مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و دوم، شمارهٔ اول، بهار ۹۳، از صفحهٔ ۱۳۹ تا ۱۴۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

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

مهین منصوری اصفهانی*[۱]، محمود خلیلی[۲]

۱- دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

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

چکیده: گرانیتوئیدهای 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 میکایی تشکیل شده و شیل‌ها و اسلیت-های ژوراسیک (لیاس-دوگر) را قطع کرده است. تورمالین وگارنت در شمار کانی‌های فرعی آشکار گرانودیوریت‌های این منطقه است . تورمالین ها نیمه شکل دار تا بدون شکل با چند رنگی قهوه‌ای تا سبز و گاهی آبی در بین دیگر کانی‌های این سنگ‌ها به مقدار نادر پراکنده‌اند. بر پایه‌ی داده‌ها و نمودارهای ژئوشیمیایی، تورمالین های 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 درارتباط با مجموعه‌های دگرگونی یا دگرنهاد است. خاستگاه نخستین این گونه تورمالین‌ها را می توان به سنگ‌های متا-رسوبی از قبیل متا-پلیت‌ها و متا-پسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از Al نسبت داد. گارنت‌ها بی شکل و با رگچه‌هایی 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 کانی-ها بیشتر از آلماندین است که در حاشیه از اسپسارتین نسبتاً غنی و از پیروپ تا حدودی تهی است. این منطقه بندی معکوس، ویژگی چشمگیر گارنت های دگرگونی با درجه‌ی بالاست و به تبلور این کانی در یک رژیم فشار با پایین اشاره دارد که غلظت بالای Mn در مایعات پسمانده از ماگمای 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 گسترده ی متاپلیت‌ها را به همراه داشته است. گارنت‌های مورد بررسی از جمله فازهای فرومنیزین دار است که در و یا نزدیک به اوج دگرگونی تشکیل شده است.

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

مقدمه

کانی‌های فرعی در سنگ‌زایی ماگمای گرانیتی از اهمیت خاصی برخوردارند. وجود این کانی‌ها می‌تواند برخی از شرایط فیزیکو-شیمیایی حاکم بر تبلور ماگما را بیان کند که تفسیر آن شرایط با کانی‌های اصلی تا اندازه ای 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 ماگما و رخدادهای پس از تبلور همچون دگرسانی گرمابی،

* نویسنده مسئول، تلفن: ۳۹۱۵۱۰۷ (۰۳۱۱)، نمابر: ۳۹۱۲۷۷۶ (۰۳۱۱)، پست الکترونیکی: mmansouri_2001@yahoo.com

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

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 ماگمای گرانیتی جایگاه ویژه‌ای دارند.

تورمالین کانی رایج گرانیتوئیدها، پگماتیت‌ها و سنگ‌های گرمابی وابسته به آن‌هاست [۲]. این کانی همچنین از شیست-های پلیتی و پسامیتی سرزمین‌های دگرگون ناحیه‌ای و کمربندهای شدیداً چین خورده گزارش شده است [۳]. ترکیب شیمیایی متفاوت تورمالین‌ها شاخص روشنی است که در تفسیر پتروژنتیکی گرانیت‌ها بشمار می‌رود. ترکیب شیمیایی و منطقه‌بندی تورمالین‌ها بستگی به نوع، خاستگاه ماگما، 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 فراوان Al که می‌توانند جایگزین 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 هاله‌های مجاورتی توده‌های گرانیتوئیدی رخ می‌دهد لذا ترکیب تورمالین، شیمی ماگما، 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 ماگمایی 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 ماگمای شدیداً پر آلومینه با محتوای بالای آهن که احتمالاً از نهشته‌های B دار و غنی از Al حاصل شده فراهم می‌شود [۷]. تورمالین‌های گرمابی دارای منطقه‌بندی شیمیایی بوده و میزان Mg آنها نسبت به تورمالین‌های ماگمایی 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 فراوان‌ترین گارنت پگماتیت-گرانیت‌هاست. 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-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 پسرونده 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 سنندج-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 بررسی-های سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی مهمترین سنگ‌های نفوذی این منطقه عبارتند از تونالیت و گرانودیوریت‌های دو میکایی. کانی-های مهم گرانودیوریت‌ها را کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، فلدسپات‌های قلیایی و مسکویت و کانی‌های مهم تونالیت‌ها را کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول تشکیل می‌دهند. سایر کانی‌ها چون آپاتیت و زیرکن به میزان ناچیز در تونالیت‌ها و

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

آپاتیت، زیرکن، آلانیت، گارنت و تورمالین در گرانودیوریت‌ها مشاهده می‌شوند. پیرامون توده‌ی گرانیتوئیدی برونزدهای پگماتیتی با کانی‌های درشت تورمالین، کوارتز، فلدسپات و مسکویت پراکنده‌اند. بر مبنای بازدیدهای صحرایی و بررسی-های سنگ‌نگاری و نیز داده‌های ژئوشیمیائی [۱۱] گرانودیوریت‌های دو میکایی این منطقه را می‌توان در شمار گرانیت‌های نوع S و تونالیت‌های این توده را در گروه گرانیت-های نوع I [۱۲] قرار داد.

