

شیمی و منشأ تورمالین موجود در هورنفلس دهنو (شمال غرب مشهد)

صمدی، رامین^{۱*} - میرنژاد، حسن^۲

^۱ دانشجوی دکتری پترولوژی، واحد علوم و تحقیقات تهران

^۲ دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران

rsamadi@hotmail.com

چکیده

هورنفلس از جمله واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه دهنو حاوی تورمالین به عنوان یکی از کانی‌های فرعی می‌باشد. بر اساس آنالیز میکروپروپ، ترکیب تورمالین آلکالی و از نوع شورلیت - دراویت می‌باشد. با توجه به ترکیب شیمیایی کانی تورمالین و همراهی آن با هورنفلس، به نظر می‌رسد که عناصر Ca ، Fe ، Al ، Mg و Na جهت تشکیل این کانی از سنگ‌های پلیتی تأمین یافته و در شرایط حرارت و فشار حاکم در طی دگرگونی مجاورتی تورمالین را به وجود آورده‌اند. البته توده تونالیتی علاوه بر ایجاد هورنفلس، در تأمین عناصری همچون بور جهت تشکیل تورمالین نقش مهمی ایفا نموده است.

واژگان کلیدی: تورمالین، هورنفلس، دهنو، مشهد.

Mineral Chemistry and Origin of the Tourmaline in Dehnow Hornfels (Northwest of Mashhad)

¹Samadi R., ²Mirnejad H.

¹Ph. D. student of petrology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran

²Department of Geology, University of Tehran, Iran

rsamadi@hotmail.com

Abstract

Hornfels outcrops as one of the rock units in Dehnow area, contains tourmaline as an accessory mineral. Based on the, microprobe analysis, tourmaline is alkali in composition and schorl-dravite type. Considering the chemical composition of tourmaline and its association with hornfels, it seems that Na, Ca, Fe, Al, and Mg originated from the politic sediments and formed tourmaline at the P-T conditions prevailing during contact metamorphism. On the other hand, other components such as B seem to have originated from the tonalite body.

Keywords: Tourmaline, Hornfels, Dehnow, Mashhad.

مقدمه

کانی تورمالین به لحاظ اهمیت آن در مطالعات سنگ‌شناسی و متالورژی توسط بسیاری از محققین مورد بررسی قرار گرفته است (گرو و آنویتز، ۱۹۹۶؛ هنری و دوترو، ۱۹۹۶؛ جوهر، ۲۰۱۰). در حقیقت تورمالین می‌تواند بیانگر ترکیب کلی سنگی باشد که در آن تشکیل شده است، به طوری که هنری و گویدتی (۱۹۸۵) و هنری و دوترو (۱۹۹۶) معتقد هستند که در سنگ‌های دگرگونی با ترکیب کل یکسان، تغییر در ترکیب تورمالین به تغییرات درجه دگرگونی آن سنگ‌ها مربوط است. تورمالین یکی از کانی‌های فرعی در هورنفلس‌ها است. به‌طور کلی تورمالین کانی متداول سنگ‌های گرانیتی، پگماتیتی یا رگه‌های پنوماتولیتی و هیدروترمالی است و در سنگ‌های دگرگونی مجاورتی و یا ناحیه‌ای نیز تشکیل می‌شود و حضور این کانی به خوبی مؤید حضور سیالات حاوی عنصر بور در منطقه می‌باشد. در این مقاله به بررسی ترکیب شیمیایی و مطالعه کانی تورمالین موجود در هورنفلس منطقه دهنو و ترکیب محیط سنگ میزبان آن پرداخته می‌شود.

روش مطالعه

برای دستیابی به اهداف این تحقیق پس از بررسی شواهد صحرایی، رخنمون‌های مناسب نمونه‌برداری و از آنها مقاطع نازک و نازک صیقلی تهیه شد. آنالیز شیمیایی کانی‌ها با استفاده از دستگاه میکروپروب JEOL، مدل (WDS) JXA-8800 و JXA-8500F واقع در مؤسسه مطالعه تحولات کره زمین (IFREE) در کشور ژاپن و با ولتاژ ۱۵ kV و ۱۵ nA انجام گرفت. نتایج آنالیز و محاسبه فرمول ساختاری تورمالین‌ها بعلاوه پارامترهای مرتبط، در جداول ۱ و ۲ ارائه گردیده است.

