

کانی‌شناسی و شیمی کانی تورمالین در لوکोगرانیت شاولی (شمال ازنا، استان لرستان)

اسماعیل درویشی^{۱*}، سیدوحید شاهرخی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، واحد الیگودرز، دانشگاه آزاد اسلامی، الیگودرز، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

*Corresponding Author, Email: Esmail.Darvishi@iau.ac.ir

چکیده

تورمالین به‌عنوان یک کانی فرعی در لوکोगرانیت‌های شاولی واقع در شمال ازنا حضور دارد که این توده‌ها بخشی از پهنه زمین‌ساختی سنندج-سیرجان را تشکیل می‌دهند. از نظر خاستگاه، سه نوع تورمالین شامل تورمالین‌های اولیه، ثانویه و حدواسط در این توده‌ها قابل تشخیص است. تورمالین‌های اولیه که نشان‌دهنده غنی بودن خاستگاه ماگما از عنصر بور (B) هستند، عمدتاً در زمینه لوکोगرانیت‌ها مشاهده می‌شوند. نوع دوم تورمالین‌ها در مراحل پس از تبلور ماگما و طی فرایندهای هیدروترمال، تحت تأثیر نفوذ محلول‌های غنی از بور تشکیل شده‌اند. افزون بر این، نوع سوم از تورمالین‌ها نیز وجود دارد که از نظر ویژگی‌ها حدواسط بین تورمالین‌های ماگمایی و هیدروترمال به شمار می‌روند. تورمالین‌ها اغلب بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده، دارای اندازه متوسط تا درشت هستند و ترکیب آن‌ها در گستره شورلیت-دراویت قرار می‌گیرد؛ از این‌رو در گروه تورمالین‌های قلیایی طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس ترکیب شیمیایی، تورمالین‌ها (شورلیت و دراویت) به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند: تورمالین‌های ماگمایی با نسبت بالای $Fe/(Fe+Mg)$ و مقدار بالای Al، و تورمالین‌های هیدروترمال با $Fe\#$ پایین‌تر. بررسی شیمی کانی‌های گارنت و تورمالین نشان‌دهنده S-type بودن ماگمای لوکोगرانیت‌های منطقه شاولی است.

کلیدواژه‌ها: تورمالین، لوکोगرانیت، کانی‌شناسی، شاولی، ازنا.

Mineralogy and Mineralchemistry of Tourmaline in Shavali leucogranite (North Azna, Lorestan Province)

Esmail Darvishi¹; Seyed Vahid Shahrokhi²

¹ Department of Geology, Aligudarz Branch, Islamic Azad University, Aligudarz, Iran

² Department of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

*Corresponding Author, Email: Esmail.Darvishi@iau.ac.ir

Abstract

Tourmaline occurs as an accessory mineral in the Shavali leucogranites located north of Azna, within the Sanandaj-Sirjan tectonic zone. Based on textural relationships and paragenesis, three generations of tourmaline are distinguished: primary, secondary, and transitional types. Primary (magmatic) tourmalines, which reflect a boron-rich magma source, are predominantly distributed within the leucogranitic matrix. Secondary tourmalines formed during post-magmatic stages through hydrothermal processes, associated with the infiltration of B-rich fluids. In addition, a third group of tourmalines exhibits intermediate characteristics between magmatic and hydrothermal origins. The tourmalines are mostly anhedral to subhedral, medium- to coarse-grained, and chemically range from schorl to dravite, belonging to the alkali tourmaline group. Geochemically, the tourmalines (schorl-dravite) can be classified into two distinct groups: magmatic tourmalines characterized by high $Fe/(Fe+Mg)$ ratios and elevated Al contents, and hydrothermal tourmalines with relatively low $Fe\#$. The chemical compositions of tourmaline and associated garnet minerals indicate an S-type affinity for the parental magma of the Shavali leucogranites.

Keywords: Tourmaline, Leucogranite, Mineralogy, Shavali, Azna.