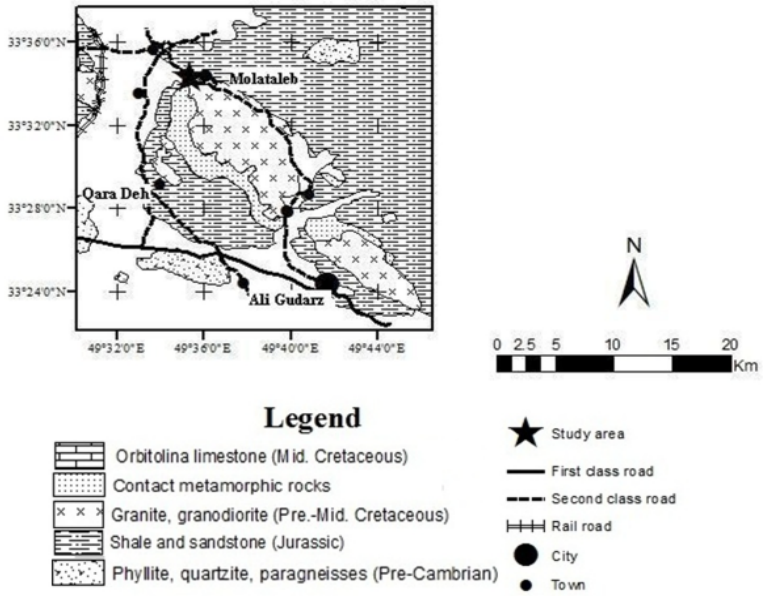
کانی شناختی کانی‌های فرعی

تورمالین

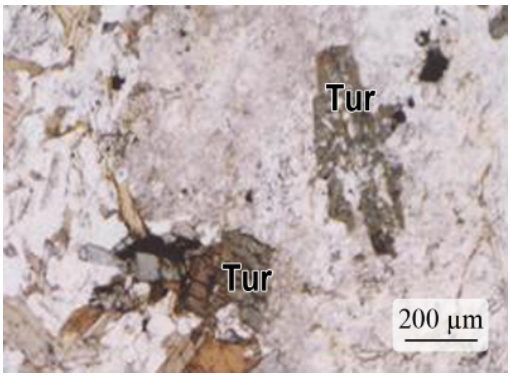
کانی تورمالین در ابعاد درشت تا متوسط، در مقطع طولی بدون شکل (شکل ۲) ولی در مقاطع عرضی گاهی مثلثی با گوشه-های گرد شده و نیمه شکل‌دار دیده می‌شود. این کانی دارای چند رنگی قهوه‌ای تا سبز و گاهی به رنگ آبی است. به طورکلی این کانی ویژگی‌های کانی‌شناختی متغیری دارد، ولی چند رنگی‌های متنوع پلئوکروئیسم معمولاً بیانگر تغییرات ترکیب شیمیایی تورمالین نیست. (علائم اختصاری در شکل-های میکروسکپی بر اساس[۱۳] انتخاب شده.)

گارنت

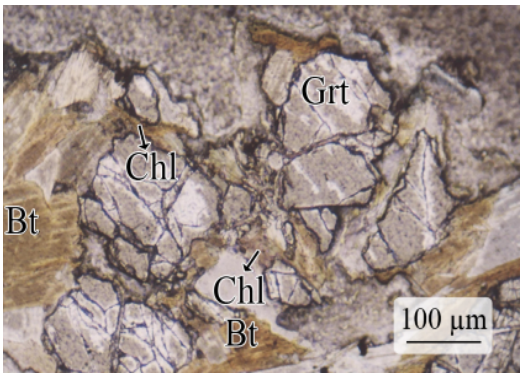
این کانی غالباً در ابعاد درشت تا ریزدانه، بدون شکل، خرد شده و دارای شکستگی است که این شکستگی‌ها را دو کانی بیوتیت و مسکویت پر می‌کنند. گارنت‌های مورد پژوهش بیشتر در جوار دو کانی اخیر و گاهی به همراه تورمالین یافت می‌شوند [۱۱]، و در مواردی از آن‌ها به کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۳).



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



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



شکل ۳ حضور کانی‌های بیوتیت و کلریت بین شکستگی‌های گارنت، در نور PPL .

