,۶۰۹	۱۹,۱۸۹	۱۲,۹۱۹	۱۴,۸۹۷	۱۵,۹۵۰
Alm	۷۵,۳۰۱	۷۳,۹۶۷	۷۴,۲۵۶	۷۲,۴۶۳	۷۲,۰۰۳	۷۱,۵۴۲	۷۲,۶۶۰	۷۴,۹۰۸	۷۴,۴۴۳
Gross	۴,۴۹۸	۴,۶۱۲	۴,۵۲۸	۳,۵۷۱	۳,۴۴۱	۳,۴۴۶	۴,۲۷۲	۴,۲۸۱	۴,۲۷۷
Spess	۳۶۵۷	۳۶۱۳	۳۳۹۳	۷۶۰۱	۵,۹۴۸	۵,۸۲۳	۱۰,۱۴۸	۵,۹۳۲	۵۳۳۰



شکل ۹ تغییرات منطقه‌ی بندی شیمیایی گارنت در گرانیتوئید

C=Core R=Rim M=Middle منطقه‌ی ملاطاطلب.



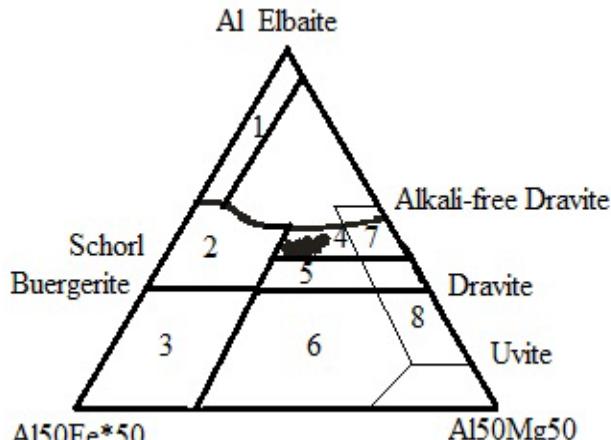
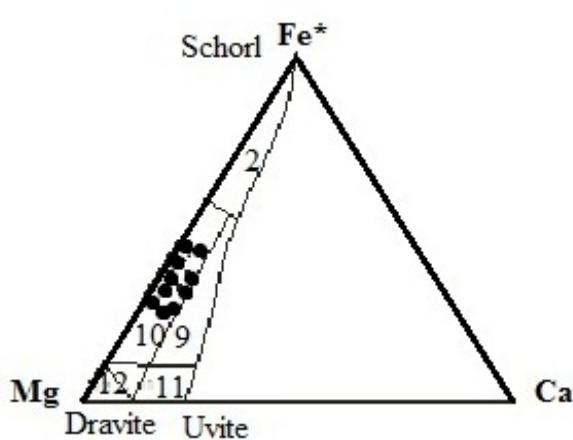
شکل ۸ ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه‌ی ملاطاطلب روی نمودار سه گوش گارنت‌ها [۱۷].

می‌توان در گروه تورمالین‌های قلیایی جای داد (شکل ۱۰-الف). این کانی همچنین، دارای $\sum(\text{Fe} + \text{Mg}) < 3$ و منطقه‌ی بندی ضعیف شیمیایی است که حکایت از جانشینی Al در

تورمالین‌های گرانیتوئید روستاوی ملاطاطلب از نوع دراویت بوده و بیشترین میزان عناصر گروه X Na و K تشکیل می‌دهند (جدول ۱) (شکل ۴). بر این اساس، تورمالین‌های مورد بحث را

شایط دگرگونی درجه متوسط در مسکویت و تورمالین باقی می‌ماند و در شبه پلیت‌های رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی، تنها فاز B دار تورمالین است و در شایط رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت با متلاشی شدن تورمالین، Rها می‌شود. با توجه به آنچه گفته شد، ارتباط تنگاتنگ بین سنگ‌های تورمالین‌دار، گرانودیوریت‌های پر آلومین دو میکائی و خاستگاه شبه-رسوبی آنهاست [۲۶]. با توجه به پایداری تورمالین در شایط رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی، توده‌های گرانودیوریتی روستای ملاطالب به احتمال سیار زیاد بر اثر ذوب‌بخشی نهشت‌های شبه پلیتی در شایط رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت شکل گرفته‌اند [۱۱]. [۲۷] که ترکیب شیمیایی دو نوع تورمالین گرهکی و نواری منطقه‌ی آستانه جنوب غربی اراک را مورد توجه قرار داده‌اند، معتقدند که تورمالین‌های گرهکی ناشی از تأثیر گرمابهای گرمابی و سیالات ماقمایی هستند، در حالیکه تورمالین‌های لایه‌ای دارای خاستگاه دگرنهادی در ارتباط با شبه‌پلیت‌ها و متاپسامیت‌های است. براین اساس تورمالین‌های منطقه‌ی مورد پژوهش، خاستگاه مشابهی با تورمالین‌های نواری منطقه آستانه دارد.

