مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران

سال بیست و ششم، شمارهٔ چهارم، زمستان ۹۷، از صفحهٔ ۹۷۵ تا ۹۸۸

انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران

بررسی شیمی کانی تورمالین در توده گرانیتی لاله‌زار (استان کرمان)

صدف احمدی، زهرا طهماسبی*، احمد احمدی خلجی، فرهاد زال

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۱۲، نسخه نهایی: ۹۷/۲/۸)

چکیده: باتولیت گرانیتی لاله زار در جنوب شرق کمربند ماگمایی ارومیه –دختر و نوار دهج-ساردوییه قرار دارد. این توده دارای تراکم پایینی از تورمالین با ریخت‌های گرهکی، رگه‌ای و خورشیدی است. رخداد کم تورمالین در این توده را می‌توان به اشباع بودن توده از بور نسبت داد. تورمالین‌های مورد بررسی در گستره سری شورل-دراویت و تورمالین‌های قلیایی قرار می‌گیرند. بیشتر جانشینی‌های صورت گرفته در این تورمالین‌ها از نوع جانشینی‌های $Ca + Mg(O) = Na + Mg(OH)$، $Ca = X - vac + Na$، $Ca + Mg = (X - vac + Al) - 1$ و جانشنی منیزیم به جای آهن هستند. وجود منطقه‌بندی‌های آشکار در تورمالین‌ها، مقادیر بالای منیزیم و مقادیر $FeO/FeO + MgO$ کمتر از ۰/۶ بیان کننده رشد تورمالین‌ها در سیستم‌های باز و یک خاستگاه ماگمایی-گرمابی تا گرمابی برای تورمالین‌هاست. از طرفی مقدار بالای عناصر خاکی نادر در تورمالین‌ها و غنی‌شدگی چند برابری از عناصر خاکی نادر سبک (LREE) و غنی‌شدگی کمتر از عناصر خاکی نادر سنگین (HREE) نسبت به کندریت و سنگ میزبان و غنی‌شدگی از عناصر دگرگونی مانند Cr، V، Ni، Cu، Zn و Zr بیان کننده خاستگاه گرمابی برای این تورمالین‌هاست.

واژه‌های کلیدی: *خورشیدی؛ گرهکی؛ تورمالین؛ لاله زار؛ باتولیت؛ ارومیه –دختر.*

مقدمه

ساختار بلوری تورمالین به صورت $(X)(Y3)(Z6)T6O18(BO3)V3W$ بیان شده است [۱]. جایگاه X توسط Ca,Na, K و جایگاه Z با Al و گاهی با V^{3+},Cr,Mg,Ti,Fe^{+3},Fe^{+2} پر می‌شود. جایگاه Y جانشینی‌های گوناگونی از کاتیون‌های یک تا چهار ظرفیتی را شامل می‌شود. جایگاه T اغلب به وسیله Al، جایگاه W با O و OH اشغال می‌شود و جایگاه V را O,F,H پر می‌کنند [۲]. ترکیبات پیچیده تورمالین نشان دهنده تغییرات شیمیائی و فیزیکی محیط است. از این رو این کانی می‌تواند به عنوان یک شناساگر سنگ‌زایی در شناخت انواع سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی اهمیت داشته باشد [۳]. با توجه به ترکیب پیچیده تورمالین، این کانی ممکن است در شرایط اولیه ماگمایی تا گرمابی تشکیل شود [۴]. تورمالین در انواع محیط‌های زمین‌شناسی تشکیل می‌شود و کانی رایج پگماتیت‌های گرانیتی، سنگ‌های دگرگونی درجه ضعیف تا قوی و سنگ‌های رسوبی آواری است. در ایران، تورمالین‌زایی در توده‌های گرانیتی مناطق مختلف گزارش شده است که از این میان می‌توان به گرانیت مشهد [۵]، گرانیت آستانه [۶]، گرانیت ملاطالب [۷]، گرانیت الوند [۸]، گرانیت منگاوی [۹]، پگماتیت‌های نهبندان [۱۰] گرانیت بروجرد [۱۱]، گرانیت شاه کوه [۱۲]، کوارتز دیوریت های منطقه شوراب [۱۳] و همچنین رخداد تومالین در ارتباط با معدن طلا و مس کوه زر(سمنان) [۱۴] اشاره کرد. برپایه پژوهش‌های صورت گرفته در این مناطق، تورمالین‌ها بیشتر وابسته به سری دارویت-شورلیت هستند و در شرایط مختلف از ماگمایی تا گرمابی تشکیل شده‌اند. به عنوان مثال، تورمالین‌های منگاوی براساس

*نویسنده مسئول، تلفن: ۳۳۱۲۰۶۱۹ (۰۶۶)، نمابر: ۳۳۱۲۰۶۲۰ (۰۶۶)، پست الکترونیکی: tahmasebi.z@lu.ac.ir

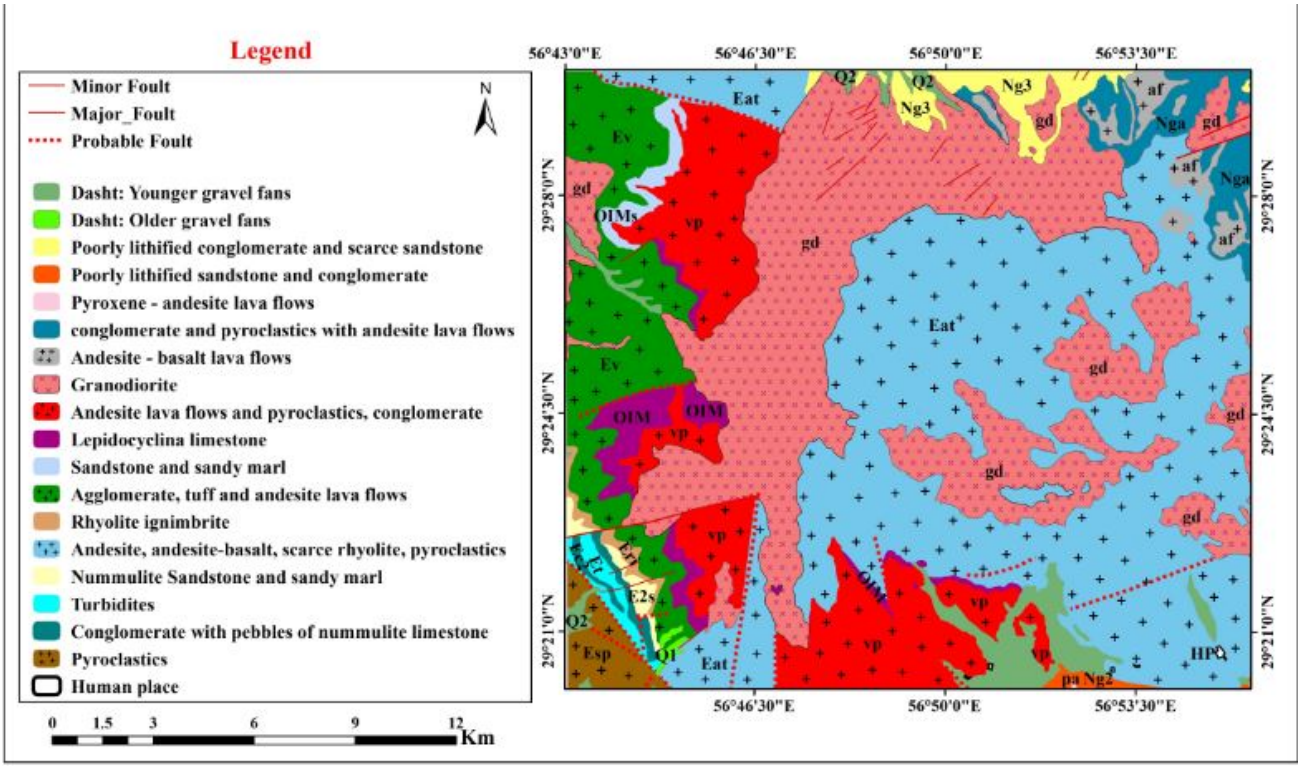
[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

پارامترهای شیمیایی مانند غنی بودن از آهن، وجود جایگاه خالی بسیار x و همچنین رفتار عناصر کمیاب از نوع ماگمایی [۹]، تورمالین‌های ملاطالب [۷] و تورمالین‌های کوه زر [۱۴] براساس غنی بودن از منیزیم و وجود منطقه‌بندی مشخص از نوع گرمابی معرفی شده‌اند. وجود شکل‌های مختلف تورمالین در توده گرانیتی بیان کننده‌ی تشکیل آنها در شرایط مختلف است. به طوریکه در مورد تشکیل شکل‌های مختلف تورمالین در گرانیت مشهد برای آنها شرایطی از ماگمایی تا گرمابی-ماگمایی بیان شده‌اند [۵]. تورمالین در شکل گرهکی نیز بیشتر در لیکو گرانیت‌ها مانند لیکو گرانیت‌های مشهد، آستانه گزارش شده است. اما معرفی تورمالین به شکل‌های مختلف و بررسی شرایط تشکیل آنها در ایران مورد توجه چندانی قرار نگرفته است. در اینجا ما به بررسی زمین‌شیمیایی، تعیین نام دقیق کانی شناسی، چگونگی تشکیل و تعیین خاستگاه انواع تورمالین‌ها در توده گرانیتی لاله‌زار می‌پردازیم.