۱- مقدمه

لوپکوگرانیت‌های پرآلومین شاخص پهنه‌های کوهزایی بوده و حاوی تورمالین می‌باشند (Clemens and Wall, 1981; Guo et al., 2017). تورمالین کانی رایج و فرعی انواع سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی است و به عنوان یک کانی ماگمایی اولیه و گاهی گرمابی در سنگ‌های گرانیتی و پگماتیستی متبلور می‌شود (Slack et al, 1996). این کانی به دلیل پایداری در گستره وسیعی از تغییرات دما، فشار و ترکیب شیمیایی پیچیده و متنوع، در بررسی‌های سنگ‌شناسی از اهمیت خاصی برخوردار است (London and Maning, 1995; Speer, 2016; Baxter et al, 2017). کانی تورمالین دارای ساختار کانایی پیچیده و ترکیب شیمیایی متنوع بوده و همین امر باعث شده تا در طیف گسترده‌ای از تغییرات نظیر فشار، دما مقاوم باشد. همین تنوع ترکیبی باعث گردیده که کانی تورمالین در پی جویی کانسارهای نظیر قلع و تنگستن و در بررسی‌های سنگ‌شناسی و متالورژیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (London and Maning, 1995). هدف از این مقاله استفاده از ویژگی‌های کانی‌شناسی و شیمی در لوکوگرانیت شاولی به منظور تعیین نوع و شرایط تشکیل این کانی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

پس از انجام مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و میکروسکوپی از کلیه رخنمون‌های سنگ‌های منطقه و برداشت بیش از ۲۰۰ نمونه، تعداد یکصد و بیست مقاطع نازک تهیه و مطالعات دقیق کانی‌شناسی و روابط بافتی به کمک میکروسکوپ پلاریزان (Olympus) انجام شده و سپس ۱۰ نقطه از ۵ مقطع جهت انجام تجزیه الکترونی انتخاب گردید. تعیین ترکیب و مقادیر اکسیدهای کانی تورمالین با استفاده از دستگاه تجزیه الکترونی (الکترون مایکروپروب) مدل Cameca Sx-50 با ولتاژ شتاب دهنده 20 KeV (کیلو الکترون ولت) و شدت جریان 20 nA (نانو آمپر) در دانشگاه دولتی مسکو کشور روسیه به روش آنالیز نقطه‌ای صورت گرفت (جدول ۱). محاسبه فرمول ساختاری بر پایه ۳۱ آنیون (O, OH) و آهن کل دوزلفیتی انجام شد. سرانجام جهت محاسبه فرمول ساختاری تورمالین و ترسیم نمودارها از نرم افزارهای Minpet, Mineral structural formulae, excel استفاده گردید.