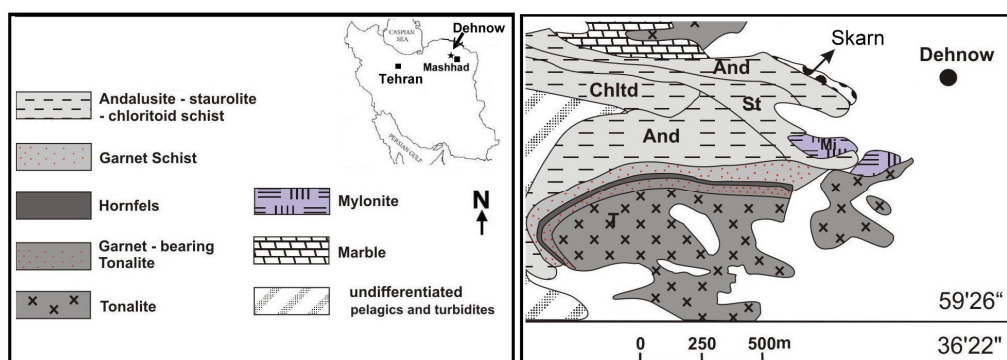
شرح و بحث

الف) زمین‌شناسی منطقه

منطقه دهنو در شمال شرقی ایران و در ۱۵ کیلومتری شمال غربی شهر مشهد واقع گردیده است. این ناحیه در محدوده زون ساختاری بینالود و در امتداد شرقی سلسله جبال البرز، در محدوده طول‌های جغرافیایی ۲۲° ۵۹' تا ۲۶° ۵۹' شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۲۰° ۳۶' تا ۲۲° ۳۶' شمالی قرار دارد. هورنبلند بیوتیت تونالیت‌های منطقه دهنو، قدیمی‌ترین سنگ‌های آذرین تزریق شده در داخل دگرگونی‌ها و فلیش‌های منطقه هستند. نفوذ این تونالیت‌ها منجر به تشکیل هورنفلس‌های پلیتی و غنی از آلماندین و اسپسارتین در غرب دهنو شده است که به صورت نوار باریکی در مرز بین گارنت شیست‌ها و تونالیت‌های دارای گارنت مشاهده می‌شوند (شکل ۱). مطالعات صمدی (۱۳۸۷) نشان می‌دهد که سنگ‌های حاصل از نفوذ تونالیت‌ها دارای درجات

دگرگونی در حد رخساره آلبیت - اپیدوت تا هورنبلند هورنفلس می‌باشند.
 (ب) مشخصات میکروسکوپی هورنفلس

هورنفلس‌های منطقه حاصل دگرگونی مجاورتی شیست‌ها، طی نفوذ توده تونالیتی دهنو می‌باشند. آنها سنگ‌هایی ملانوکرات و گارنت‌دار با منشأ پلیتی بوده که در فاصله ۲۰۰ متری از کنتاکت با تونالیت‌ها قرار دارند و در اثر دگرگونی مجاورتی در کنار تونالیت‌های گارنت‌دار به وجود آمده‌اند. با فاصله گرفتن از سمت توده تونالیتی، هورنفلس‌ها جای خود را به شیست‌ها می‌دهند (شکل ۱). این سنگ‌ها عموماً دارای کانی‌های اصلی کوارتز، پرفیروبلاست‌های بی‌شکل تا گرد شده گارنت، تورمالین، سیلیمانیت، آندالوزیت، مسکوویت، بیوتیت، کلریت و کانی اپک می‌باشند. کوارتز و سریسیت غالباً به صورت سایه فشاری در اطراف گارنت و استارولیت گسترش یافته و اشکال زیگموئیدال نشانه دوران پرفیروبلاست‌های فرعی نسبت به زمینه می‌باشد. در مقاطع، شیستوزیته موازی با صفحه کنتاکت توسط کانی‌های رشته‌ای و صفحه‌ای ایجاد شده است.



