

شیمی - کانی شناسی تورمالین در رگه‌های کوارتز-تورمالین توده گرانیتی شاهکوه  
(شرق ایران)

دکتر داریوش اسماعیلی، دکتر محمدرحمن ولیزاده و دکتر علی کنعانیان  
esmaili@khayam.ut.ac.ir  
دانشگاه تهران، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی  
(دریافت: ۸۱/۶/۲۰؛ پذیرش: ۸۲/۲/۲۷)

### چکیده

تعداد ۲۷ نمونه از تورمالین رگه‌های کوارتز-تورمالین، گرانیت‌های گرایزنی و میکروگرانیت‌های لوکوکرات توده گرانیتوئیدی شاهکوه (شرق ایران) بوسیله دستگاه الکترون میکروپروب Cambex SX50 مورد تجزیه قرار گرفتند. نتایج حاصل نشان می‌دهند که نمونه‌های تورمالین مورد مطالعه از نوع شورل (Schorl) بوده و سنگهای رسوبی سازند شمشک موجود در حاشیه شمالی توده نفوذی که خود میزبان تعدادی از رگه‌های کوارتز-تورمالین نیز می‌باشند، از طریق تامین عناصر Fe, Mg, Al, Ca و احتمالاً B مورد نیاز در تشکیل تورمالین این رگه‌ها نقش مهمی داشته‌اند. تغییرات نسبت  $(FeO^*/(FeO^* + MgO))$  تورمالین رگه‌های مذکور نیز نشان می‌دهند که هر چه محل این رگه‌ها از سنگهای رسوبی فاصله بیشتری داشته باشد از مقدار این نسبت کاسته می‌شود. این امر نشان می‌دهد که رگه‌های کوارتز-تورمالینی که سنگهای رسوبی را قطع می‌کنند، با منبع سیال تغذیه کننده خود نزدیکتر بوده و بنابراین منبع مواد مورد نیاز برای تشکیل آنها احتمالاً در این سنگها قرار داشته و یا از آنها عبور نموده است.

همچنین نتایج الکترون میکروپروب نشان می‌دهند که قلع به عنوان یک عنصر مهم در ساختمان تورمالین رگه‌ها حضور دارد. تصاویر تهیه شده از توزیع پرتو ایکس Sn در کانی‌های مورد بررسی نشان می‌دهند که قلع گاهی اوقات به عنوان یک عنصر فرعی و به صورت پراکنده در ساختمان کانی میزبان موجود بوده و در مواردی نیز به صورت ادخالهای ریز کاسیتريت در ساختمان این کانی حضور دارد. مورد اخیر بیانگر تشکیل کاسیتريت متقدم بر تورمالین است. قرار گرفتن ترکیب تعدادی از تورمالین رگه‌ها در زیر خط شورل-دراویت در نمودار مثلثی  $Al_{50}Fe_{50}-Al-Al_{50}Mg_{50}$  نیز بر جانشینی Al بوسیله  $Fe^{+3}$  در یک محیط اکسیدان- که محیط مناسبی برای تشکیل کاسیتريت نیز می‌باشد- دلالت دارد.

**واژه‌های کلیدی:** الکترون میکروپروب، رگه‌های کوارتز-تورمالین، توده گرانیتی، شاهکوه.

## مقدمه

توده گرانیتی شاهکوه در فاصله حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب بیرجند (شکل ۱) در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم (سپندی، ۱۳۷۱) و ۱:۱۰۰۰۰۰ بصیران (افتخارنژاد، ۱۳۷۱) بین عرضهای جغرافیایی ۳۱° ۴۷' تا ۳۱° ۳۰' شمالی و طولهای جغرافیایی ۳۱° ۵۹' تا ۳۱° ۱۲' شرقی واقع است.

این توده گرانیتوئیدی درحاشیه شرقی بلوک لوت قرار گرفته و به همین جهت مطالعاتی که بر روی این بلوک انجام شده است تا حدی گرانیت شاهکوه را نیز تحت پوشش قرار می‌دهد؛ به عنوان مثال می‌توان به مطالعات باریاند و همکاران (Bariand *et al.*, 1965)، موحد اول و همکاران (Movahed-Avval *et al.*, 1971a,b)، اش‌توکلین و همکاران (Stokline *et al.*, 1972)، تدین اسلامی و لنکرانی (۱۳۵۳) و مباشر (۱۳۷۱) اشاره نمود. بعلاوه در طرح پی‌جویی قلع وزارت صنایع و معادن (اسماعیلی دهج، ۷۵-۱۳۷۱) رگه‌های کوارتز-تورمالین شمال توده گرانیتی شاهکوه مورد کنکاش قرار گرفته است. سرانجام اسماعیلی و ولی‌زاده (Esmaily & Valizadeh, 2000)، اسماعیلی و همکاران (Esmaily *et al.*, 2000)، اسماعیلی (۱۳۸۰) و اسماعیلی و همکاران (۱۳۸۱) نگاهی ویژه به کانه زایی قلع در منطقه داشته و رگه‌های کوارتز-تورمالین مذکور را مورد بررسی صحرایی، کانی‌شناختی و ژئوشیمیایی قرار داده‌اند.