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

شیمی-کانی

تورمالین

۴ نمونه از تورمالین‌های روستای ملاطالب مورد بررسی ریزپردازشی قرار گرفتند و فرمول ساختاری این کانی با فرض ۲۴/۵ اکسیژن محاسبه شد (جدول ۱). میزان B_2O_3 برای ایجاد ۳ آنیون B به روش عنصرسنجی نیز محاسبه شده. فرمول عمومی تورمالین‌ها به‌صورت $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)3W_4$ است [۱].

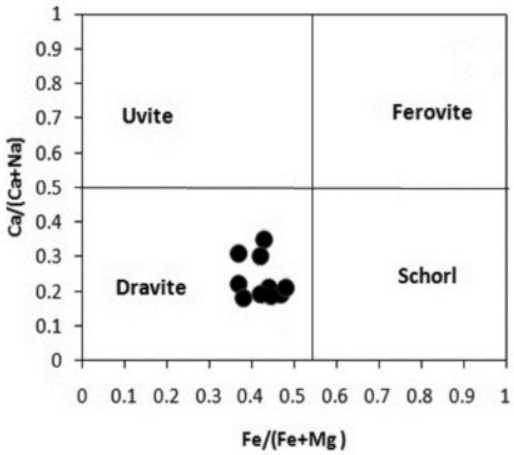
X = Ca, Na, K, [X-vacancy]
Y = Li, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+},Al, Cr^{3+}, V^{3+}, Fe^{3+}, (Ti^{4+})
Z = Mg, Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Cr^{3+}
T = Si یا Al, (B)
W = OH^-, F^-, O^{2-}, Cl^-

با استفاده از نمودار Ca/(Ca + Na) نسبت به Fe/(Fe+Mg) که به منظور تعیین سرشت تورمالین‌ها پیشنهاد شده [۱۴، ۱۵]، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی دراویت قرار می‌گیرند (شکل ۴). بر اساس داده‌ها، تغییرات اندکی در محتوای عناصر Mg و Fe در بخش‌های حاشیه و مرکزی تورمالین‌های مورد 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 اوویت [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> ۱/۳۹) (جدول۱) سرشت قلیایی این تورمالین‌ها را نمایان می‌سازد [۱۶] (شکل ۷).

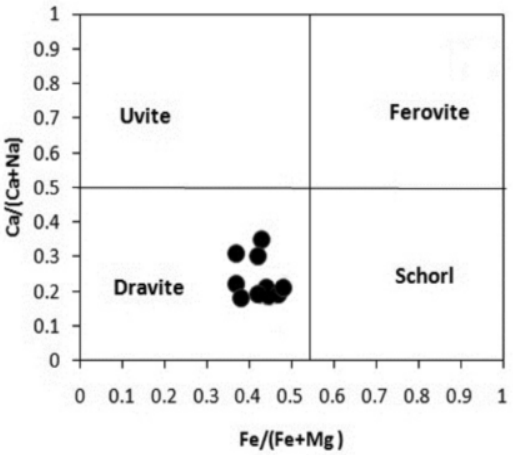
جدول ۱ نتایج آنالیز ریز پردازش تورمالین های منطقه‌ی مورد بررسی (بر حسب wt%) بر اساس ۲۴/۵ اکسیژن.