موقعیت و جایگاه یون‌های گروه Y دارد. افزون بر این، مقدار آن بر میزان Fe اندک فزونی نشان می‌دهد. نسبت $\text{FeO}^* = \text{FeO}/\text{FeO} + \text{MgO}$ بیش از ۰/۸ در تورمالین‌ها بیانگر بسته بودن سیستم ماقمایی، عدم دلالت سیالات و آغشتگی آن‌ها با ته نشست‌های غنی از Al است. درحالی که مقدار کمتر از ۰/۶، این نسبت دلالت بر یک خاستگاه خارجی B همراه با ته نشست‌های غنی از Al دارد [۲۲، ۲۳]. با توجه به اینکه میزان FeO^* در تورمالین‌های قلمرو مورد بررسی کمتر از ۰/۰۵۲ تا ۰/۰۵۶ است، شیل‌ها و اسلیت‌های ژوراسیک زیرین را می‌توان به عنوان خاستگاه این کانی تصور کرد. در نمودارهای سه تایی Mg-Ca-Fe و Al-Mg-Fe تعیین و تشخیص سنگ خاستگاه تورمالین ارائه شده، نمونه‌های مورد بحث در میدان شبه پلیت‌ها و شبه پسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از Al قرار می‌گیرند [۲] (شکل ۱۰). بر این اساس، خاستگاه شبه رسوبی را می‌توان برای تورمالین‌های گرانیتوئیدهای منطقه‌ی ملاطالب پیشنهاد کرد. به عقیده [۲۴]، دارند در پاره‌ای موارد سنگ‌های دگرگون با درجه‌ی بالا از مقدار B فراوانی برخوردارند. [۲۵] بر این باورند که B در

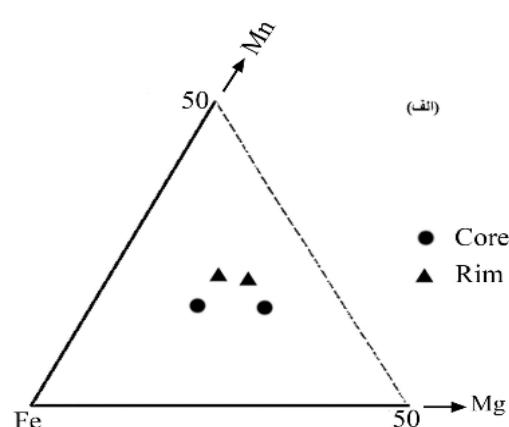
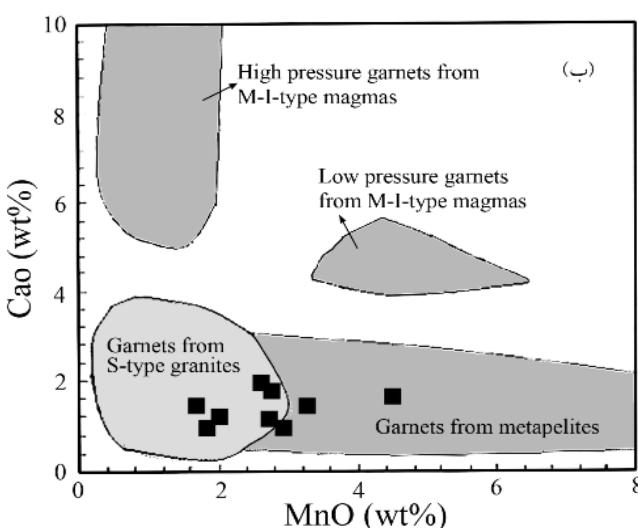