زمین شناسی عمومی منطقه مورد بررسی

توده گرانیتی لاله‌زار با مختصات طول جغرافیایی ′ ۵۶°۴۳ تا ′۵۶°۵۳ و عرض جغرافیای′۲۰ °۲۹ تا ′۳۰ °۲۹ در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بافت قرار دارد (شکل ۱). این منطقه در بخش جنوب شرق کمربند ماگمایی ارومیه –دختر و نوار دهج-ساردوئیه (استان کرمان) واقع است. به عقیده برخی پژوهشگران [۱۶،۱۵]، کمربند ارومیه - دختر، نتیجه فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس به زیر پهنه ایران است. این کمربند شامل توالی ضخیمی از سنگ‌های آهکی-قلیایی تا شوشونیتی است [۱۸،۱۷،۱۵]. [۱۵] فعالیت ماگمایی پهنه ارومیه- دختر را برخی از نوع کرانه فعال قاره‌ای [۱۵] و برخی از نوع جزایر قوسی [۱۸] در نظرگرفته‌اند. بخش جنوبی این کمربند در جنوب شرق ایران در کرمان با نام کمربند ماگمایی دهج-ساردوئیه و یا جبال بارز شناخته شده و شامل سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی با سن‌های مختلف است [۱۹]. از مهمترین گرانیت‌های این منطقه می‌توان به توده‌ی گرانیتی لاله‌زار و گرانیت‌های کوه شاه اشاره کرد.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰بافت (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی ایران).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

توده گرانیتی لاله‌زار دارای طیف ترکیبی از گرانیت تا گابرو است که ترکیب دیوریت و تونالیت غالب هستند. این توده از نوع گرانیت آهکی-قلیایی و I است که در یک کمان کرانه قاره‌ای تشکیل شده است [۲۱،۲۰]. این توده در مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی، ماسه سنگ، رسوبات مارنی ائوسن و پیش از آن نفوذ کرده است. واحد اسکارنی در شمال شرق این توده و در محل تماس با مجموعه‌ی آهکی و مارنی تشکیل شده است. توده‌ی گرانیتوئیدی کوه شاه که بخشی از منطقه‌ی مورد بررسی محسوب می‌شود شامل طیف ترکیب فلدسپات گرانیت قلیایی، گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت است، که در بین سنگ‌های آتشفشانی آواری به سن ائوسن تزریق شده است [۲۲]. آهک‌های اولیگومیوسن، جوان‌ترین واحدهای سنگی هستند که توسط این توده قطع شده‌اند. با نگاهی به نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چهار گوش بافت [۲۳] می‌توان دریافت که هر سه نوع سنگ آذرین، رسوبی و دگرگونی در منطقه رخنمون دارند. از طرف شمال شرق به طرف جنوب غرب ورقه، توده‌ی گرانیتوئیدی کوه شاه، نواحی پوشیده شده توسط آتشفشان آواری‌های ائوسن، کمربند آمیزه‌ی رنگین و پهنه دگرگون شده‌ی دوره دیرینه زیستی قابل تشخیص‌اند.

روش انجام کار

نخست طی بررسی‌های صحرایی از منطقه و نمونه‌برداری، تعداد ۶۰ نمونه برای تهیه مقطع نازک انتخاب شد. پس از بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع نازک، تعداد ۶ عدد از نمونه دستی این مقاطع که دربردارنده تورمالین‌های گرهکی، رگه‌ای و خورشیدی بود برای تهیه مقاطع نازک صیقلی و بررسی‌های دقیق کانی‌شناسی و تعیین کانی‌های مناسب برای آنالیزهای مربوط به شیمی کانی‌ها انتخاب گردید و سپس در مرکز تحقیقات فرآوری موادمعدنی ایران با دستگاه ریزپردازنده مدل SX10، ساخت شرکت Cameca کشور فرانسه درشرایط ولتاژ ۱۵ kV و جریان ۲۰ nA تجزیه نقطه‌ای کانی‌های مورد نظر انجام شد. در این بررسی، کانی‌های تورمالین در ۵۲ نقطه تجزیه شدند. در ادامه به منظور تعیین عناصر کمیاب بصورت کاتیونی و همچنین تعیین ۱۰ اکسید اصلی تعداد ۳ نمونه از سنگ میزبان و ۳ نمونه از کانی تورمالین در آزمایشگاه Act lab کشور کانادا به روش‌های طیف‌سنجی فلئورسانس پرتوی X (XRF) و طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP –MS) بررسی شدند (جدول ۱). برای جدایش کانی تورمالین، نمونه‌های تورمالین پس از خردایش، از محلول برموفرم عبور داده شده و سپس نمونه‌های جدا شده دوباره و با استفاده از میکروسکوپ دوچشمی جدا و خالص سازی شدند.

سنگ‌نگاری

در منطقه مورد بررسی، گرانیت‌های دربردارنده تورمالین در نمونه دستی دارای رنگ خاکستری روشن با ضریب رنگی سنگ‌روشن هستند. کانی‌های اصلی آن شامل کوارتز (۴۰درصد)، پلاژیوکلاز (۲۰درصد)، ارتوز (۳۲ درصد) و بیوتیت (۵ درصد) و کانی‌های فرعی آن شامل آپاتیت، اسفن و تورمالین هستند. دگرسانی‌های موجود در توده شامل کلریتی-شدن بیوتیت، سرسیتی‌شدن پلاژیوکلاز و فلدسپات قلیایی، اپیدوتی‌شدن پلاژیوکلاز و بیوتیت است. بطور کلی تورمالین‌ها در این منطقه از فراوانی اندکی برخوردار بوده‌اند. باتوجه به شواهد صحرایی، تورمالین در منطقه‌ی مورد بررسی از نظر ریخت‌شناسی بصورت گرهکی، خورشیدی، رگه‌های شامل تورمالین و به رنگ سیاه دیده می‌شود که از لبه به سمت مرکز توده، از تنوع و تعداد تورمالین‌ها کاسته و بلورهای تورمالین درشت‌تر می‌شوند. در راستای لبه‌ی جنوبی باتولیت لاله‌زار، رخنمون‌های گسترده‌ای از تورمالین بصورت رگه‌ای دیده می-شود. در زیر، هریک از رخدادهای تورمالین توضیح داده می-شود:

تورمالین‌های گرهکی: بر اساس شواهد صحرایی، تورمالین‌های گرهکی بیشتر در لبه توده دیده می‌شوند، اما با کمی دور شدن از لبه از فراوانی آنها کاسته شده و اندازه گرهک‌ها بزرگتر می-شوند. گرهک‌های موجود در قسمت‌های کمی دورتر از لبه، دارای لبه‌ی روشن هستند ولی این حالت در گرهک‌های لبه‌ی سنگ بسیار کم دیده می‌شود یا اصلا دیده نمی‌شود (شکل ۲ الف). قطر تورمالین‌های گرهکی بطور کلی بین ۲ تا ۵ سانتیمتر متغیر است. در اطراف برخی از این تورمالین‌ها نیز رگه‌های سبز رنگی دیده می‌شود که شامل کانی اپیدوت هستند. در اطراف گرانیت‌های دربردارنده تورمالین گرهکی، تورمالین‌هایی به شکل نامنظم و بهم ریخته بصورت خورشیدی دیده شد که در سطح درزه‌ها پراکنده شده‌اند. همچنین در اطراف این تورمالین‌ها نیز می‌توان رگه‌های شامل تورمالین را نیز مشاهده کرد. تورمالین‌های گرهکی در مقاطع میکروسکوپی به صورت بلورهای شکل‌دار و دارای منطقه‌بندی با چندرنگی سبز تیره تا قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند. گرهک‌ها علاوه بر کانی تورمالین، شامل کانی‌های کوارتز، فلدسپات (ارتوز و پلاژیوکلاز)، اکسیدهای آهن و اپیدوت نیز هستند. به نظر می‌رسد که

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

اپیدوت‌ها نتیجه دگرسانی پلاژیوکلاز باشند. بافت‌های پرتیتی، آنتی پرتیت و گرافیکی در این مقاطع دیده شدند (شکل ۲ ت).

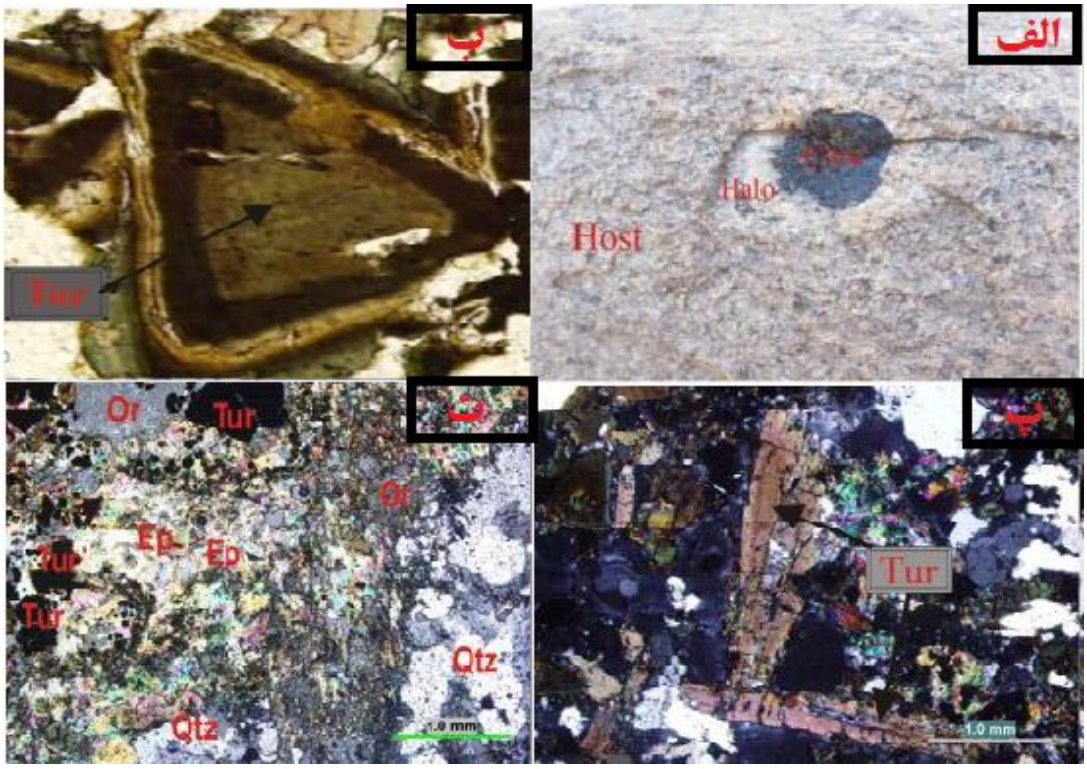
تورمالین‌های خورشیدی: تورمالین های خورشیدی در منطقه مورد بررسی بصورت پراکنده و گاه انبوه و در تداخل با هم در سطح درزه های موجود در سنگ میزبان و معمولا در اطراف تورمالین‌های گرهکی دیده می‌شوند (شکل ۳ الف). براساس مشاهدات میکروسکوپی، این نوع تورمالین‌ها ، بیشتر بی شکل هستند و چندرنگی سبز تیره تا قهوه‌ای تیره را از خود نشان می‌دهند. این نوع تورمالین‌ها توسط کوارتز و فلدسپات‌ها با بافت دانه‌ای احاطه شده‌اند. این تورمالین‌ها نیز منطقه بندی ضعیفی نشان می‌دهند (شکل ۳ ب).