sample	Tur-1			Tur-2		Tur-3		Tur-4		
	حاشیه	میانه	مرکز	حاشیه	مرکز	حاشیه	مرکز	حاشیه	میانه	مرکز
SiO_2	۳۶/۴۲	۳۶/۷۹	۳۶/۳۲	۳۶/۶۷	۳۶/۶۹	۳۶/۱۱	۳۶/۷۷	۳۶/۴۸	۳۵/۹۵	۳۵/۷۲
TiO_2	۰/۶۷۴	۱/۱۶۶	۰/۶۴۲	۱/۰۷۱	۲/۸۰۵	۰/۹۸	۰/۶۷	۰/۲۷	۰/۰۶	۰/۱۳
Al_2O_3	۳۴/۹۰۶	۳۱/۹۸۳	۳۳/۱۳۹	۳۳/۵۳۶	۳۰/۵۶۴	۳۳/۶۴	۳۴/۵۳	۳۵/۶۶	۳۷/۰۶	۳۷/۰۷
FeO	۷/۲۷۲	۸/۰۹۴	۷/۲۳۰	۷/۳۸۵	۷/۷۴۸	۷/۹۵	۷/۳۲	۶/۶۵	۶/۳۴	۶/۶۶
MgO	۵/۸۲۱	۷/۰۴۸	۵/۷۰۶	۶/۱۱۳	۶/۳۶۱	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_2O	۱/۶۵۴	۱/۶۸۸	۱/۶۹۰	۱/۸۲۰	۱/۷۷۳	۱/۶۸۷	۱/۶۸۷	۱/۵۳	۱/۵۰	۱/۳۹۰
K_2O	۰/۰۳۶	۰/۰۴۲	۰/۰۴۵	۰/۰۳۹	۰/۰۵۳	۰/۰۳۶	۰/۰۲۹	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۳۰
B_2O_3	۱۰/۸۴۱	۱۰/۷۷۶	۱۰/۸۴۸	۱۰/۷۴۶	۱۰/۶۲۲	۱۰/۷۶۰	۱۰/۸۸۶	۱۰/۶۶۰	۱۰/۴۴۰	۱۰/۵۰۰
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	۰/۲۸۵
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	۱/۳۶۳	۱/۴۷۴	۱/۵۵۲	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	۳/۰۴۷	۳/۰۱۱	۳/۰۵۱	۳/۰۰۲	۳/۱۰۳	۳/۶۵۰	۳/۰۲۵	۳/۱۰۱	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	۰/۵۷۱	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	۰/۷۲۴	۰/۶۶۲	۰/۶۳۶	۰/۶۷۸	۰/۶۴۷
X-Vacancy	۰/۳۳۸	۰/۲۱۷	۰/۳۱۹	۰/۲۹۴	۰/۲۹۰	۰/۲۷۴	۰/۳۳۵	۰/۳۶۴	۰/۳۲۲	۰/۳۵۵
Fe/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

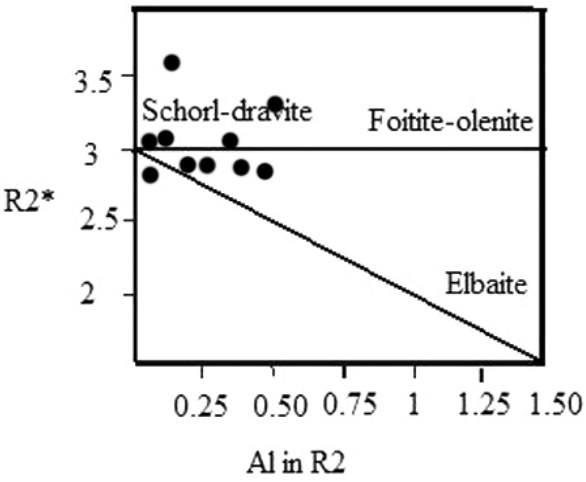
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]



شکل ۴ موقعیت کانی شناختی تورمالین بر اساس موقعیت X و Y با ترکیب دراویت [۱۴].



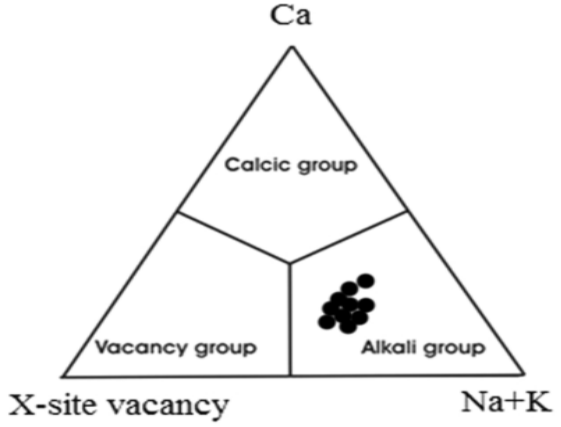
شکل ۵ تغییرات منطقه بندی شیمیایی تورمالین در گرانیتوئید منطقه ملاطالب R=Rim C=Core



شکل۶ موقعیت کانی شناختی تورمالین در نمودار R2* در برابر Al in R2.[۵] .

$R2^* = Fe + Mg + Mn + Al$

$Al\ in\ R2 = Al + 1.33Ti + Si - 12$



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

گارنت

ترکیب شیمیایی گارنت‌ها با فرمول ساختاری عمومی $R_3\,R_2(SiO_4)_3$ بیان می شود. در این فرمول R_3 با کاتیون‌های Ca, Mg, Fe^{+2}, Mn^{+2} و R_2 با کاتیون‌های Al, Fe^{+3}, Cr^{+3} اشغال می‌شود.

آنالیز ریزپردازشی روی سه نمونه از گارنت‌های گرانودیوریت‌های 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 گارنت‌های این منطقه آلماندین است که در حاشیه از اسپسارتین بیشتر و از پیروپ کمتر برخوردارند (شکل ۹). این گونه منطقه‌بندی ضعیف شیمیایی خاص گارنت‌های دگرگونی با درجه‌ی بالاست [۱۹،۱۸] .