شکل ۱۰ موقعیت تورمالین‌های منطقه روی نمودارهای سه تایی Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۲- گرانیتوئیدهای فقری از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۳- سنگ‌های کوارتز - تورمالین سرشار از (گرانیت‌های دگرسان شده گرمابی)، ۴- شبه‌پلیت‌ها و متاپسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از Al، ۵- شبه‌پلیت‌ها و متاپسامیت‌های غیرهمزیست با یک فاز اشباع از Al، ۶- سنگ‌های کالکوسیلیکاته، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز - تورمالین سرشار از Fe^{3+} ، ۷- الترامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و متاسدیمنت‌های غنی از وانادیم و کروم، ۸- متاکرینات‌ها و متاپیروکسنیت‌ها، ۹- سنگ‌های کالکوسیلیکاته، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های سرشار از Ca، ۱۰- سنگ‌های کوارتز - تورمالین، متاپلیت‌های فقری از Ca، ۱۱- متاکرینات‌ها، ۱۲- متاکرینات‌ها. الترامافیک‌های دگرگون شده.

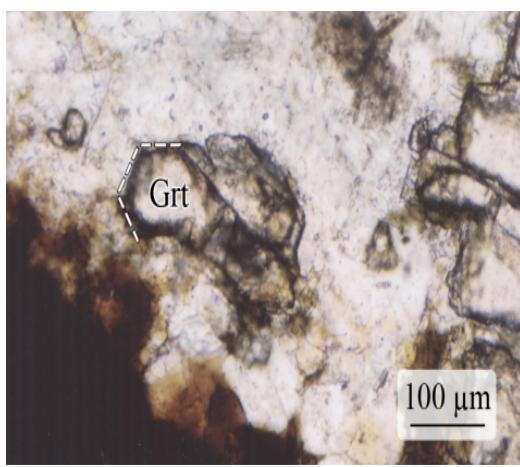
ریختشناسی بلوری گارنت عبارتند از، عناصر Mn و Ca نسبت‌های Mn/Ca و (Mn+Mg)/Ca. همچنین، مقدار کاتیون Mg تأثیر ناچیزی بر پیکربندی بلوری گارنت دارد که با افزایش این نسبتها به پیکرهای ذوزنقه‌ای تغییر می‌کند. در درجات پایین دما و فشار، Ca و Mn وارد ساختار گارنت شده و گروسوالر و اسپسارتین همراه آلماندین تشکیل می‌شوند و میزان آلماندین با پیشرفت نوع دگرگونی افزایش می‌یابد [۳۰]. لذا گارنت‌های با خاستگاه دگرگونی غالباً دارای پیکربندی با دوازده وجهی و گارنت‌های با خاستگاه آذرین اغلب پیکربندی با وج‌های ذوزنقه‌ای دیده می‌شوند. به بیان دیگر، ترکیب شیمیایی سنگ مادر گارنت‌ها از مهمترین عوامل تأثیرگذار در ترکیب شیمیایی این بلورها و به پیروی از آن پیکربندی بلوری گارنت است. بر پایه‌ی بررسی‌های کانی‌شناختی و یافته‌های ژئوشیمیایی، میزان پایین نسبت‌های فوق و نیز میانگینی محتوای CaO (۱/۴۸ درصد) در گارنت‌های گرانیتوئیدی منطقه‌ی ملاطالب حاکی از خاستگاه دگرگونی این فاز بوده و نیز پیکربندی دوازده وجهی آن‌ها را آشکار می‌سازد (جدول ۲) (شکل ۱۳). براساس این ویژگی‌ها و نیز درصد بالای آلماندین، گارنت‌های مورد پژوهش را می‌توان در رده‌ی گارنت‌های دگرگون با درجه‌ی بالا به شمار آورد که به احتمال بسیار زیاد در جریان تشکیل گرانوڈیوریت‌های پرآلومینه دو میکائی در شرایط رخساره‌ی دگرگونی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت زیرین به وجود آمده‌اند [۱۱] (شکل ۱۱-ب).