جدول ۱ داده‌های عناصر کمیاب کانی تورمالین و سنگ میزبان آن (تجزیه به روش ICP-MS)

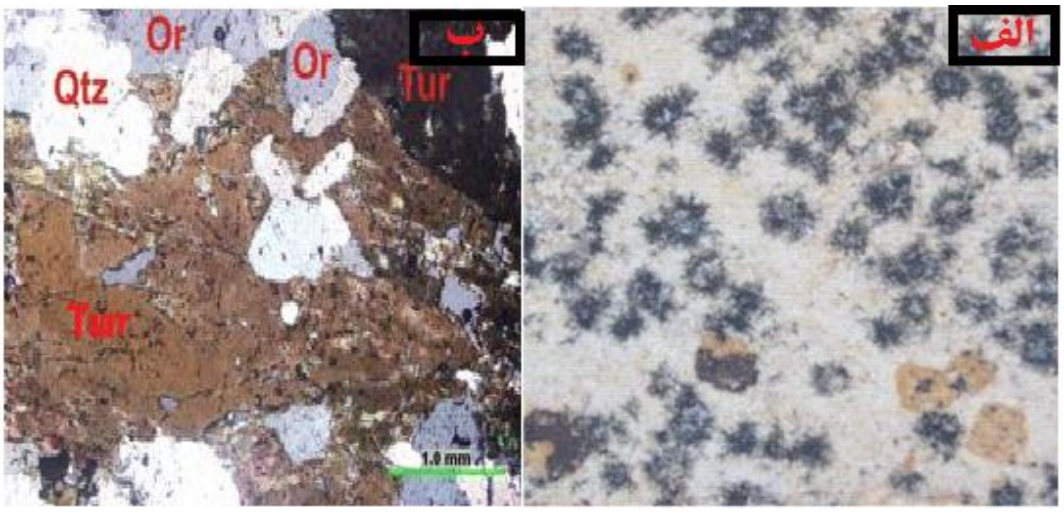
	تورمالین رگه ای	تورمالین گرهکی	میزبان گرهکی	میزبان رگه ای	تورمالین خورشیدی	میزبان خورشیدی
Sc	۳۳	۳۸	۶	۶	۳۵٫۵	۶
V	۱۳۸	۲۳۰	۳۹	۴۴	۱۸۴	۴۱ ۵
Cr	۱۰۶۰	۵۸۰	۱۵۰	۱۴۰	۸۲۰	۱۴۵
Co	۴۸	۶۸	۵	۵	۵۸	۵
Ni	۸۰	۴۰	< ۲۰	۳۰	۶۰	۲۶
Cu	۱۲۰	۲۲۰	۱۰۰	۵۰	۱۷۰	۷۵٫۳
Zn	۹۰	۹۰	۴۰	۳۰	۹۰	۳۵٫۳۳
Ga	۳۶	۳۷	۱۳	۱۳	۳۶٫۵	۱۳
As	۳۷	۱۰۳	۸	< ۵	۷۰	۷٫۳۶
Rb	۱۵	۱۲	۱۷۸	۱۸۴	۱۳٫۵	۱۸۱
Sr	۲۵۶	۲۳۵	۱۷۵	۱۹۱	۲۴۵٫۵	۱۸۳
Y	۹۱	۳۴	۲۶	۲۳	۶۲٫۵	۲۴٫۵
Zr	۳۱۵	۱۲۱	۱۶۷	۱۷۸	۲۱۸	۱۷۲٫۵
Nb	۲۴	۶	۴	۴	۱۵	۴
Mo	۱۱	۶	۲	۲	۸ .۵	۲
Sn	۴۰	۳۲۶	۱۰	۲	۱۸۳	۷
Cs	۱٫۷	۱٫۲	۶٫۹	۹٫۳	۱٫۴۵	۸٫۴
Ba	۴۰	۳۹	۴۲۴	۴۳۸	۳۹٫۵	۴۳۱
La	۲۵۸	۲۳۱	۲۰٫۳	۲۳	۲۴۴٫۵	۲۱٫۶۵
Ce	۵۲۵	۴۴۸	۴۱٫۷	۴۶٫۷	۴۸۶	۴۴٫۷
Pr	۵۷	۴۷	۴٫۷۸	۵٫۳	۵۲٫۱۵	۵
Nd	۱۸۸	۱۵۰	۱۸	۱۹	۱۶۹	۱۸٫۵
Sm	۲۸٫۲	۱۹٫۷	۳٫۸	۴	۲۳٫۹۵	۳٫۲
Eu	۱٫۲۴	۱٫۰۳	۰٫۶۹	۰٫۶۸	۱٫۱۳	۰٫۶۸
Gd	۱۹٫۱	۱۱٫۳	۳٫۸	۳٫۹	۱۵٫۲	۳٫۹
Tb	۲٫۷	۱٫۳	۰٫۶	۰٫۶	۲	۰٫۶
Dy	۱۵٫۷	۶٫۷	۴٫۱	۴٫۱	۱۱٫۲	۴٫۱
Ho	۳٫۱	۲٫۱	۰٫۹	۰٫۸	۳	۰٫۸۵
Er	۹٫۲	۳٫۵	۲٫۵	۲٫۵	۶٫۳۵	۲٫۵
Tm	۱٫۳۸	۰٫۵۳	۰٫۴۲	۰٫۳۷	۰٫۹۵	۰٫۳۹
Yb	۹٫۶	۳٫۸	۲٫۷	۲٫۶	۶٫۷	۲٫۶۵
Lu	۱٫۵۲	۰٫۶۶	۰٫۴۵	۰٫۵۲	۱٫۰۹	۰٫۴۳
Hf	۹٫۱	۳٫۹	۵٫۲	۴٫۹	۶٫۵	۵٫۰۵
Ta	۲٫۹	۱	۰٫۸	۰٫۸	۱٫۹۵	۰٫۸
Pb	۳۵	۷۶	۲۱	۱۹	۵۵٫۵	۲۰٫۴۶
Th	۶۹٫۵	۴۶٫۴	۲۳٫۲	۲۷٫۲	۵۷٫۹۵	۲۵٫۶
U	۱۳٫۴	۳	۵	۶٫۳	۸٫۲	۵٫۶

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]



شکل۲ الف)تصویر صحرایی از تورمالین‌ها، ب) بلورهای شکل‌دار تورمالین نودولی در نورXPL، پ) بلور باریک و کشیده‌ی تورمالین گرهکی درنور XPL و ت) همبری از اپیدوت، کوارتز، فلدسپات پیرامون تورمالین گرهکی.

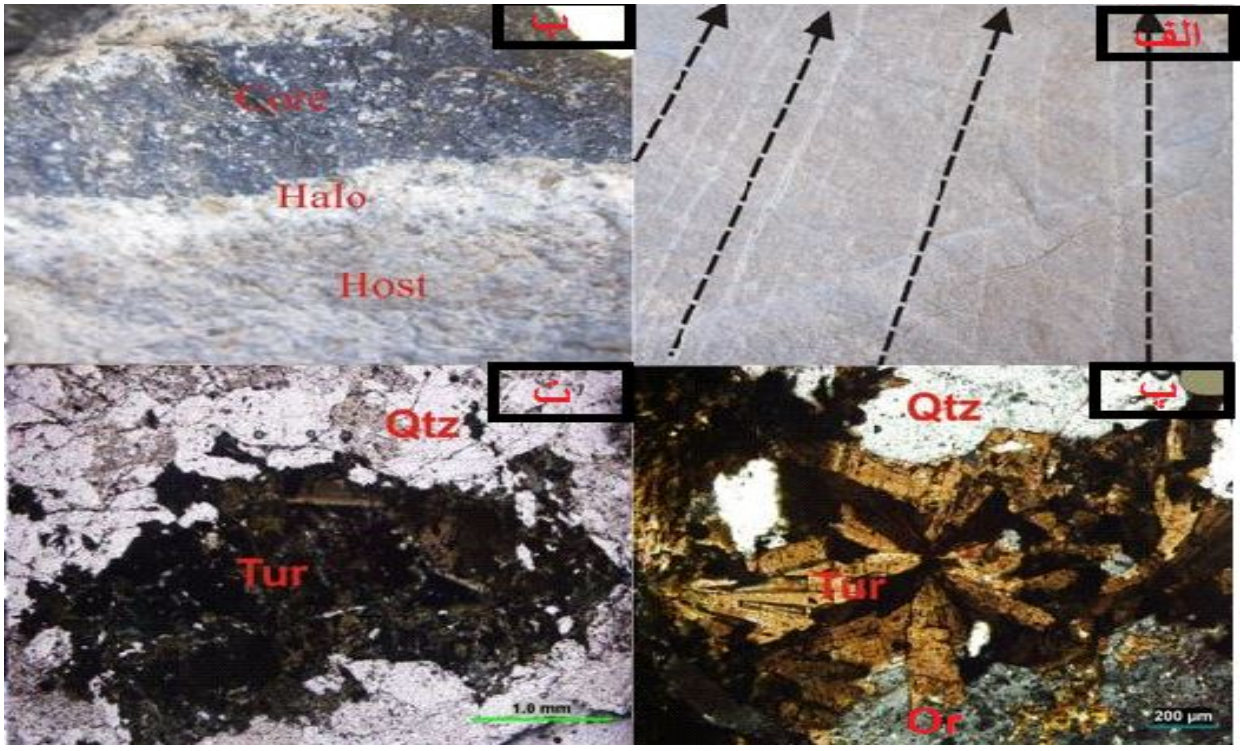


شکل۳ الف) تصویر صحرایی تورمالین‌های خورشیدی ب) تورمالین خورشیدی در نورPPL.