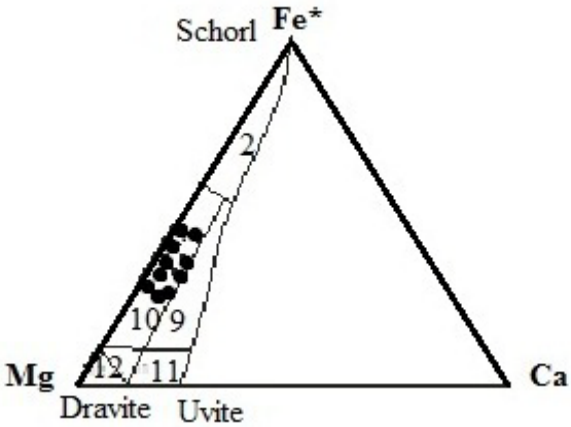
بحث

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

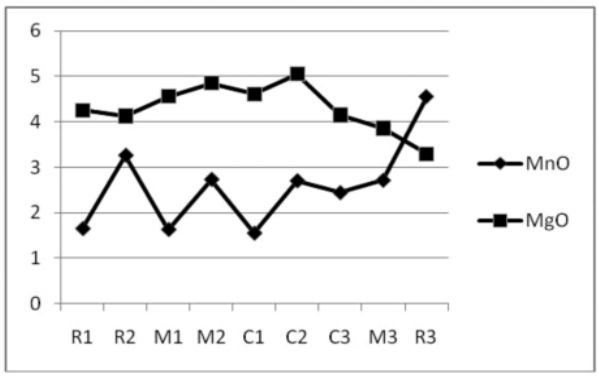
[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

جدول۲ 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_2O_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	۳٫۲۶	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	۱۰۰٫۴۰	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	۴٫۱۰۶	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	۰٫۳۶۸	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	۱٫۲۸۳	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	۷۳٫۴۶۳	۷۲٫۰۰۳	۷۱٫۵۴۲	۷۲٫۶۶۰	۷۴٫۹۰۸	۷۴٫۴۴۳
Gross	۴٫۴۹۸	۴٫۶۱۲	۴٫۵۳۸	۳٫۵۷۱	۳٫۴۴۱	۳٫۴۴۶	۴٫۲۷۲	۴٫۲۸۱	۴٫۲۷۷
Spess	۳٫۶۵۷	۳٫۶۱۳	۳٫۳۹۳	۷٫۶۰۱	۵٫۹۴۸	۵٫۸۲۳	۱۰٫۱۴۸	۵٫۹۳۲	۵٫۳۳۰



شکل۸ ترکیب شیمیایی گارنت‌های منطقه‌ی ملاطالب روی نمودار سه گوش گارنت‌ها [۱۷].



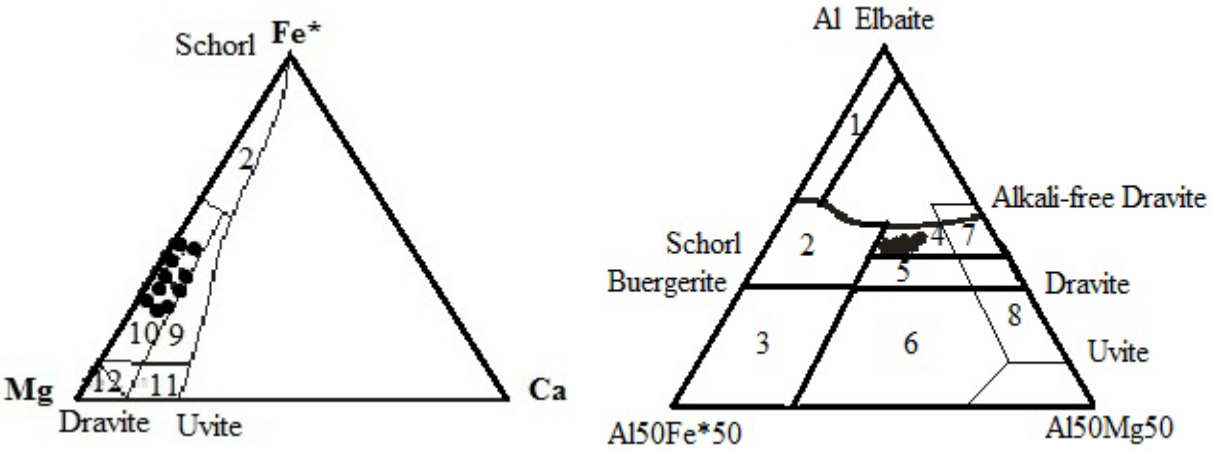
شکل ۹ تغییرات منطقه بندی شیمیایی گارنت در گرانیتوئید منطقه‌ی ملاطالب. C=Core R=Rim M=Middle