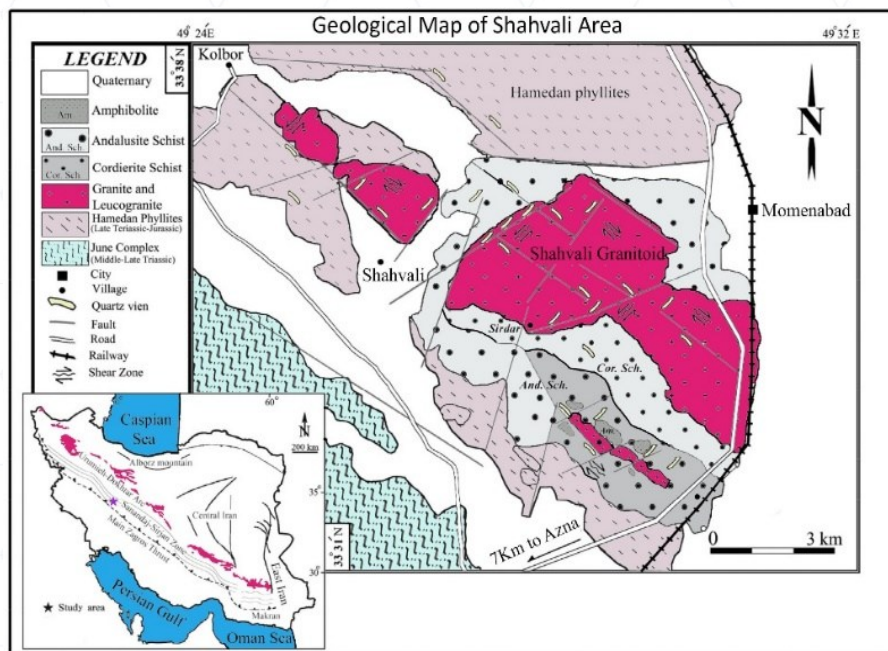
۳- بحث

۳-۱-زمین‌شناسی

ناحیه شاولی در محدوده‌ی بین عرض جغرافیایی ۳۱° ۳۳' تا ۳۳° ۳۸' شمالی و طول جغرافیایی ۴۹° ۲۴' تا ۴۹° ۳۲' شرقی، در ۷ کیلومتری شمال ازنا، استان لرستان در جنوب محدوده نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شازند (سهندی و همکاران، ۱۳۸۵) و در نوار دگرگونی سسندج-سیرجان واقع شده است (شکل ۱). پهنه زمین ساختی سسندج-سیرجان به صورت یک نوار کشیده با ۱۵۰۰ کیلومتر طول و ۲۰۰ کیلومتر عرض با روند شمال غرب-جنوب شرق، شامل مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی-ماگمایی است (Sheikholeslami et al., 2008). توده‌ی لوکوگرانیتی شمال ازنا تقریباً به موازات برگوارگی سنگ میزبان (آندالوزیت - میکاشیست) نفوذ کرده که این ویژگی می‌تواند یکی از دلایل سین-تکتونیک بودن توده‌ی گرانیتوئیدی باشد. تورمالین، فراوان‌ترین کانی فرعی در این لوکوگرانیت‌ها است که در نمونه دستی به صورت درشت بلورهایی به رنگ سیاه دیده می‌شود. همچنین پیرامون هاله مجاورتی توده اصلی مرزبان (آندالوزیت و کردیریت شیست) گستره‌ای از لوکوگرانیت‌های تورمالین‌دار، آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها، میگماتیت‌ها و میلونیت‌ها رخنمون دارند. مرزبندی بین دو دگرگونی با توجه به شواهد بافتی و تغییرات کانی‌شناسی صورت گرفته است. دگرگونی ناحیه ای شامل اسلیت‌ها و فیلیت‌ها می‌باشد که تغییرات بافتی محسوسی را نشان نمی‌دهند.

جدول ۱: نتایج آنالیز مایکروپروب کانی تورمالین موجود در سنگ‌های گرانیتی منطقه شاولی