تورمالین‌های رگه‌ای: تورمالین‌های رگه‌ای بصورت کاملا منظم و به موازات یکدیگر در منطقه مورد بررسی دیده می‌شوند. همه این رگه‌ها بطور مشترک دارای لبه‌ی سفید با ترکیبی از کوارتز و فلدسپات هستند و قطر آن‌ها بین ۱تا ۲ میلیمتر متغیر است. در اطراف این رگه‌ها می‌توان تورمالین‌های گرهکی بصورت انبوه و در تداخل بسیار با یکدیگر و همچنین نوع منشوری و میله‌ای با فراوانی کمتر را مشاهده کرد (شکل‌های ۴ الف و ب). براساس بررسی‌های میکروسکوپی، این تورمالین‌ها در مقاطع با چند رنگی سبز تیره و قهوه‌ای تیره تا روشن دیده می‌شود. همچنین در مقاطع مربوط به این رگه‌ها می‌توان کانی بیوتیت را نیز مشاهده کرد که این کانی متعلق به سنگ میزبان گرانیتی است و در برخی موارد تجزیه شده و کلریت‌های آبی رنگ را بوجود آورده است (شکل‌های ۴ پ و ت).

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]



شکل ۴ الف و ب تصویری صحرایی از تورمالین‌های رگه‌ای در منطقه، پ و ت) تصویر میکروسکوپی از تورمالین‌های رگه‌ای به همراه کوارتز و فلدسپات.

شیمی کانی تورمالین

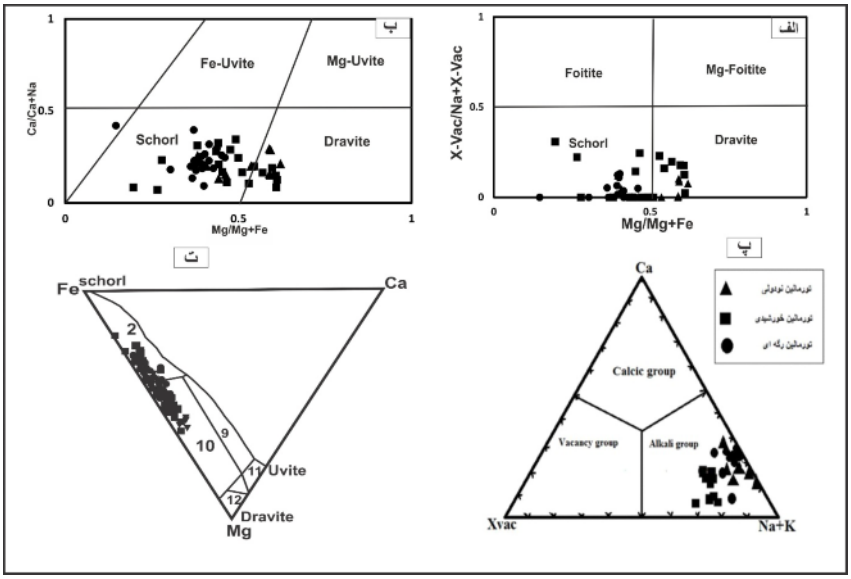
داده‌های مربوط به تجزیه ریزپردازشی کانی‌های تورمالین در جدول ۲ ارائه شده که فرمول ساختاری کانی تورمالین براساس ۳۱ آنیون محاسبه شده است. برای بررسی نوع تورمالین‌ها از نمودار Xvac/Xvac+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۲۴] و نمودار Ca/Ca+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۲۵] استفاده شده است (شکل‌های ۵ الف و ب). براساس این نمودارها، تورمالین‌های رگه‌ای در گستره شورلیت (شورلیت غنی از منیزیم) و تورمالین‌های گرهکی و خورشیدی در گستره متغیری از شورلیت (شورلیت غنی از منیزیم) و دراویت قرار دارند. تورمالین‌های مورد بررسی در نمودار سه تایی Ca, Na+K,X-Vac [۱]، در گستره تورمالین‌های قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵ پ). به منظور تعیین سنگ خاستگاه تورمالین‌های مورد بررسی از نمودارهای سه تایی Ca-Fe-Mg [۲۶] استفاده شده است (شکل ۵ ت). بر اساس این نمودار، تورمالین‌های مورد بررسی در گستره‌ی سنگ‌های کوارتز-تورمالین، پسامیت‌های دگرگونه و متاپلیت‌های دگرگونه فقیر از کلسیم و گرانیتوییدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها وآپلیت‌های وابسته به آن‌ها قرار دارند. براساس نمودار R1+R2 نسبت به R3 [۲۷]، هر سه نوع تورمالین‌های رگه‌ای، خورشیدی و گرهکی در راستای بردار اویت و با تمایل به سمت اویت قرار گرفته‌اند (شکل ۶ الف). براساس این نمودار، می‌توان جانشینی‌های 1 - (Ca Mg) (O) (Na Fe) (OH) و یا 1 - (Ca Mg) (Na Al) را برای تورمالین‌های مورد بررسی در نظر گرفت. بنابر داده‌های تجزیه ریزپردازشی و محاسبه‌ی کاتیونی کانی تورمالین مشخص شده که جایگاه X در این تورمالین‌ها بیشتر با عناصر قلیایی بویژه سدیم پرشده است و بیشتر تورمالین‌ها فاقد جایگاه خالی X هستند، که البته در این جایگاه می‌توان مقداری کلسیم را نیز مشاهده کرد. از این رو می‌توان گفت که در این تورمالین‌ها جانشینی از نوع کمبود قلیایی‌ها صورت نگرفته و بیشتر جانشینی‌ها مربوط به جایگیری کلسیم و منیزیم بجای سدیم و آهن است. برای بررسی وضعیت جایگاه Y در کانی تورمالین، از نمودار Fe نسبت به Mg [۲۱] استفاده شده است. در این نمودار بیشتر نمونه‌ها در بالای خط $\sum(Fe + Mg) = 3$ قرار گرفته‌اند (شکل ۶ ب) و بر اساس این نمودار، همه نمونه‌هایی که دارای $\sum(Fe + Mg)$ بیش از ۳ هستند، جانشینی Al در جایگاه Y را به مقدار کم دارند.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

جدول ۲ گزیده‌ای از داده‌های مربوط به تجزیه نقطه‌ای کانی تورمالین خورشیدی، گرهکی و رگه‌ای (محاسبه فرمول کانی تورمالین با استفاده از ۳۱ آنیون).