تورمالین‌های گرانیتوئید روستای ملاطالب از نوع دراویت بوده و بیشترین میزان عناصر گروه X را Na و K تشکیل می‌دهند (جدول ۱) (شکل ۴). بر این اساس، تورمالین‌های مورد بحث را می‌توان در گروه تورمالین‌های قلیایی جای داد (شکل ۱۰-الف). این کانی همچنین، دارای $\sum(Fe + Mg)<3$ و منطقه-بندی ضعیف شیمیایی است که حکایت از جانشینی Al در

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

موقعیت و جایگاه یون‌های گروه Y دارد. افزون بر این، مقدار Mg آن بر میزان Fe اندک فزونی نشان می‌دهد. نسبت $FeO^* = FeO/FeO + MgO$ بیش از ۰/۸ در تورمالین‌ها بیانگر بسته بودن سیستم ماگمایی، عدم دخالت 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 تشست‌های غنی از Al دارد [۲۲، ۲۳]. با توجه به اینکه میزان FeO^* در تورمالین‌های قلمرو مورد بررسی کمتر از ۰/۶ (۰/۵۲ تا ۰/۵۶) است، شیل‌ها و اسلیت‌های ژوراسیک زیرین را می‌توان به عنوان خاستگاه این کانی تصور کرد. در نمودارهای سه تایی Al-Mg-Fe و Mg-Ca-Fe که با هدف تعیین و تشخیص سنگ خاستگاه تورمالین ارائه شده، نمونه-های 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 تورمالین-های 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 شرایط دگرگونی درجه متوسط در مسکویت و تورمالین باقی می‌ماند و در شبه پلیت‌های رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی، تنها فاز Bدار تورمالین است و در شرایط رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت با متلاشی شدن تورمالین، B رها می‌شود.

با توجه به آنچه گفته شد، ارتباط تنگاتنگ بین سنگ‌های تورمالین‌دار، گرانودیوریت‌های پر آلومین دو میکایی و خاستگاه شبه-رسوبی آنهاست [۲۶]. با توجه به پایداری تورمالین در شرایط رخساره‌ی آمفیبولیت بالایی، توده‌های گرانودیوریتی روستای ملاطالب به احتمال بسیار زیاد بر اثر ذوب‌بخشی نهشته‌های شبه پلیتی در شرایط 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 ماگمایی هستند، در حالیکه تورمالین‌های لایه‌ای دارای خاستگاه دگرنهادی در ارتباط با شبه‌پلیت‌ها و متاپسامیت‌هاست. براین اساس تورمالین‌های منطقه‌ی مورد پژوهش، خاستگاه مشابهی با تورمالین‌های نواری منطقه آستانه دارد.