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (اقتباس از پورلطیفی، ۱۳۸۱).



شکل ۲: تصویر مقطع میکروسکوپی (PPL)، تورمالین (Tur) موجود در هورنفلس.

تورمالین به‌عنوان یک کانی سیکلوآلومینات در سنگ‌های دگرگونی منطقه که شامل شیست‌ها و هورنفلس‌ها می‌باشند حضور دارد. از لحاظ پتروگرافی تورمالین موجود در درون شیست و هورنفلس منطقه به هم شبیه بوده و با ابعادی در حدود نیم تا یک میلی‌متر با رنگ الوان، شکل تقریباً منظم و برجستگی بالا مشاهده می‌شود (شکل ۲).

پ) شیمی کانی

نتایج آنالیز میکروپروب، به همراه محاسبه فرمول ساختاری کانی تورمالین (شکل ۲)، در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده است. فرمول عمومی تورمالین به صورت $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ می‌باشد (هاورتورن، ۲۰۰۲) که در آن:

$X=Na^+, K^+, Ca^{2+}, vac.$; $Y=Li^+, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Fe^{3+}, (Ti^{4+})$; $Z=Mg^{2+}, Fe^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, V^{3+}, Cr^{3+}$; $T=Si^{4+}, Al^{3+} (B^{3+})$; $B=B^{3+}$; $V=OH, O^{2-} [O3]$; $W=OH, F, O^{2-}=[O1]$.