داده‌های آنالیز ریزپردازشی حاکی از طبیعت آلماندین گارنت‌های مورد بحث است. این گونه گارنت بیشتر در سنگ‌های آذرین به شدت پرآلومینه که خاستگاه آن‌ها را به ذوب بخشی سنگ‌های رسوئی نسبت می‌شود [۸]. آلماندین در دگرگونی‌های در درجه‌ی بالا، دارای ترکیب نسبتاً یکنواختی است و منطقه‌ی بندی شیمیایی محدود به بیرونی‌ترین قسمت‌های حاشیه است [۲۸] (شکل ۱۱-ب). برخی پژوهشگران [برای مثال ۱۸]، مسئله‌ی کاهش اکسید کلسیم و اکسید منگنز گارنت را در سنگ‌های پلیتی با افزایش درجه‌ی دگرگونی، مورد بررسی قرار دادند و معتقدند که تبلور گارنت در منطقه‌ی موردنظر آنها با مقدار پایین MnO ۲/۵۴-۱/۸۶ در شرایط P-T درصد) و CaO ۱/۵۸-۳/۸ درصد (جدول ۲) در شرایط رخساره‌ی دگرگونی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت زیرین به وقوع پیوسته است. از منظر کانی‌شناختی، گارنت‌های دگرگونی اصولاً بی‌شک‌اند که نشانه‌ی عدم رسیدن به تعادل شیمیایی است و دارای ادخال‌های بیوتیت هستند که حاکی از رشد آن در حالت جامد است نه تبلور از یک گدازه‌ی سیلیکاتی. افرون بر این، بسیاری از این گونه گارنت‌ها دارای حاشیه واکنشی گستردگی در هستند که دلالت بر عدم تعادل آنها با گدازه‌ی سیلیکاتی در زمان نفوذ دارد (شکل ۱۲) [۲۹].

[۳۰] عوامل مؤثر بر ریختشناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه‌ی همدان را مورد بررسی قرار داده‌اند، بر این باورند که مهمترین عامل تأثیرگذار بر



شکل ۱۱ (الف) افزایش Mn و کاهش Mg در حواشی بلورهای گارنت، (ب) موقعیت خاستگاه گارنت‌های موجود در گرانیتوئید ملاطالب (برگرفته از [۲۹]).



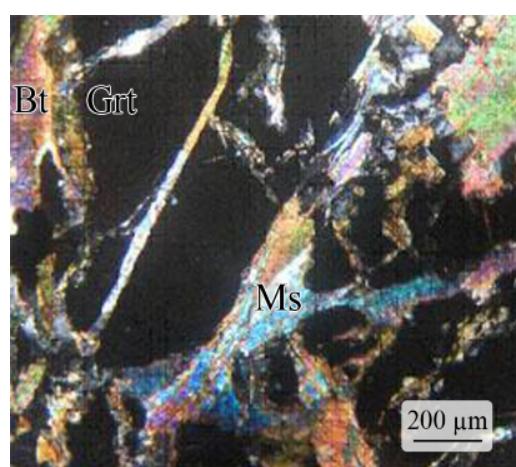
شکل ۱۳ نمایی از فرم شش ضلعی بلور گارنت که به پیکربندی دوازده وجهی آن اشاره دارد، در نور PPL.

سنگ‌های رخساره‌ی پلیتی و نزدیک به اوج دگرگونی رخ داده است.

- بر پایه‌ی داده‌های حاصل از شیمی-کانی دو کانی تورمالین و گارنت تشکیل گرانودیوریت‌های دو میکائی شبه آلومین گستره‌ی تحت پژوهش، به احتمال بسیار زیاد بر اثر آناتکسی نهشته‌های شبه-پلیتی به سن ژوراسیک زبرین در شرایط رخساره‌ی گرانولیت رخ داده است. بدیهی است تفسیر جامع خاستگاه ماقماتیسم گستره‌ی مورد بررسی نیازمند داده‌های دقیق شیمیایی از سنگ‌های گرانیت‌وئیدی منطقه است.