Sample	M-40	M-40	M-40	M-40	M-40	M-40	S-20	S-20	S-20	S-20
Mineral	Tur	Tur	Tur	Tur	Tru	Tur	Tur	Tur	Tur	Tur
SiO ₂	35.83	36.28	36.11	35.92	36.12	36.28	35.95	36.15	35.2	35.17
TiO ₂	0.94	0.69	0.92	0.85	1.02	0.99	1.10	0.97	1	0.99
Al ₂ O ₃	34.91	35.31	35.5	35.1	34.62	35.22	34.86	35.42	35.1	35.35
FeO _t	8.77	7.59	7.89	8.9	10.09	10.56	9.98	10.76	11	10.98
MnO	-	-	-	-	-	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
MgO	4.67	5.04	4.88	4.55	3.95	3.20	3.17	3.1	2.9	2.05
CaO	0.27	0.19	0.17	0.22	0.29	0.15	0.18	0.12	0.15	0.14
Na ₂ O	2	2.01	1.92	2	1.95	1.99	1.92	2	1.9	1.95
K ₂ O	0.06	0.04	0.05	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Total	87.47	87.15	87.44	87.59	88.07	88.45	88.12	88.58	87.31	87.09
O	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
Si	5.76	5.81	5.77	5.79	5.819	5.82	5.83	5.83	5.75	5.79
Ti	0.11	0.08	0.11	0.09	0.124	0.119	0.134	0.118	0.123	0.121
Al	6.62	6.68	6.69	6.67	6.57	6.659	6.66	6.68	6.76	6.72
Fe ⁽²⁺⁾	1.13	1.1	1.10	1.14	1.36	1.42	1.35	1.43	1.50	1.48
Mn	-	-	-	-	-	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
Mg	1.11	1.20	1.17	1.08	0.94	0.76	0.76	0.75	0.706	0.72
Ca	0.05	0.03	0.03	0.04	0.050	0.026	0.031	0.025	0.026	0.026
Na	0.63	0.63	0.6	0.62	0.61	0.619	0.603	0.6	0.6	0.6
K	0.12	0.008	0.01	0.11	0.008	0.010	0.010	0.01	0.010	0.01
Xsite	0.712	0.629	0.611	0.705	0.625	0.598	0.585	0.581	0.550	0.56
Xvac	0.2	0.332	0.36	0.25	0.332	0.345	0.356	0.348	0.361	0.355
Mg/Mg+Fe	0.49	0.51	0.5	0.48	0.41	0.35	0.36	0.34	0.34	0.34
Fe/Fe+Mg	0.50	0.48	0.49	0.525	0.53	0.65	0.64	0.66	0.7	0.68



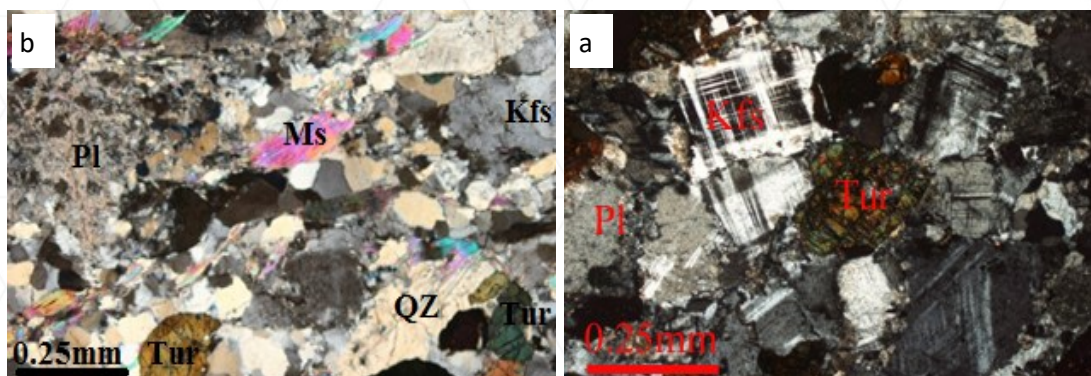
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ناحیه شاولی برگرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شازند (سهندی و همکاران، ۱۳۸۵) همراه با اندکی

تغییر.