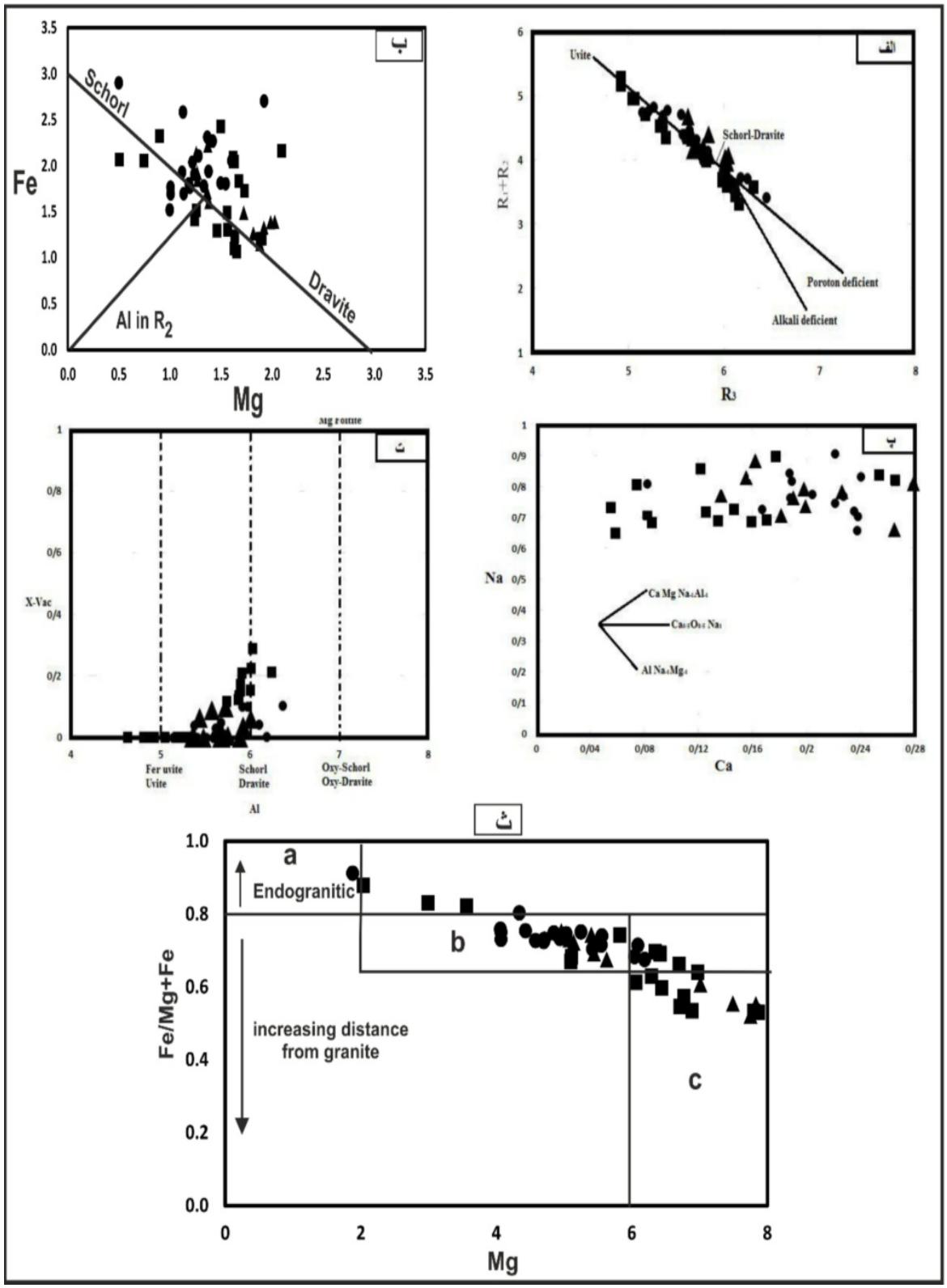
	خورشیدی	خورشیدی	خورشیدی	خورشیدی	خورشیدی	گرهکی	گرهکی	گرهکی	گرهکی	گرهکی	رگه ای	رگه ای	رگه ای	رگه ای	رگه ای
SiO_2	۳۶٫۸	۳۷	۳۵٫۶	۳۶٫۸	۳۵٫۸	۳۷٫۱۵	۳۷٫۱	۳۶٫۴	۳۶٫۴۷	۳۶٫۴۵	۳۵٫۸	۳۵٫۶	۳۵٫۴	۳۵٫۲	۳۵٫۵
TiO_2	۰٫۹	۰٫۶	۰٫۸	۰٫۴	۰٫۶	۰٫۶	۰٫۶	۱٫۵۵	۱٫۴۴	۰٫۷	۱٫۹	۱٫۴	۱٫۲	۰٫۴	۰٫۴
Al_2O_3	۲۶٫۳	۲۶٫۹	۲۴٫۶	۲۶٫۷	۲۳٫۷	۲۸٫۷۶	۳۰	۲۷٫۷۲	۲۸٫۱۱	۲۹٫۱۹	۲۷٫۳	۲۷٫۳	۲۴	۲۸٫۷	۲۹٫۷
FeO	۱۳٫۱	۱۲٫۴	۱۴٫۴	۱۶٫۴	۱۶٫۸	۹٫۶۴	۹٫۲۸	۱۰٫۰۶	۱۰٫۱۳	۱۰٫۸	۱۲٫۹	۱۳٫۱	۱۵٫۹	۱۳٫۹	۱۲٫۹
MgO	۶٫۷	۷	۶٫۴	۳٫۶	۵٫۸	۷٫۸۳	۷٫۴۹	۸٫۰۹	۸٫۲۸	۷٫۰۱	۶٫۲	۶	۵٫۳	۵٫۶	۵٫۴
CaO	۱٫۶	۱٫۵	۲	۱٫۴	۲	۰٫۷۸	۰٫۸۹	۱٫۶۶	۱٫۵۱	۱٫۱۲	۱٫۳	۱٫۶	۲٫۲	۱٫۲	۱٫۱
MnO	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۲	۰٫۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۳	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱
Na_2O	۲٫۲	۲٫۵	۴٫۱	۲٫۵	۲٫۵	۲٫۴۲	۲٫۶۳	۲٫۲۱	۲٫۰۷	۲٫۴۸	۲٫۲	۲٫۵	۱٫۹	۲٫۳	۲٫۶
K_2O	۰	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۰۲	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۶	۰٫۰۶	۰	۰	۰٫۱	۰	۳٫۶
H_2O*	۳٫۶	۳٫۶	۳٫۵	۳٫۵	۳٫۵	۳٫۶۵	۳٫۶۹	۳٫۶۴	۳٫۶۵	۳٫۶۴	۳٫۶	۳٫۶	۳٫۴	۳٫۶	۳٫۶
B_2O_3*	۱۰٫۱	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰٫۱	۱۰٫۵۷	۱۰٫۰۸	۱۰٫۰۵	۱۰٫۰۹	۱۰٫۰۵	۱۰٫۴	۱۰٫۵	۱۰	۱۰٫۴	۱۰٫۱
مجموع	۱۰۱٫۳	۱۰۱٫۶	۱۰۱٫۵	۱۰۱٫۷	۱۰۱	۱۰۱٫۵	۱۰۱٫۸	۱۰۱٫۶	۱۰۱٫۸	۱۰۱٫۵	۱۰۱٫۷	۱۰۱٫۶	۹۹٫۴	۱۰۱٫۵	۱۰۱٫۴
T:	۶٫۱۶	۶٫۱۵	۶٫۰۷	۶٫۲۳	۶٫۱۸	۶٫۱	۶	۶	۶	۶	۵٫۹	۶	۶	۶	۶
B	۳	۳	۳	۳	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۱	۰	۰	۰	۰
Z:	۵٫۱۹	۵٫۲۷	۵	۵٫۳۳	۴٫۸۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳
Mg	۰٫۸۱	۰٫۷۳	۱٫۰۶	۰٫۶۷	۱٫۱۸	۵٫۵۷	۵٫۷۵	۵٫۳۵	۵٫۴۲	۵٫۶۷	۵٫۳۷	۵٫۳۴	۴٫۹۳	۵٫۶۲	۵٫۷۶
Y: Al	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۴۳	۰٫۲۵	۰٫۶۲	۰٫۵۸	۰٫۳۳	۰٫۶۳	۰٫۶۶	۱٫۰۷	۰٫۳۸	۰٫۲۴
Ti	۰٫۱۱	۰٫۰۷	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰٫۰۸	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۲	۰٫۱۷	۰٫۰۸	۰	۰	۰	۰	۰
Mg	۰٫۸۶	۱	۰٫۵۷	۰٫۲۳	۰٫۳۲	۱٫۵	۱٫۶	۱٫۴	۱٫۴	۱٫۴	۰٫۲۴	۰٫۱۷	۰٫۱۶	۰٫۰۵	۰٫۰۵
Mn	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۹۲	۰٫۸۳	۰٫۳	۱	۱٫۰۹
Fe^{2+}	۱٫۸۴	۱٫۷۳	۲٫۰۴	۲٫۳۲	۲٫۴۳	۱٫۳	۱٫۲۶	۱٫۳۸	۱٫۳۹	۱٫۴۸	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۱
X	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۳۵	۰٫۲۵	۰٫۳۷	۰٫۱۴	۰٫۱۵	۰٫۲۹	۰٫۲۶	۰٫۲	۱٫۸۱	۱٫۸۱	۲٫۳۱	۱٫۹۴	۱٫۷۸
Na	۰٫۷	۰٫۸	۱٫۳۴	۰٫۸۳	۰٫۸۳	۰٫۷۷	۰٫۸۳	۰٫۷	۰٫۶۶	۰٫۷۹	۲٫۹۸	۲٫۸۳	۲٫۷۸	۲٫۹۹	۲٫۹۴
K	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۲	۰٫۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۰۱	۰٫۲۴	۰٫۲۸	۰٫۴۲	۰٫۲۲	۰٫۱۹
X-Vac	۰	۰	۰	۰	۰	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۵	۰	۰٫۰۶	۰	۰٫۷۲	۰٫۸	۰٫۶۴	۰٫۷۵	۰٫۸۲
OH	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۸



شکل ۵ الف) نمودار XVac/Xvac+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۲۴]، ب) نمودار Ca/Ca+Na نسبت به Mg/Mg+Fe [۲۵]، پ) نمودارسه تایی Ca-Na+K-Xvac [۱] و ت) نمودار تعیین خاستگاه Ca-Fe-Mg [۲۶]. اعداد در نمودار سه تایی عبارتند از ۱- گرانیتوییدهای غنی از لیتیم، پگماتیت‌ها وآپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۲- گرانیتوییدهای فقیراز لیتیم، پگماتیت‌ها وآپلیت‌های وابسته به آن‌ها، ۹- سنگ‌های آهکی سیلیکاتی، متاپلیت‌های دگرگونه و متاپسامیت‌های دگرگونه غنی از کلسیم، ۱۰-سنگ‌های کوارتز-تورمالین، ماپسامیت‌های دگرگونه و متاپلیت‌های دگرگونه فقیر از کلسیم، ۱۱- کربنات‌های دگرگونه ۱۲- فرامافیک‌های دگرگون شده.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]



شکل ۶ الف) نمودار$R1+R2$ نسبت به $R1=Ca+Na\ R3$,که $R3=Al+1.33Ti$، $R2=Fe+Mn+Mg$ [۲۷]، ب) نمودارFe نسبت بهMg [۲۶]، پ) نمودار Ca نسبت به Na [۲۸]، ت) نمودار Al نسبت به $Xvac$ [۲۵] و ث) نمودار $Feo/Feo+Mgo$ نسبت به Mgo که قلمرو تورمالین های اندوگرانیتی تا نزدیک به توده گرانیتی (a)، نزدیک به توده گرانیتی تا حدواسط (b) و تورمالین‌های دور از توده گرانیتی c در آن مشخص است [۲۹].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

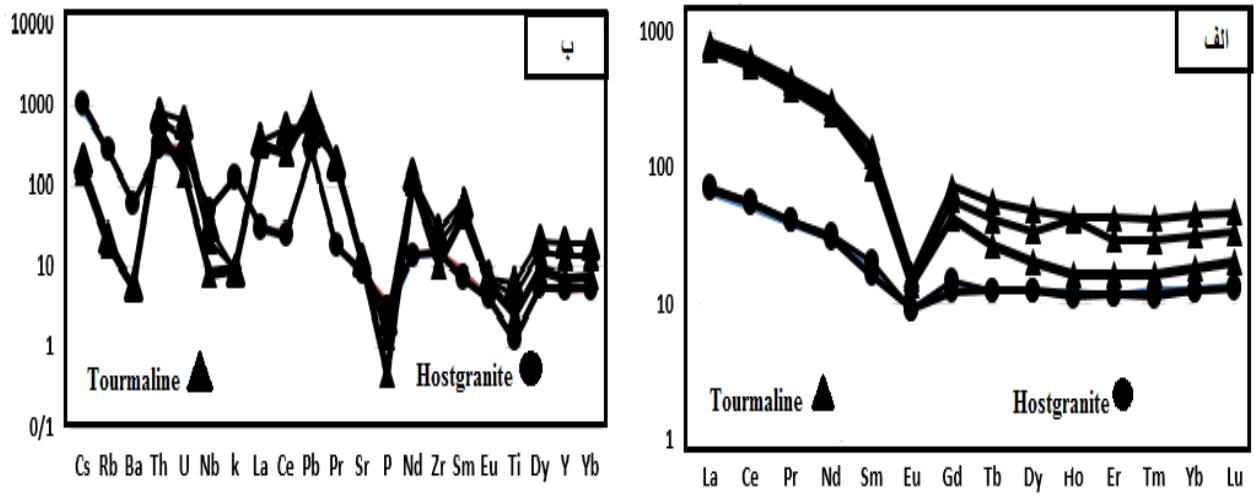
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