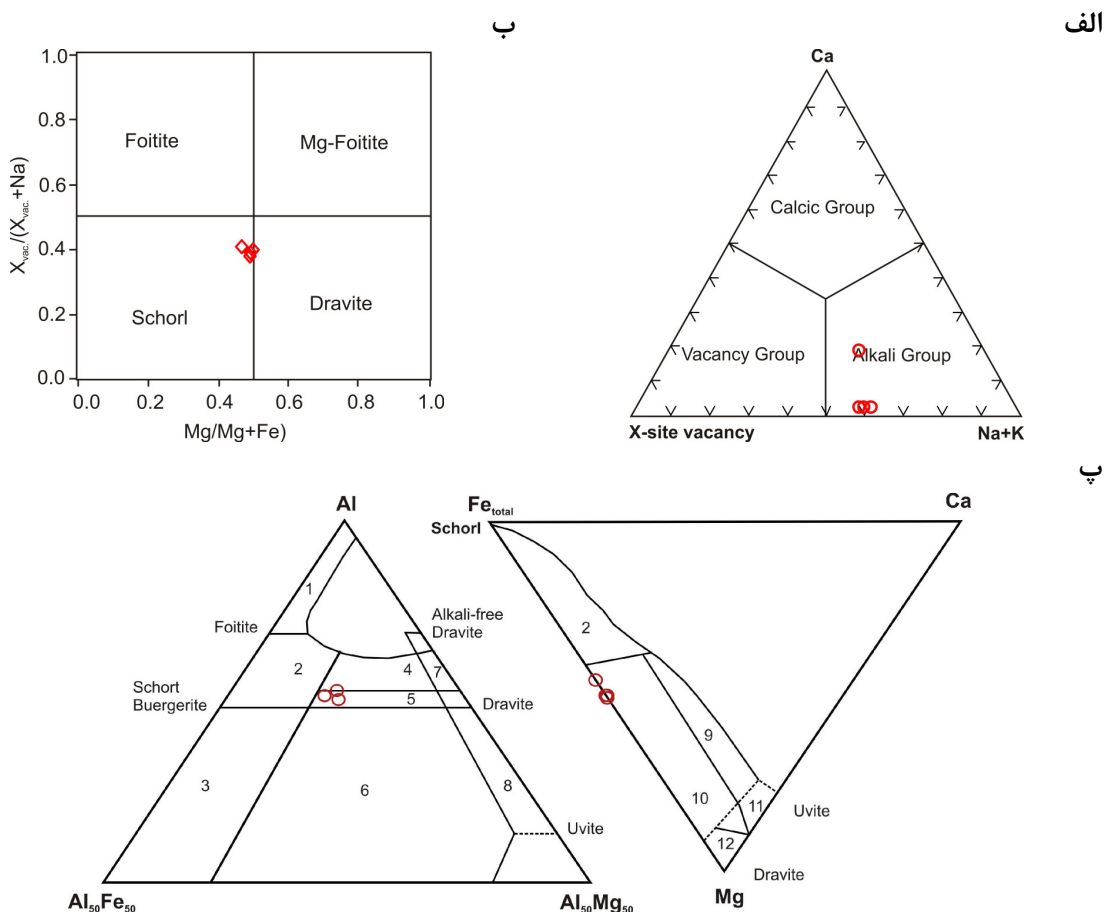
با توجه به نظر هاوتورن و هنری (۱۹۹۹)، تورمالین‌ها براساس ظرفیت سایت X خودشان به سه گروه تقسیم‌بندی می‌شوند: (الف) تورمالین‌های آلکالی (که به‌طور غالب دارای Na+K در سایت X می‌باشند)؛ (ب) تورمالین‌های کلسیک (که به‌طور غالب دارای Ca در سایت X می‌باشند)؛ (پ) تورمالین‌های با فضای خالی در سایت X. طبق نتایج آنالیز بدست آمده برای تورمالین موجود در هورنفلس‌های منطقه دهنو، میزان Na+K این تورمالین‌ها بیشتر از Ca و X_{vac} بوده و ترکیب آنها از نوع تورمالین‌های آلکالی می‌باشد (جداول ۱ و ۲؛ شکل ۳-الف). همچنین مقدار $X_{vac}/(X_{vac}+Na)$ تورمالین‌های مورد مطالعه در حدود ۰/۳۸۲ تا ۰/۴۱۱ و میزان Mg/Fe+Mg آنها، ۰/۴۶۶ تا ۰/۴۹۹ می‌باشد، لذا با توجه به مطالعات هاوتورن و هنری (۱۹۹۹)، نوع آنها از نوع شورلیت- دراویت می‌باشد (شکل ۳-الف و ۳-ب). در نمودار Fe-Mg-Al و Fe-Mg-Ca نمونه‌ها تقریباً در محدوده (۵) و نزدیک به محدوده (۴) قرار گرفته‌اند که براساس پیشنهاد هنری و گویدتی (۱۹۸۵)، این محدوده‌ها به‌صورت متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های غیر همزیست با یک فاز اشباع از Al (محدوده ۵) و سنگ‌های کوارتز- تورمالین، متاپسامیت‌ها و متاپلیت‌های فقیر از Ca می‌باشند (شکل ۳-پ). بر این اساس سنگ‌های رسوبی و پلیتی منطقه که دارای مقادیر کافی از عناصر Ca, Fe, Al, Mg و Na بوده‌اند در تأمین این عناصر برای تشکیل تورمالین در طی فرایند دگرگونی مجاورتی نقش مهمی داشته‌اند.

جدول ۱: نتایج آنالیز میکروپروب تورمالین‌های موجود در هورنفلس‌های منطقه دهنو.

Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total
12	36.05	0.98	34.85	0.01	8.20	0.01	4.01	0.10	1.82	0.02	86.06
13	36.18	0.95	35.23	0.04	7.89	0.03	4.27	0.13	1.88	0.02	86.61
14	36.39	0.87	34.27	0.05	8.13	0.04	4.38	0.10	1.89	0.05	86.18
15	36.20	0.84	34.08	0.02	8.02	0.03	4.48	0.10	1.82	0.06	85.64

جدول ۲: محاسبه فرمول ساختاری و پارامترهای کانی تورمالین بر اساس ۳۱ اتم O و OH.