۳-۲- کانی‌شناسی

از نظر ترکیب کانی‌شناسی، کانی‌های اصلی لوکوگرانیت‌ها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار پتاسیم بیوتیت و کانی‌های فرعی شامل تورمالین، موسکویت و گارنت است. براساس مطالعات پتروگرافی بافت اصلی این سنگ‌ها گرانولار است که دانه‌ها از هم بعد دانه تا سری‌ایت تغییر می‌کند و مرز بین دانه‌ها پلی‌گونال تا اینترلوبیت می‌باشد. کوارتزها در اندازه‌های مختلف قابل رؤیت و اکثراً دارای خاموشی موجی وصله‌ای و صفحه شطرنجی می‌باشند. پلاژیوکلازها به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و دارای ماکل آلبیت و آلبیت پریکلین هستند. همچنین، این کانی به صورت درشت بلورهای پورفایر و کلاست تا ریزدانه‌های بازتبلور یافته دیده می‌شود. فلدسپار پتاسیم به صورت نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در اندازه‌های بزرگ تا ریز بلور و برخی مواقع به صورت میکروکلین پرتیتی دیده می‌شود. تورمالین‌ها در ابعاد درشت تا متوسط، در مقطع طولی بدون شکل ولی در مقطع عرضی شکل‌دار و نیمه شکل‌دار دیده می‌شوند. این کانی چند رنگی معکوس سبز-آبی تا کرم و اینترفرانس درجه بالا دارد (شکل ۶). بر پایه مطالعات پتروگرافی متنوع‌ترین کانی فرومینیزین موجود در لوکوگرانیت‌های شاولی تورمالین است که به اشکال مختلف نودول، پراکنده، سوزنی، تجمعی و برشی مشاهده می‌گردد.

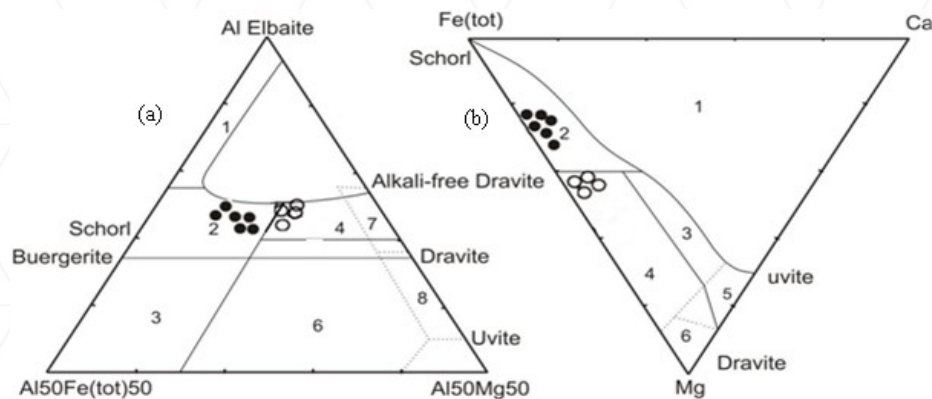
این کانی در نور طبیعی دارای پلئوکروئیسم سبز متمایل به سیاه (سبز لجنی) تا قهوه‌ای بوده و به‌صورت رگه‌ای و یا همراه با کانی‌های حاصل از دگرسانی دیده نمی‌شود. سه نوع تورمالین به‌صورت اولیه، ثانویه و حدواسط در سنگ‌های مورد تحقیق شناسایی شد. تورمالین‌های اولیه (ماگمایی) که نشانه بارز غنی بودن خاستگاه آنها از B است (London and Maning, 1995) و اکثراً در متن توده‌های لوکوگرانیت‌های منطقه مشاهده می‌شوند، نوع دوم تورمالین‌هایی که در مراحل بعد از تبلور ماگما و در مراحل هیدروترمال و تحت تأثیر نفوذ محلول‌های سرشار از بور به‌وجود آمده است. این نوع از تورمالین‌ها به ویژه در حاشیه توده نفوذی بیشتر از مرکز توده است (شکل ۲-ا). در مقاطع میکروسکوپی نیز به صورت رگه‌های نازک و پراکنده و گاه به‌صورت جانشینی در درون کانی‌های پلاژیوکلاز و به‌ویژه فلدسپار پتاسیم دیده می‌شود. همچنین نوع سومی از تورمالین‌ها نیز وجود دارد که در واقع حدواسط ماگمایی و هیدروترمال است (شکل ۲-ب). تورمالین‌هایی که در مطالعات صحرایی و میکروسکوپی حالتی جهت دارد از خود به نمایش می‌گذارد به احتمال بسیار زیاد بعد از تبلور و انجماد ماگما در اثر تحمل استرس حاصل از نیروهای تکتونیکی جهت‌دار فابریک‌های میلونیتی مانند بافت دومینو در آنها ایجاد شده است. همچنین، شکل‌دار بودن برخی از آنها بیانگر تشکیل در مراحل اولیه و احتمالاً قبل از تبلور کوارتز است که دلالت بر نوع ماگمایی آنها دارد (Pesquera et al., 2013).