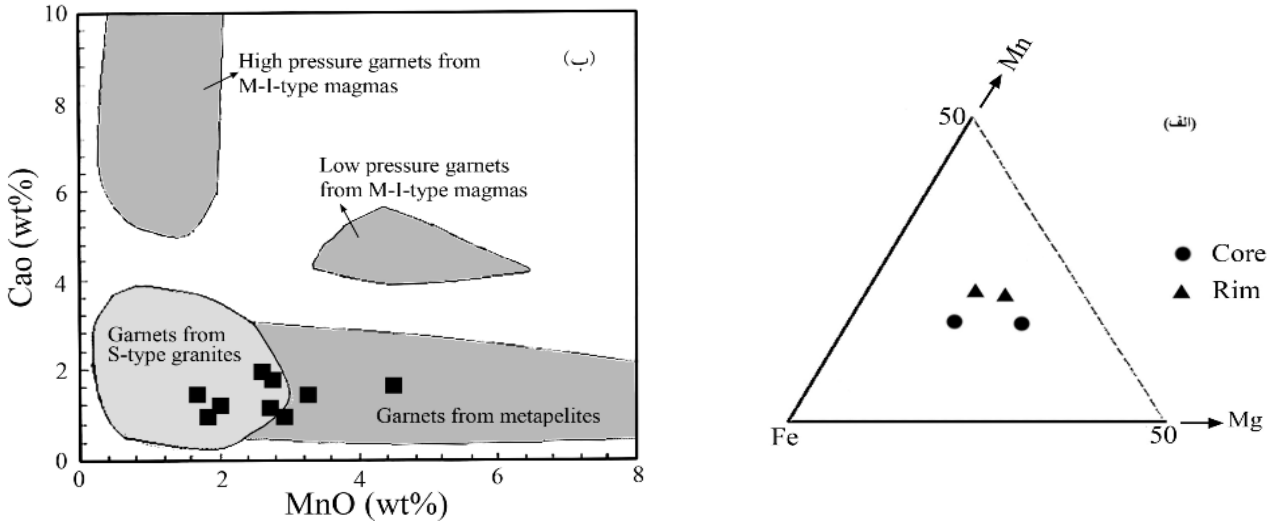


شکل ۱۰ موقعیت تورمالین‌های منطقه روی نمودارهای سه تایی Al-Fe-Mg و Ca-Fe-Mg [۲]. گرانیتوئیدهای سرشار از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۲ – گرانیتوئیدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۳- سنگ‌های کوارتز - تورمالین سرشار از +Fe3 (گرانیت‌های دگرسان شده گرمابی)، ۴- شبه‌پلیت‌ها و متاپسامیت‌های همزیست با یک فاز اشباع از Al، ۵- شبه پلیت‌ها و متاپسامیت‌های غیرهمزیست با یک فاز اشباع از Al، ۶- سنگ‌های کالکوسیلیکاته، متاپلیت‌ها و سنگ‌های کوارتز –تورمالین سرشار از +Fe3، ۷- الترامافیک‌های دگرگون شده با کلسیم پایین و متاسدیمنت‌های غنی از وانادیم و کروم، ۸- متاکربنات‌ها و متاپیروکسنیت‌ها، ۹- سنگ های کالکوسیلیکاته، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های سرشار از Ca، ۱۰- سنگ‌های کوارتز- تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca، ۱۱- متاکربنات‌ها، ۱۲- متا الترامافیک‌های دگرگون شده.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

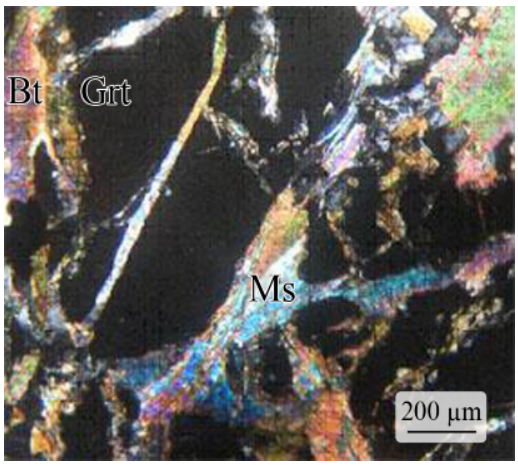
داده‌های آنالیز ریزپردازشی حاکی از طبیعت آلماندین گارنت‌های مورد بحث است. این گونه گارنت بیشتر در سنگ-های آذرین به شدت پرآلومینه که خاستگاه آن‌ها را به ذوب بخشی سنگ‌های رسوبی نسبت می‌دهند، یافت می شود [۸]. آلماندین در دگرگونی‌های در درجه‌ی بالا، دارای ترکیب نسبتاً یکنواختی است و منطقه بندی شیمیایی محدود 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 مورد بررسی آنها با مقدار پایین MnO (۱٫۸۶-۲٫۵۴ درصد) و CaO (۰٫۳۸-۱٫۵۸ درصد) (جدول ۲) در شرایط P-T رخساره‌ی دگرگونی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت زیرین به وقوع پیوسته است. از منظر کانی‌شناختی، گارنت‌های دگرگونی اصولاً بی‌شکل‌اند 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. افزون بر این، بسیاری از این گونه گارنت‌ها دارای حاشیه واکنشی گسترده‌ای 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 ریخت‌شناسی بلوری گارنت عبارتند از، عناصر Mn، Ca و نسبت‌های Mn/Ca و (Mn+Mg)/Ca. همچنین، مقدار کاتیون Mg تأثیر ناچیزی بر پیکربندی بلوری گارنت دارد که با افزایش این نسبت‌ها به پیکره‌های ذوذنقه‌ای تغییر می‌کند. در درجات پایین دما و فشار، Mn و Ca وارد ساختار گارنت شده و گروسولار و اسپسارتین همراه آلماندین تشکیل می‌شوند و میزان آلماندین با پیشرفت نوع دگرگونی افزایش می‌یابد [۳۰]. لذا گارنت‌های با خاستگاه دگرگونی غالباً دارای پیکربندی دوازده وجهی و گارنت‌های با خاستگاه آذرین اغلب پیکربندی با وجهای ذوذنقه‌ای 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 میانگین 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 گرانودیوریت‌های پرآلومینه دو میکایی در شرایط رخساره‌ی دگرگونی آمفیبولیت بالایی-گرانولیت زیرین به وجود آمده‌اند [۱۱] (شکل ۱۱- ب).