مراجع

- [۱] اتردی س. "کانی شناسی سیلیکات‌ها"، انتشارات دانشگاه پیام نور (۱۳۷۸) ۲۹۱.
- [۲] Henry D.J., Guiditti C.V., "Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW-Marine", American Mineralogist, 70 (1985) 1-15.
- [۳] Harraz H. Z., El-Sharkawy M. F., "Origin of tourmaline in the metamorphosed Sikait pelitic belt, south eastern desert, Egypt", Journal of African Earth Sciences, 33 (2001) 391-416.
- [۴] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., "Rock forming mineral", Longman, (1) (1966) 333.
- [۵] London D., Manning D.A.C., "Chemical variation and significance of tourmaline from SW England", Economic Geology, 90 (1995) 495-519.
- [۶] Novak M., Povandra P., Selway J.B., "Schorl-oxy-schorl to dravite-oxy-dravite tourmaline from granitic pegmatite, examples from the Moldanubicum, Czech Republic", European Journal of Mineralogy, 16 (2004) 323-333.



شکل ۱۲ حضور کانی‌های بیوتیت و مسکویت در حواشی و نیز به صورت ادخال در گارنت، در نور XPL.

برداشت

براساس بررسی‌های کانی‌شناختی و شیمی-کانی تورمالین و گارنت توده‌ی نفوذی روستای ملاطالب می‌توان به نکات مهم زیر اشاره کرد:

- تورمالین‌های مورد پژوهش از نوع دراویت بوده و منطقه بندی ضعیف شیمیایی دارند. نسبت‌های Ca/(Ca+Na) (۰/۰۶ تا ۰/۳۵۵)، Fe/(Fe+Mg) (۰/۴۳۵ تا ۰/۳۷۹) و میزان Mg نسبت به Fe در آن‌ها بالاست. مقدار کم Ca حاکی از حضور مقدار اندک عضو پایانی تورمالین کلسیمی‌دار (برای مثال اوتیت [Ca(Fe, Mg)(Na, Al)]) در ساختار تورمالین‌های منطقه‌ی مورد بررسی است. افزون بر این، مقدار نسبتاً بالای Na₂O در آن‌ها، این کانی را در شمار تورمالین‌های گروه قلیایی قرار می‌دهد. این نوع تورمالین‌ها عموماً با مجموعه‌های دگرگونی و یا دگرنهادی در ارتباطند و سنگ‌های شبه-رسوبی (برای مثال شبه-پسامیت‌ها و شبه-پلیت‌ها) را به عنوان سنگ اولیه‌ی این گونه تورمالین‌ها معرفی می‌کند. تورمالین تنها فاز B دار شبه-پلیت‌های رخساره آمفیبولیت بالایی شناخته می‌شود که در شرایط آمفیبولیت بالایی-گرانولیت متلاشی شده و B را آزاد می‌کند.

- گارنت‌های بی شکل را رگچه‌هایی از بلورهای ریز میکا- (بیوتیت و مسکویت) قطع و یا احاطه کرده‌اند و گاهی ادخال-هایی از بیوتیت درون آن‌ها یافت می‌شود. بر پایه‌ی داده‌های شیمیایی، گارنت‌های مورد بررسی از نوع آلماندین است که افزایش اسپسارتین و کاهش پیروپ در حاشیه‌ی بلورها چشمگیراند و نیز محتوای اندکی از CaO و MnO دارند. این ویژگی‌ها حاکی از آست که نطفه بندی این نوع گارنت‌ها در