در واقع با توجه به جدول ۲، مقدار آلومینیم در جایگاه Y و همچنین مقدار جایگاه خالی X در بیشتر نمونه‌ها صفر است و که فقط در تورمالین‌های رگه‌ای شاهد مقادیری جزئی از آلومینیم در جایگاه Y و همچنین مقداری جایگاه خالی X هستیم و تعدادی از نمونه‌ها که در زیر خط Fe+Mg=3 قرار گرفته‌اند نمایانگر همین تورمالین‌ها هستند، از طرفی لندن و همکارش [۲۶] معتقدند که هرچه ∑Fe+Mg کمتر باشد، جانشینی‌های Al در جایگاه Y بیشتر می‌شود که این می‌تواند بیان کننده وجود مقادیر بسیار جزئی از جانشینی جایگاه خالی X و آلومینیم بجای سدیم و آهن در تورمالین‌های رگه‌ای باشد. برای بررسی غنی‌شدگی تورمالین‌ها از سدیم و کلسیم، از نمودار Ca نسبت به Na [۲۸] استفاده شده است. در این نمودار، بیشتر نمونه‌ها دارای مقادیر کلسیم بیش از ۰/۲ هستند (شکل ۶ پ) که این می‌تواند بیانگر وجود جانشینی‌های Ca Mg Na-1 Al-1 و Ca0.5 O0.5 Na-1 در هر سه نوع تورمالین باشد (شکل ۷ پ). در نمونه‌های رگه‌ای علاوه بر این‌ها می‌توان جانشینی‌های (X- vac Al) (Na-1Mg-1) را که مربوط به نمونه‌های دارای کلسیم کمتر از ۰/۲ هستند نیز معرفی کرد. این نوع جانشینی اشاره به وجود فضای خالی در جایگاه X این تورمالین‌ها دارد. در نمودار Xvac نسبت به Al [۲۵]، تورمالین‌های گرهکی در گستره‌ی شورل – دراویت با تمایل به سمت اوویت قرار گرفته‌اند (شکل ۶ ت). تورمالین‌های رگه‌ای و خورشیدی نیز جانشینی‌های کلسیم‌دار از نوع اوویت را نشان می‌دهند. برای تعیین سیستم ماگمایی تورمالین‌ها از نمودار Feo/Feo+Mgo نسبت به Mgo [۲۹] استفاده شده است (شکل ۶ ث). این نمودار سه سیستم ماگمایی، ماگمایی-گرمابی و گرمابی را برای تشکیل تورمالین معرفی می‌کند. براساس این نمودار، تعدادی از تورمالین‌های گرهکی و خورشیدی و همه تورمالین‌های رگه‌ای با داشتن نسبت‌های Feo/Feo+Mgo بین ۰/۶ تا ۰/۸ در گستره‌ی ماگمایی-گرمابی قرارگرفته‌اند. اما تعداد دیگری از نمونه‌های گرهکی و خورشیدی با داشتن Feo/Feo+Mgo کمتر از ۰/۶ در گستره-ی تورمالین‌های گرمابی قرار گرفته‌اند (شکل ۶ ث).

بررسی فرمول ساختاری تورمالین

عناصر موجود در جایگاه‌های مختلف بلور تورمالین در منطقه مورد نظر بررسی شدند که در این جا تورمالین‌ها را بر اساس مشاهدات صحرایی به سه گروه تورمالین خورشیدی، تورمالین گرهکی و تورمالین‌های ریزدانه موجود در رگه‌های غنی از تورمالین تقسیم کرده‌ایم.

جایگاه X: در تورمالین‌های خورشیدی جایگاه X بوسیله Na (۰/۷۸)، مقدار کمی Ca (۰/۲)، مقادیر بسیار کم K (۰/۰۱) و جایگاه خالی X (۰/۰۹)، در تورمالین‌های رگه‌ای با Na(۰/۸۱)، مقادیر کم Ca (۰/۲۵)، K (۰/۰۱) و جایگاه خالی X (۰/۰۲) و در تورمالین‌های گرهکی، جایگاه X بوسیله Na(۰/۷۸)، مقدار کمی Ca (۰/۲)، مقادیر بسیار کم K (۰/۰۱) و جایگاه خالی X(۰/۰۳) اشغال می‌شود.



شکل ۷ الف) نمودار بهنجار شده عناصر خاکی نادر تورمالین و سنگ میزبان نسبت به کندریت [۳۰] و ب) نمودار بهنجار شده عناصر کمیاب تورمالین وسنگ میزبان نسبت به ترکیب گوشته اولیه [۳۱].

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

جایگاه Y: در تورمالین‌های مورد بررسی، این جایگاه بیشتر شامل Mg، Fe و Al و مقادیر کمی Mn و Ti است. تورمالین-های خورشیدی شامل Mg (۱/۰۲)، Fe (۱/۶۸)، Al(۰/۰۱)، Mn(۰/۰۱) و Ti (۰/۰۹)، تورمالین‌های رگه‌ای دارای Mg (۰/۷۵)، Fe (۲/۰۲)، Al (۰/۲)، Mn (۰/۰۱) و Ti (۰/۱) و تورمالین‌های گرهکی شامل Mg (۱/۲۲)، Fe (۱/۶)، Al(۰)، Mn(۰/۰۰۵) و Ti (۰/۱) هستند.

جایگاهZ: در تورمالین‌های مورد بررسی، این جایگاه بیشتر دربردارنده Mg و Al است. تورمالین‌های خورشیدی شامل Mg (۰/۴۷) و Al (۵/۵۳)، تورمالین‌های رگه‌ای دارای Mg (۰/۵) و Al (۵/۵) و تورمالین‌های گرهکی شامل Mg (۰/۳۷) و Al(۵/۶۳) هستند. در این جایگاه Fe^{3+} نیز می‌تواند وجود داشته که متاسفانه در این پژوهش امکان جداسازی آهن دوظرفیتی و سه ظرفیتی تورمالین وجود نداشت.

جایگاه T: در این جایگاه، عناصرB، Si و Al می توانند حضور داشته باشند از آنجاکه در تجزیه‌های صورت گرفته مقدار بور اندازه‌گیری نشده است، ما مقدار بور را با apfu ۳ محاسبه کردیم و مقدار Si موجود در این جایگاه را ۶ در نظر گرفتیم.

جایگاه‌های Vو W: این جایگاه‌ها به عنوان جایگاه‌های آنیونی نیز شناخته شده و بوسیله F و OH پر می‌شوند. به نظر برخی پژوهشگران [۳۲، ۳۳] جایگاه V بوسیله سه گروه (OH) پر می‌شود. در جایگاه W، علاوه بر مازاد OH موجود در جایگاه V(OH در جایگاه V برابر است با ۳apfu) F نیز می‌تواند وجود داشته باشد. مقدار OH در جایگاه W هر سه نوع تورمالین ۳ و مقدار OH موجود در جایگاه V نیز ۱ در نظر گرفته شد.

به توجه به مطالب بیان شده، فرمول ساختاری تورمالین‌های مورد بررسی براساس۳۱ آنیون به صورت زیر بیان می‌شود:

تورمالین خورشیدی

$X(Na_{0.78}Ca_{0.2}K_{0.01}\square_{0.089})Y(Mg_{1.023}Al_{0.012}Fe^{2+}_{1.68}Mn^{2+}_{0.01}Ti^{4+}_{0.09})Z(Al_{5.53}Mg_{0.47})(BO3)_3T(Si_6)O_{18}V(OH)_3W[(OH)]$

تورمالین رگه ای

$X(Na_{0.81}Ca_{0.25}K_{0.01}\square_{0.02})Y(Mg_{0.75}Al_{0.02}Fe^{2+}_{2.02}Mn^{2+}_{0.01}Ti^{4+}_{0.1})Z(Al_{5.5}Mg_{0.5})(BO3)_3T(Si_6)O_{18}V(OH)_3W[(OH)]$

تورمالین گرهکی

$X(Na_{0.8}Ca_{0.2}K_{0.01}\square_{0.02})Y(Mg_{1.22}Al_{0.00}Fe^{2+}_{1.62}Mn^{2+}_{0.05}Ti^{4+}_{0.1})Z(Al_{5.6}Mg_{0.4})(BO3)_3T(Si_6)O_{18}V(OH)_3W[(OH)]$

بحث

باتولیت گرانیتی لاله‌زار ضمن سیرتکاملی خود به واحدهای مختلف از گرانیت تا گرانودیوریت تقسیم شده است. در این توده، تورمالین‌زایی با گسترش کم دیده می‌شود که تشکیل آن‌ها بطور عمده در واحدگرانیتی رخ داده است. توده گرانیتی لاله‌زار براساس پژوهش نیک‌تبار و همکاران [۳۴] از نوع I و برآمده از ذوب پوسته زیرین بوده و طی تکامل خود با پوسته بالایی آلایش یافته است. رخدادهای کم تورمالین در توده بیانگر اشباع بودن ماگما از بور است، اما ماگما طی تکامل و آلایش بیشتر با مواد پوسته‌ای، قابلیت تبلور و درجه بالاتری از اشباع از آلومینیم را پیدا کرده است. از این رو، سنگ خاستگاه تورمالین که می‌تواند تعیین کننده خاستگاه احتمالی بور در تورمالین نیز باشد، دیده می‌شود که بیشتر در محل سنگ‌های کوارتز-تورمالین، ماپسامیت‌های دگرگونه و متاپلیت‌های دگرگونه قرار می‌گیرند. این خود تایید کننده نقش آلایش پوسته‌ای در تکامل توده گرانیتی است. تورمالین‌های مورد بررسی در سری محلول شورلیت- دارویت قرار می‌گیرند و بیشتر تمایل به داشتن مقدار زیادی منیزیم دارند. این تورمالین‌ها جزو تورمالین‌های قلیایی هستند. وجود کلسیم در ترکیب تورمالین‌های مورد بررسی نشان دهنده وجود ترکیبات اوویت است که این می‌تواند بیانگر جانشینی‌های $Ca + Mg(O) = Na + Mg(OH)$ در آنها باشد. در بررسی جانشینی‌های موجود در هر سه نوع تورمالین مهمترین جانشینی‌ها عبارتند از $Ca = X - vac + Na$ و $Ca + Mg = (X - vac + Al) - 1$ که البته نباید جانشینی منیزیم به جای آهن را که باعث ایجاد تورمالین‌هایی با ترکیب دراویتی می‌شوند را فراموش کرد. مقدار بالای Na در تورمالین-های مورد بررسی بیانگر غنی بودن سیال سازنده تورمالین از سدیم است. تورمالین‌های مورد بررسی دارای FeO/FeO+MgO بین ۰/۶ تا ۰/۸ و کمتر از ۰/۶ هستند، که به عقیده سامسون و همکاران [۳۵] این نشان دهنده باز بودن سیستم ماگمایی و ایجاد سیستم گرمابی و ماگمایی- گرمابی است. این تورمالین‌ها همچنین دارای ترکیب شورلیت غنی از منیزیم تا دراویت و منطقه‌بندی نمایانی در زیر میکروسکوپ است. به اعتقاد کاواتا و همکارش [۳۶] منطقه‌بندی، ترکیب حدواسط شورل – دراویت و بالا بودن منیزیم نسبت به آهن، دلالت بر خاستگاه گرمابی تورمالین‌ها دارد. از طرفی، برخی