Sample No.	Si	Ti	Al	Fe(ii)	Mn	Mg	Ca	Na	K	B	X _{vac.}	X _{vac.} /(X _{vac.} +Na)	Mg/(Fe+Mg)	Fe/(Fe+Mg)	Na/(Na+Ca)	Total
12	5.89	0.12	6.71	1.12	0.00	0.98	0.02	0.58	0.00	3.00	0.40	0.41	0.47	0.53	0.97	15.42
13	5.87	0.12	6.74	1.07	0.00	1.03	0.02	0.59	0.00	3.00	0.38	0.39	0.49	0.51	0.96	15.45
14	5.94	0.11	6.60	1.11	0.01	1.07	0.02	0.60	0.01	3.00	0.37	0.38	0.49	0.51	0.97	15.46
15	5.94	0.10	6.59	1.10	0.00	1.10	0.02	0.58	0.01	3.00	0.39	0.40	0.50	0.50	0.97	15.45



شکل ۳: ترکیب شیمیایی تورمالین‌ها در (الف) نمودار تقسیم‌بندی انواع تورمالین‌ها برگرفته از هاوتورن و هنری (۱۹۹۹)؛ (ب) نمودار $X_{vac.}/(X_{vac.}+Na)$ در برابر $Mg/Fe+Mg$ برگرفته از هاوتورن و هنری (۱۹۹۹)؛ (پ) نمودارهای سه‌تایی Al-Fe-Mg و Ca-Fe-Mg. محدوده‌ها برگرفته از هنری و گویدتی (۱۹۸۵) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بر اساس آنالیز شیمیایی، تورمالین‌های مورد مطالعه از نوع تورمالین‌های آلکالی و شورلیت- دراویت بوده و این مسئله با شواهد پتروگرافی تطابق دارد، که بیانگر تشکیل تورمالین‌ها در هورنفلس می‌باشد. سنگ‌های رسوبی پلیتی از Ca، Fe، Al، Mg و Na غنی بوده و به‌نظر تأمین‌کننده اصلی این عناصر برای تشکیل تورمالین بوده‌اند. با توجه به حضور تورمالین در شیست‌های مجاور، حضور سیالات حاوی بور که منجر به فراهم نمودن شرایط تشکیل این کانی شده است را می‌توان به نفوذ توده تونالیتی دهنو در منطقه نسبت داد.

سپاسگزاری

از همکاری‌های ارزنده آقای دکتر کاواباتا در مؤسسه مطالعه تحولات کره زمین کشور ژاپن، برای فراهم نمودن آنالیزهای ژئوشیمیایی این تحقیق سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

پورلطیفی، ا.، ۱۳۸۱، نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰، سازه زمین‌شناسی ایران.
صمدی، ر.، ۱۳۸۷، بررسی منشاء مگاکریست‌های گارنت موجود در تونالیت دهنو، شمال غرب مشهد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، ۱۷۹ صفحه.

- Grew E.S., Anovitz L.M., 1996, Boron, mineralogy, Petrology, and geochemistry. Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*; v. 33.
- Henry D.J., Dutrow B.L., 1996, Metamorphic tourmaline and its petrologic applications, in E. S. Grew and L. M. Anovitz, eds, Boron: Mineralogy, Petrology and Geochemistry, Mineralogical Society of America, *Reviews in Mineralogy*; v. 33; Chap. 12.
- Henry D.J., Guidotti C.V., 1985, Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW-Maine, *American Mineralogy*; no:70; p.1-15.
- Hawthorne F.C., 2002, Bond-valence constraints on the chemical composition of tourmaline, *Canadian Mineralogist*; v. 40; p. 789-797.
- Hawthorne F.C., Henry D.J., 1999, Classification of the minerals of the tourmaline group, *European Journal of Mineralogy*; no. 11; p. 201-215.
- Jowhar T.N., 2010, Chemistry of Tourmalines from the Gangotri Granite, Garhwal Higher Himalaya, *Earth Science India*; v. 3 (III); p. 181-194.