شکل ۲-ا: تورمالین‌های تجمعی همراه با میکروکلین ماگمایی با ماکل مشبک در لوکوگرانیت‌های شاولی (تصویر XPL). b: تورمالین بصورت پراکنده همراه با موسکویت در لوکوگرانیت‌ها (تصویر XPL).

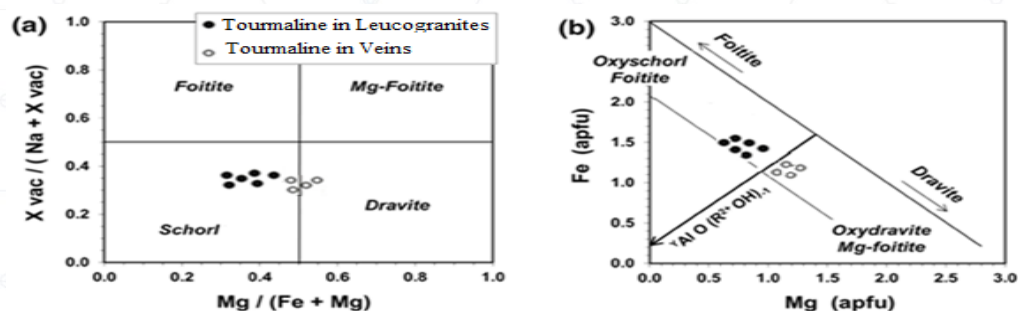
۳-۳- شیمی کانی

فرمول پایه تورمالین به صورت $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ است (London and Maning, 1995) و در ساختار آن حداقل ۱۲ عنصر فرعی و کمیاب جانشین می‌شوند. بر اساس نمودار $Mg/(Mg+Fe)$ در مقابل $X-vac/(X-vac+Na)$ و Fe در مقابل Mg تورمالین‌های منطقه مورد تحقیق به طور عمده‌ای از نوع شورل می‌باشد (شکل ۳). تورمالین‌های مورد مطالعه براساس نمودار $Xvac/(Na + Xvac)$ در مقابل $Mg/(Fe + Mg)$ در محدوده شورلیت تا دراویت قرار دارند که حاکی از زیاد بودن مقدار آهن در مقایسه با منیزیم در ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه است (شکل ۳). در این نمودار سنگ منشأ تورمالین‌ها در قلمرو متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های هم‌زیست با یک فاز اشباع از آلومینیم قرار می‌گیرند (شکل ۳). مقدار Ti در تورمالین‌های شاولی بین ۰/۰۸ تا ۰/۱۴ و مقدار $Mg^\#$ بین ۰/۳۵ تا ۰/۵۱ می‌باشد و میزان تغییرات این ارقام نیز جزئی است (جدول ۱). مقادیر پایین این عناصر نشانگر عدم زونینگ و ترکیب تقریباً هموزن و ماگمایی بودن تورمالین‌های مورد بحث است (London, 2011). همچنین با توجه به مقدار کم تیتانیوم ($Ti = 0.01-0.15$) و نیز $Mg^\# (0.19-0.50)$ که توسط Ribeiro da Costa et al (۲۰۱۴) برای تورمالین‌های گرانیتهای دو میکابی نوع S گزارش شده است، می‌تواند به خوبی دلالت بر S تایپ بودن ماگمای گرانیته شاولی داشته باشد.



شکل ۳- (a) قرارگیری تورمالین‌های منطقه شاولی در محدوده شورلیت تا دراویت در نمودار $Xvac/(Na + Xvac)$ در مقابل $Mg/(Fe + Mg)$ و (b) در نمودار Fe در مقابل Mg .