- rocks in the Swiss Central Alps.*”, American Mineralogists, 81 (1996) 1222-1236.
- [21] Henry D.J., Dutrow B.L., “*Metamorphic tourmaline and its petrologic applications. In: Grew Es. Anovitz LM (eds) Boron. Mineralogy, Petrology and Geochemistry. The Mineralogical Society of America, Washington, Dc.*”, Review Mineralogy 33 (1996) 503-557.
- [22] Samson I.M., Sinclair W.D., “*Magmatic hydrothermal fluids and the origin of quartz-tourmaline orbicules in the Seagull batholith, Yukon Territory*”, Canadian Mineralogists, 30 (1992) 937-954.
- [23] Truscott M.G., Shaw D.M., “*Boron in chert and Precambrian siliceous iron formation*”, Geochimica et Cosmochimica Acta, 48 (1984) 2220-2313.
- [24] Torres-Ruiz J., Pesquera A., Gil-Crespo P.P., Velilla N., “*Origin and petrogenetic implication of tourmaline-rich rocks in the Sierra Nevada (Betic Cordillera, Southeastern Spain)*”, Chemical Geology, 197 (2003) 55-86.
- [25] Wolf M.B., London D., “*Boron in granitic magmas stability of tourmaline in equilibrium with biotite and cordierite*”, Contribution to Mineralogy and Petrology, 130 (1997) 12-30.
- [26] Gaweda A., Pieczka A., Kraczka J., “*Tourmalines from the Western Tatra Mountains (W-Carpathians, S-Poland): Their characteristics and petrogenetic important*”, European Journal of Mineralogy, 14 (2002) 943-955.
- [۲۷] طهماسبی ز، احمدی خلیجی ا، رجاییه م، ”تومالینزایی در توده‌ی گرانیتوئیدی آستانه (جنوب غرب اراک)”， مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۳۸) ۳۶۹-۳۸۰.
- [28] Yardley B.W.D., Rochelle C.A., Barnicoat A.C., Lloyd G.E., “*Oscillatory zoning in metamorphic mineral: an indicator of infiltration metasomatism*”, Mineralogical Magazine, 55 (1991) 357-365.
- [29] Yuan C., Sun M., Xiao W., Wilde S., Li X., Liu X., Long X., Xia X., Ye K., Li J., “*Garnet-bearing tonalitic porphyry from East Kunlun, Northeast Tibetan Plateau: implications for adakite and magmas from the MASH Zone*”, International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch), 98 (2009) 1489-1510.
- [۳۰] حسین میرزائی ز، سپاهی ع.ا، مودن م، حسین میرزائی ز، دادخواه ر، ”بررسی عوامل کنترل کننده‌ی ریخت شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه همدان، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۴ (۱۳۸۹) ۵۱۹-۵۳۰.
- [7] Bernard F., Moutou P., Pichavant M., “*Phase relation of tourmaline leucogranites and the significance of tourmaline in silicic magma*” Journal of Geology, 93 (1985) 271-291.
- [8] Clemens J.D., Wall V.J., “*Origin and crystallization of some peraluminous (S-type) ranitic Magmas*”, Contribution to Mineralogy and Petrology, 19 (1981) 111-131.
- [9] Brich W.D., Andrew J., Gleadow W., “*The genesis of garnet and cordierite in acid volcanic rocks, Central Victoria, Australia*”, Contribution to Mineralogy and Petrology, 45 (1974) 1-13.
- [10] Thiele O., Alavi M., Assefi R., Hushmand-Zadeh A., Seyed-Emami K., Zahedi M., “*Explanatory text of the Golpayegan quadrangle map. 1:250000*”, Geological Survey Iran, (1968) 3-24.
- [۱۱] عبداللهی ش، ”مطالعه‌ی پترولوزی توده نفوذی روستای ملاطاب (شمال الیگودرز) پنهانی ی سندج- سیرجان”， پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان (۱۳۸۸) ۱۲۴.
- [12] Chappell B.W., white A.J.R., “*Two contrasting granite types*”, Pacific Geology 8 (1974) 173-174.
- [13] Kretz R., “*Symbols for rock-forming minerals*”, American Mineralogists 68 (1983) 277-279.
- [14] Hawthorn F.C., Henry D.J., “*Classification of the mineral of the tourmaline group*”, European Journal of Mineralogy, 11 (1999) 201-215.
- [15] Hawthorn F.C., “*Bond-valance constraints on the chemical composition of tourmaline*”, Canadian Mineralogists, 40 (2002) 789-797.
- [16] Collins A.C., “*Mineralogy and geochemistry of tourmaline in contrasting hydrothermal system, Coplapo area, Northern Chile*”, PhD Thesis, Faculty of Geoscience University of Arizona (2010).
- [17] Einaudi M.T., Meinert L.D., Meinert R.J., “*Newberry skarn deposit*”, Economic Geology, 75th Anniversary special volume (1981) 317-391.
- [18] Atherton M.P., “*The variation in garnet, biotite, and chlorite composition in medium-grade pelitic rocks from the Dalradian, Scotland, with particular reference to the zonation in garnet*”, Contribution to Mineralogy and Petrology, 18 (1968) 347-371.
- [19] Taylor J., Setevens G., “*Selective entrainment of peritectic garnet into S-Type granitic magmas: Evidence from Archean mid-crustal anatectites*”, Lithos, 120 (2010) 277-292.
- [20] Seprlich R., Giere R., Frey M., “*Evolution of compositional polarity and zoning in tourmaline during prograde metamorphism of sedimentary*