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

معتقدند که Feo و Mgo مهم‌ترین ترکیبات کنترل کننده‌ی منطقه‌بندی شیمیایی در تورمالین‌ها هستند [۳]. طهماسبی و همکارش [۳۷] براساس پژوهشی بر تورمالین‌های مشهد و در مورد تشکیل شکل‌های نامنظم در آنها معتقدند که سردشدگی سریع بلورهای تورمالین در مراحل پایانی تبلور ماگما، باعث ایجاد یک سطح ناهمگن با کشش سطحی متفاوت می‌شود. نقاطی که دارای کشش سطحی پایین هستند، بلورهای ریزتر را بیشتر متبلور می‌کنند. در اثر این فرایند، دمای نهان تبلور بالا رفته و بی نظمی‌هایی در بلور تورمالین ایجاد می‌شود که موجب تشکیل تورمالین با شکل‌های خورشیدی یا دارینه‌ای می‌شوند. به بیان دیگر، سیال غنی از مواد فرار هنگام ورود به درون درزه‌ها، با یک محیط سرد مواجه می‌شود و هسته‌های گرد اولیه در سطح درزه‌ها ایجاد می‌شود. اما در ادامه چون نرخ انتشار مواد از نرخ رشد بلور پایین‌تر است، بلور از راستاهایی که راحت‌تر به مواد دسترسی دارد، رشد می‌کند و این رشد خود را در راستای پایدارترین حالت یعنی نزدیک به دایره سوق داده و باعث تشکیل تورمالین‌های خورشیدی می‌شود. الگوی عناصر خاکی نادر (REE) در تورمالین بر اساس کندریت [۳۰] (شکل ۷ الف) همانند الگوی این عناصر در سنگ میزبان اما با غنی شدگی‌های بیشتر از مجموع عناصر خاکی‌نادر است و در کل دارای غنی‌شدگی عناصر نادر سبک (LREE) نسبت به عناصر نادر سنگین (HREE) با نسبت La/Yb بین ۱۸ تا ۴۱ و همچنین دارای ناهنجاری منفی Eu و مقدار Eu/Eu* بین ۰/۲۱۱ تا ۰/۱۶ است که برای همه این کمیت‌ها، بیشترین مقدار مربوط به تورمالین گرهکی و کمترین مقدار مربوط به نوع رگه‌ای است. تورمالین‌ها همچنین دارای مقدار ۱۱۲۰-۹۲۶ =∑REE هستند که بیشترین مقدار در تورمالین رگه‌ای و کمترین مقدار در تورمالین گرهکی دیده می‌شود. مقدار بالای REE در تورمالین شورل –دراویتی نشان از شرایط همبرزایی که عامل غالب در توزیع REE است دارد. در نمونه‌های مورد بررسی، فراوانیREE و توزیع آنها شباهت‌هایی از سنگ میزبان را نشان نمی‌دهد و فرض می‌شود که REE بیشتر برآمده از محلول‌های گرمابی هستند. در بررسی‌های کینگ و همکاران [۳۸] معلوم شد که در نمونه‌های تورمالین موجود در سنگ‌های فرامافیک، فراوانی REE بالا بوده در حالیکه در سنگ‌های سینیتی مقدار REE تورمالین نسبتاً پایین بوده است که این نتایج با ویژگی‌های REE تورمالین‌ها و همچنین با شواهد مستقل برای ته‌نشینی آنها در شرایط نسبت سنگ- سیال بالا همخوانی دارد. برخی در مورد غنی‌شدگی تورمالین‌های مورد بررسی خود از HREE معتقدند که این به دلیل حمل آنها توسط کمپلکس‌های CO_3^{2-} بوده است [۳۹]. برخی معتقدند که غلظت REE,Y,(La/Yb)n و Eu/Eu* به شدت وابسته به خاستگاه تورمالین و سنگ میزبان آن است [۴۰]. بیان شده است که غلظت بالای فلزهای دگرگونه مانند Cr, V, Ti, Sc و Mn خاستگاه گرمابی- ماگمایی را نشان می‌دهند و LREE و Eu ترجیح می‌دهند که در سیال گرمابی جدایش یابند [۴۲،۴۱،۲۴]. جدایی Eu از دیگر عناصر بوسیله گسترش ناهنجاری آن در الگوی REE بهنجار شده به کندریت بیان می‌شود. این نیاز به یک تغییر در حالت ظرفیتی Eu و همچنین تغییر در حالت اکسایش- کاهش سیال گرمابی دارد [۴۳]. حالت اکسایش- کاهش تابعی از عوامل متعددی مانند دما، فشار، گریزندگی اکسیژن، pH و ترکیب شیمیایی سیال است [۴۵،۴۴]. بنابراین به نظر می‌رسد که عامل غالب در کنترل دما توزیع REE باشد [۴۷،۴۶]. [۴۶] بیان شده است که Eu دوظرفیتی در دمای بیش از ۲۵۰ درجه سانتیگراد غالب است و فرض شد که Eu در محلول آبدار در شرایط گرمابی و دگرگونی، باید دوظرفیتی باشد [۴۶]. پس Eu به شرطی که دما به اندازه کافی بالا باشد حتی در یک شرایط کاهشی ضعیف می‌تواند در حالت اکسایش دوظرفیتی ناهنجاری گسترده‌ای ایجاد کند. Eu اغلب به صورت Eu^{2+} رخ می‌دهد و هنگام ورود آب گرمابی طی واکنش سنگ- سیال، بخاطر کاهش Eu^{3+} به Eu^{2+}، شعاع یونی Eu افزایش می‌یابد و کانی‌های سطحی جذب نسبتاً قوی Eu^{2+} را نسبت به REEهای مجاور آن دارند و سپس ناهنجاری منفی Eu ایجاد می‌شود. میکائیل و همکاران [۴۸] نیز برپایه بررسی‌های خود بیان کردند که الگوی REE تورمالین‌های گرمابی یک شکل مقعر با غنی‌شدگی از HREE دارد. روند کلی الگوی عناصر کمیاب تورمالین‌های بهنجار شده با گوشته اولیه [۳۱] (شکل ۷ ب) نیز کاملاً مشابه سنگ میزبان و نشان دهنده‌ی غنی‌شدگی عناصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) نسبت به عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) است. تورمالین‌ها دارای مقادیر بالایی از عناصر کمیاب V(۲۳۰-۱۳۸)، Cu(۲۲۰-۱۲۰)، As (۱۰۳-۳۷) که بیشترین مقدار آنها در تورمالین گرهکی و کمترین آنها مربوط به تورمالین رگه‌ای است و همچنین Co (۶۸-۴۸)، Cr (۱۰۶۰-۵۶۰)، Ni

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

(۴۰-۸۰)، Zn (۹۰)، Sr (۲۳۵-۲۵۶)، Zr (۱۲۱-۳۲۵) که بیشترین مقدار آنها در تورمالین رگه‌ای و کمترین آنها مربوط به تورمالین گرهکی است، هستند. در کل بالا بودن این مقادیر در تورمالین بیانگر پیچیدگی‌های جانشینی‌های موجود در تورمالین و به ویژه در جایگاه Y تورمالین است (جدول ۲).

برداشت

توده گرانیتی لاله‌زار شامل تورمالین‌های گرهکی، خورشیدی و رگه‌ای است. رخداد تورمالین در توده گرانیتی لاله‌زار با توجه به ماهیت I آن می‌تواند در اثر آلایش با مواد پوسته‌ای و افزایش درجه اشباع از آلومینیم آن باشد. از این رو، سنگ خاستگاه تورمالین بیشتر در محل سنگ‌های کوارتز-تورمالین، پسامیت‌های دگرگونه و متاپلیت‌های دگرگونه قرار می‌گیرند. تورمالین‌های مورد بررسی به طور کلی در گستره سری شورل-دراویت با تمایل به سمت ترکیبات غنی از منیزیم (شورلیت غنی از منیزیم و دراویت) و تورمالین‌های قلیایی قرار دارند. وجود کلسیم و منیزیم در ترکیب تورمالین‌های مورد بررسی بیانگر جانشینی‌های Ca=X- ،Ca+Mg(O)=Na+Mg(OH) vac+Na ،Ca+Mg=(X-vac+Al)-1 و جانشینی منیزیم به جای آهن است. وجود منطقه‌بندی‌های آشکار در تورمالین‌های گرهکی و منطقه‌بندی ضعیف در تورمالین خورشیدی و رگه‌ای می‌تواند شاهدی بر این ادعا باشد که رشد تورمالین‌ها در سیستم‌های باز صورت گرفته و مشخص کننده‌ی یک خاستگاه ماگمایی-گرمابی تا گرمابی برای تورمالین‌هاست که مقادیر FeO/FeO+MgO کمتر از ۰/۶ در هر سه تورمالین نیز خاستگاه گرمابی و گرمابی- ماگمایی را برای این تورمالین‌ها تایید می‌کنند. از طرفی، مقدار بالای عناصر REE آنها و غنی-شدگی از LREE و HREE و عدم تشابه الگوی این عناصر با الگوی عناصرREE سنگ میزبان و ناهنجاری منفی Eu و غنی شدگی از عناصر دگرگونی مانند Cr، V،Ni، Cu، Zn، Zr نیز می‌تواند بیان کننده خاستگاه گرمابی برای تورمالین‌ها باشد.

مراجع

[1] Hawthorne F.c., Henry D.J., *"Classification of the minerals of the tourmaline group*", European Journal of Mineralogy, 11 (1999), 201-215.

[2] Foit F.F., Rosenberg P.E., *"Coupled substitutions in the tourmaline group ",* Contributions to Mineralogy and Petrology 62 (1977) 109-117.