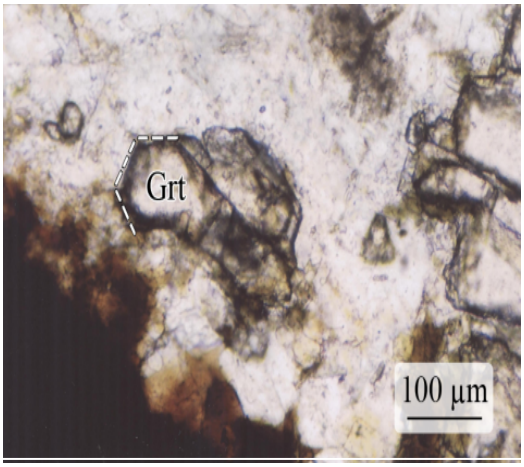


شکل ۱۱ (الف) افزایش Mn و کاهش Mg در حواشی بلورهای گارنت، (ب) موقعیت خاستگاه گارنت‌های موجود در گرانیتوئید ملاطالب (برگرفته از [۲۹]).

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]



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



شکل۱۳ نمایی از فرم شش ضلعی بلور گارنت که به پیکربندی دوازده وجهی آن اشاره دارد، در نور PPL.

برداشت

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

- تورمالین های مورد پژوهش از نوع دراویت بوده و منطقه بندی ضعیف شیمیایی دارند. نسبت‌های Ca/(Ca+Na) (۰٫۲۰۶ تا ۰٫۳۵۵)، Fe/(Fe+Mg) (۰٫۳۷۹ تا ۰٫۴۳۵) و میزان Mg نسبت به Fe در آن‌ها بالاست. مقدار کم Ca حاکی از حضور مقدار اندک عضو پایانی تورمالین کلسیم‌دار (برای مثال اویت [Ca(Fe, Mg)(Na,Al)] در ساختار تورمالین‌های منطقه‌ی مورد بررسی است. افزون بر این، مقدار نسبتاً بالای Na_2O در آن‌ها، این کانی را در شمار تورمالین‌های گروه قلیایی قرار می‌دهد. این نوع تورمالین‌ها معمولاً 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 تورمالین ها معرفی می کند. تورمالین تنها فاز B دار شبه- پلیت‌های رخساره آمفیبولیت بالایی شناخته می-شود 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، گارنت های مورد بررسی از نوع آلماندین است که افزایش اسپسارتین و کاهش پیروپ در حاشیه‌ی بلورها چشمگیراند و نیز محتوای اندکی از MnO و CaO دارند. این ویژگی‌ها حاکی از آنست که نطفه بندی این نوع گارنت‌ها در 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 میکایی شبه آلومین گستره‌ی تحت پژوهش، به احتمال بسیار زیاد بر اثر آناتکسی نهشته‌های شبه- پلیتی به سن ژوراسیک زیرین در شرایط رخساره‌ی گرانولیت رخ داده است. بدیهی است تفسیر جامع خاستگاه ماگماتیسم گستره‌ی مورد بررسی نیازمند داده‌های دقیق شیمیایی از سنگ‌های گرانیتوییدی منطقه است.

مراجع

[۱] اتردی س. *"کانی شناسی سیلیکات ها"*، انتشارات دانشگاه پیام نور (۱۳۷۸) ۲۹۱.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Deer W.A., Howie R.A., Zussman J., *"Rock forming mineral"*, Longman, (1) (1966) 333.

[5] London D., Manning D.A.C., *"Chemical variation and significance of tourmaline from SW England"*, Economic Geology, 90 (1995) 495–519.

[6] Novak M., Povandra P., Selway J.B., *"Schorl–oxy–schorl to dravite–oxy–dravite tourmaline from granitic pegmatite, examples from the Moldanubicum, Czech Republic"*, Europian Journal of Mineralogy, 16 (2004) 323-333.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]

[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 پترولوژی توده نفوذی روستای ملاطالب (شمال الیگودرز) پهنه ی سنندج- 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",* Americam Mineralogists 68 (1983) 277-279
[14] Hawthoren F.C., Henry D.J., *"Classification of the mineral of the tourmaline group",* Europian Journal of Mineralogy, 11 (1999) 201-215.
[15] Hawthoren 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: Evidance 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 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",* Geochimca et Cosmochimca 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"*, Europian Journal of Mineralogy, 14 (2002) 943-955.
[۲۷] طهماسبی ز، احمدی خلجی ا، رجاییه م، "*تورمالین‌زایی 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., Lioyd 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 Tibrtan 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.، موذن م.، حسین میرزائی ز.، دادخواه ر.، "*بررسی عوامل کنترل کننده‌ی ریخت شناسی بلورهای گارنت در سنگ‌های دگرگون و آذرین منطقه همدان*"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۴ (۱۳۸۹) ۵۱۹-۵۳۰.

[Downloaded from ijcm.ir on 2025-07-11]