ترسیم تورمالین‌های منطقه مورد تحقیق در گستره ۴ نمودارهای سه‌تایی $Ca-Fe-Mg$ و $Al-Fe-Mg$ (شکل ۴) (Henry and Guidotti, 1985)، بیانگر آنست که بر (B) مورد نیاز تورمالین‌های مورد مطالعه احتمالاً از متاپلیت و پسامیت‌های منطقه شاولی (فیلیت‌های همدان؟) تامین شده است.



شکل ۴- موقعیت تورمالین‌های منطقه شاولی بر روی نمودارهای سه‌تایی (a) $Al-Fe-Mg$ و (b) $Ca-Fe-Mg$ (Henry and Guidotti, 1985)؛ (۲-) گرانیتهای فقیر از لیتیم، پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به آنها، ۴- متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های هم‌زیست با یک فاز اشباع از آلومینیم.

۴- نتیجه‌گیری

بررسی شیمی کانی‌های سنگ‌های گرانیتی شاولی نشان می‌دهد که تورمالین‌های منطقه در محدوده شورلیت تا دراویت قرار دارند که حاکی از زیاد بودن مقدار آهن در مقایسه با منیزیم در ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه است و با توجه به مقدار $\#Fe$ تورمالین‌های منطقه ($0/48 - 0/7$) در یک سیستم ماگمایی با نسبت بالای $Fe/Fe+Mg$ و Al و هیدروترمالی با $\#Fe$ پایین رده‌بندی می‌شوند. و نیز مقدار کم تیتان در تورمالین‌های منطقه می‌تواند به خوبی دلالت بر S تایپ بودن ماگمای گرانیت شاولی داشته باشد. وجود تورمالین ماگمایی دلالت بر پرآلومینه لوکوگرانیت‌های منطقه دارد.

۵- مراجع

- سهندی، م، ا، رادفر، ج، حسینی دوست، محجل، م، ۱۹۸۵. نقشه زمین‌شناسی سازند به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰.
- Baxter, E.F. Caddick, M.J., Dragovic, B., 2017. Garnet: A Rock-Forming Mineral Petrochronometer, *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* 83, 469–533.
- Clemens, J.D., Wall, V.J., 1981. Origin and crystallization of some peraluminous (S-type) granitic magmas, *Canadian Mineralogist* 19, 111-131.
- Henry, D.J. and Guiditti, C.V., 1985. Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW-Marine. *American Mineralogist* 70, 1-15.
- London, D. and Manning, D., 1995. Chemical variation and significance of tourmaline from SW England. *Economic Geology* 495-519.
- London, D., 2011. Experimental synthesis and stability of tourmaline: a historical perspective. *The Canadian Mineralogy* 49, 117-136.
- Pesquera A, Torres-Ruiz J, Garcí'a-Casco A, Gil-Crespo P.P., 2013. Evaluating the controls on tourmaline formation in granitic systems: a case study on peraluminous granites from the Central Iberian Zone (CIZ), Western Spain, *Journal of Petrology* 54, 609-634.
- Ribeiro da Costa, I., Mourao, C., Re'cio, C., Guimara'nes, F., Antunes, I.M., Farinha Ramos, J., Barriga, F.J.A.S., Palmer, M.R., Milton, J.A., 2014. Tourmaline occurrences within the Penamacor-Monsanto granitic pluton and host-rocks (Central Portugal): genetic implications of crystal-chemical and isotopic feature, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 167, 979-993.
- Sheikholeslami, M.R., Pique, A., Mobayen, P., Sabzehei, M., Bellon, H. and Hashem Emami, M., 2008. Tectono-metamorphic evolution of the Neyriz metamorphic complex, Quri-Kor-e-Sefid area (Sanandaj-Sirjan Zone, SW Iran). *Journal of African Earth Sciences* 31, 504–521.
- Slack, J.F., 1996. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits. *Review Mineralogy* 33, 559-643.