[3] Abu El-Enen, M. M. and Okruch, M., *"The texture and composition of tourmaline in metasediments of the Egypt, Implication for the tectono-metamorphic evolution of the Pan-African basement*", Mineralogy Magazine 71(1) (2007)17-40.

[4] Buria´nek D., Nova´k M., *"Morphological and compositional evolution of tourmaline from nodular granite at Lavic ;ky near Velke´ Mezir;?´c;?´, Moldanubicum, Czech Republic ",* Journal of the Czech Geological Society 49 (2004) 81–90.

[5] Zal F., *"Geochemistry and source determination of tourmaline in Mashhad granites (g2)",* M. SC thesis, Faculty of Science, Lorestan University, (2014) 110 p.

[6] Tahmasbi Z., Ahmadi Khalaji A., Rajaeieh M., "*Tourmalinization in the Astaneh granitoids (south west Arak)*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 17 (3)(2009) 369-380.

[7] Mansouri Esfahani M., Khalili M., *"Mineralogy and mineral – chemistry of tourmaline and garnet from Molataleb village granitoid (North of Aligudarz) NW of Isfahan",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22 (1)(2014) 139-148.

[8] Sepahi A.A., Salami S., Tabrizi M., "*Geochemistry of tourmalines in aplitic and pegmatitic dikes from Alvand plutonic and metamorphic rocks of the Hamedan area*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 22 (3)(2014) 495-506.

[9] Ahmadi Khalaji A., Tahmasbi Z., Zal F., Shabani Z., *"The behavior of major and trace elements of the tourmaline from the Mangavai and Ganjnameh pegmatitic rocks (Hamadan area)" ,* Petrology 7(27) (2016) 1-24.

[10] Ahmadi bonakdar A., Ahmadi A., *"Tourmaline composition of Chah rouii pegmatites, southwest of Nehbandan",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 21 (3)(2013) 495-560.

[11] Mirsepahvanad F., Tahmasbi T., Shahrokhi1 S. V., Ahmadi khalaji A., Khalili M., "*Geochemistry and source determination of tourmalines in Boroujerd area*", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2)(2012) 281-292.

[12] Esmaeili D., Valizadeh M.V., Kananian A., *"The mineral chemistry of tourmaline in the quartz-tourmaline veins of Shah-Kuh granite (Eastern Iran)",* Journal of science (University of Tehran) 5(2) (2005) 155-175.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

[13] Gholami A.A., Mohammadi S.S., Zarrinkoub M. H., *"Petrography, mineral chemistry of tourmaline, geochemistry and tectonic setting of Tertiary igneous rocks in Shurab area(west of Khusf), Southern Khorasan",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 24 (1)(2016) 189-204.
[14] Khalili Kh., Mackizadeh M.A. *"The occurrence of tourmaline in Kuh Zar (Baghoo) Au-Cu mine, south of Semnan province*", Petrology 3(9) (2012) 57-70.
[15] Berberian M., King G. C., *"Towards a paleogeography and tectonic evolution",* of Iran Canadian Journal of Earth Science 18 (1981) 210-265.
[16] Ghorbani M., *" Magmatism - Metamorphism of Iran",* Aryan Zamin, Tehran, (2014) 479p.
[17] Alavi M., *"Tectonic Of the Zagros organic belt of Iran. New Data and interpretations",* Tectonophysics, 229(1994) 211-238.
[18] Shahabpour J., *"Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz"*, Journal of Asian Earth Sciences 24 (4) (2005) 405-417.
[19] Dimitrijevic Md., *"Geology of Kerman regionG.S. A.*"Rep. Yu/52 (1973) 334.
[20] Pourmirza Langroudi S., "*The Study of petrography, geochemistry and petrology of igneous rocks in the Laleh Zar -Baft Area*", M. SC thesis, Faculty of Science, Kharazmi University, (2000) 170 p.
[21] Mahmoudi Sh., Masoudi F., "*Estimation of the degree of metamorphism and P-T path of calk silicate rocks (Skarn) in the metamorphic halo of the Lalehzar intrusion in the northeast of Baft (Kerman)*, 9th Symposium of Geological Society of Iran, Kharazmi University, Tehran.
[22] Sadeghi Z., Mehdizadeh H., Sadeghian M., "*Petrology of Shah Kouh granitoid mass, (Northeast Baft)*", 9th Symposium of Geological Society of Iran, Kharazmi University, Tehran.
[23] Dimitrijevic M.D., "*Th geological map, 1: 100000 scale, Baft quadrangle*", the Geological Survey of Iran 11831 (1973).
[24] Slack J.F., Palmer M.R., Stevens B.P.J., Barnes R.G., *"Origin and significance of tourmaline-rich rocks in the Broken Hill district",* Australia. Econ. Geol. 88 (1993) 505– 541.
[25] Collins A., *"Mineralogy and geochemistry of Tourmalinein contrasting Hydrothermal system"*, Copiapo area, Northern Chile.
[26] London D., Manning D., *"Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England*", Economic Geology, 90 (1995), 495-519.
[27] Manning D.A.C., *"Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of peninsular Thailand",* Mineralogical Magazine 45 139- 147.
[28] Pesquera A., Velasco F., *"Mineralogy geochemistry and geological significance of tourmaline-rich rocks from the Paleozoic Cinco Villas massif"*, (western Pyrenees, Spain) Contributions to Mineralogy and Petrology 129 (1997) 53-74.
[29] Pirajno F., Smithies R. H., *"The FeO/ (FeO + MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite – related hydrothermal mineral deposits*", Journal of Geochemical Exploration, 42 (1992) 371-381.
[30] Boyonton Boynton W.V., *"Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. (Ed), Rare Earth Element Geochemistry"*, Elsevier, Amsterdam, (1984) pp. 63–114.
[31] Sun S., McDonough W. F., *"Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implication for Mantel composition and processes. In: Saunders A. D., and Norry M. J., (eds) :Magmatism in ocea basins*", Geological Society: London - Special Publications 42 (1989) 313-345.
[32] Ertl A, Hughe s JM., *"The crystal structure of an aluminium-rich schorl overgrown by boron-rich olenite from Koralpe*", Styria, Austria. Mineral Petrol (2002).
[33] Hughe s JM, Ertl A, Dyar MD, Grew ES, Wieden-Beck M, Brandstätter F., *"Structural and chemical response to varying [4]B content in zoned Fe-bearing olenite from Koralpe*", Austria. Amer Miner 89: 447–454.
[34] Niktabar S. M., Moradian A., Ahmadipour H., *"The study of mineralogy and geochemistry of Lalezar Granitoid (Bardsir-Kerman)"*, Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (4)(2016) 803-818.
[35] Samson I.M., Sinclair W.D., *"Magmatic hydrothermal Buids and the origin of quartztourmaline orbicules in the Seagull Batholith Yukon Territory",* Canadian Mineralogist 30 (1992) 937–954.
[36] Cavarretta G., Puxeddu M., *"Schorl-Dravite-Ferridravite Tourmalines Deposited by Hydrothermal Magmatic Fluids during Early Evolution of the Larderclio Geothermal Field Italy*", Economic Geology 85: 1236-1251.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]

[37] Tahmasbi Z., Zal F., Ahmadi Khalaji A., *"Morphology of Tourmaline in the Mashhad granites (g2) with using fractal analysis and Diffusion-Limited Aggregation",* Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 23 (3)(2015) 417-428.

[38] King RW., Kerrich RW., Daddar R., *"REE distributions in tourmaline: an INAA technique involving pretreatment by B volatilization*", Amer Miner 73: 424–431(1988) pages 424-431

[39] Kerrich R., Fryer B. J., *"Archean precious metal hydrotherrnal systemsD, ome mine, Abitibi greenstonbee lt II REE and oxygeni sotope.,* relationsC anadianJ ournalo f Earth Sciences1, 6, 440-458.

[40] Renata Čopjaková, Radek Škoda, Michaela Vašinová Galiová, Milan Novák., *"Distributions of Y + REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt evolution; examples from NYF pegmatites of the Třebíč Pluton, Moldanubian Zone, Czech Republic*", Journal of Geosciences, 58 (2013), 113–131

[41] Plimer I.R., Lu J., Kleeman J.D., *"Trace and rare earth elements in cassiterite—sources of components for the tin deposits of the Mole Granite",* Australia. Miner. Depos. 26, (1991).

[42] Slack J. F., *"Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits*", Reviews in Mineralogy, 33(1996) 559-643.

[43] Jiang S-Y, Yu J-Mm Lu J-J *"Trace and rare-earth element geochemistry in tourmaline and cassiterite from the Yunlong tin deposit, Yunnan, China: implication for migmatitic–hydrothermal fluid evolution and ore genesis*", Chem Geol 209(2004) 193– 213

[44] Wood SA., *"The aqueous geochemistry of the rare-earth elements and yttrium. 1. Review of available low-temperature data for inorganic complexes and the inorganic REE speciation of natural waters*", Chem Geol 82 (1990) 159–186

[45] Slack J.F., Meier A.L., Malcolm M.J., Fey D.L., Doughten M.W., Wanless G.A., *"Trace element and rare-earth element geochemistry of bedded and massive sulfides from the Sullivan Pb–Zn–Ag deposit, British Columbia—a reconnaissance study. In:Lydon, J.W., Hoy, T., Slack, J.F., Knapp, M.E. (Eds.), The Geological Environment of the Sullivan Pb–Zn –Ag Deposit, British Columbia. Spec. Publ.-Geol. Assoc*", Can. Miner.Depos. Div., vol. 1, (2000) pp. 720– 735.

[46] Sverjensky D.A., *"Europium redox equilibria in aqueous solution. Earth Planet*. Sci. Lett. 67 (1984) 70–78.

[47] Bau M., *"Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid – rock interaction and the significance of the oxidation state of europium*", Chem. Geol. 93 (1991) 219–230.

[48] Michael A. W., Horst R. M., Philipp S., Anna G., Thomas W., Dorrit E. J., Matthias B., Gregor M., *"Trace element systematics of tourmaline in pegmatitic and hydrothermal systems from the Variscan Schwarzwald (Germany): The importance of major element composition, sector zoning, and fluid or melt composition*" Chemical Geology 344 (2013) 73-90.

[Downloaded from ijcm.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/ijcm.26.4.975]