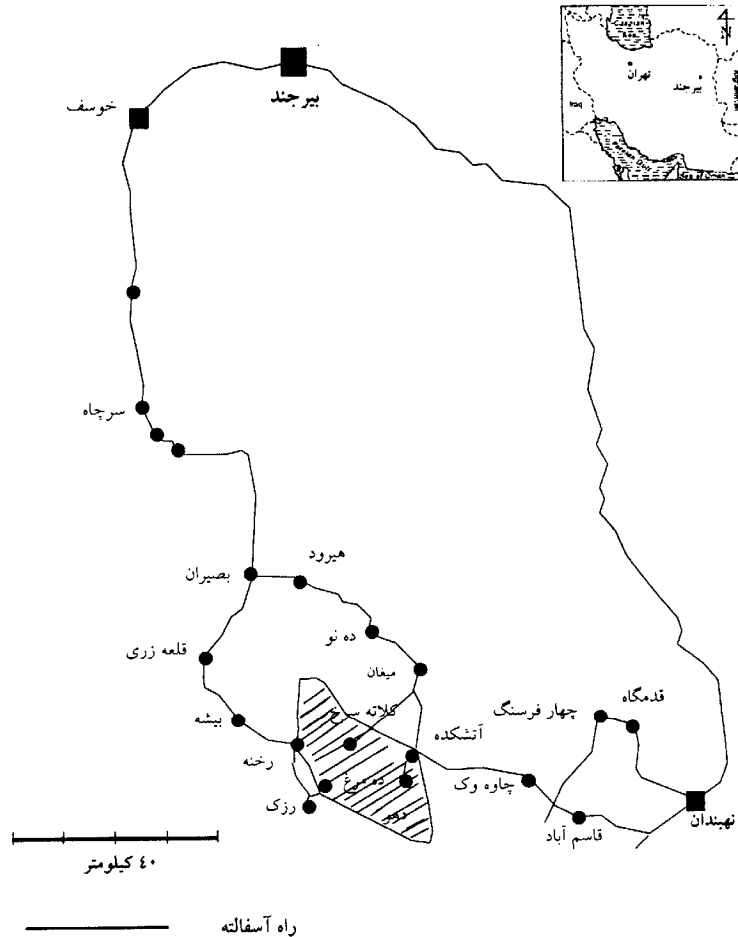
در شمال باتولیت گرانیتی شاهکوه، سنگهای رسوبی سازند شمشک و بخشهایی از سنگهای گرانیتی مذکور، مورد هجوم یک سری رگه‌های کوارتز-تورمالین کم و بیش مینرالیزه قرار گرفته‌اند. تورمالین در کنار کوارتز اصلی‌ترین کانی تشکیل دهنده این رگه‌ها محسوب می‌شود. این کانی در مقادیر متفاوت در گرانیت‌های گرایزنی شده، بعضی از میکروگرانیت‌های لوکوکرات، آپوفیزها و دایکهای آپلیتی و رگچه‌های شبه پگماتیتی نیز حضور دارد.

تورمالین یکی از پیچیده‌ترین کانیهای بردار بوده و تنوع ترکیب شیمیایی آن منجر به تشخیص حداقل یازده نوع تورمالین شده است که از میان آنها سه نوع البایت (Elbaite) با فرمول  $(\text{Na,Li,Al})_3 \text{Al}_6 (\text{BO}_3)_3 \text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$ ، شورل (Schorl) با فرمول  $\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$  و دراویت (Dravite) با فرمول  $\text{NaFeAl}_6 (\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{OH})_4$  به عنوان اعضای انتهایی معرفی و از اهمیت خاصی برخوردارند (Grew *et al.*, 1997).

حضور تورمالین درحاشیه توده‌های نفوذی شاید به این دلیل باشد که سیال آبی بور دار می‌توانسته با سنگ میزبان واکنش کرده و با استفاده از Fe و Mg آنها تورمالین بسازد. اکثر سنگهای میزبان (به جز کوارتزیت‌ها) حاوی Fe، Mg، Ca و Al کافی برای تشکیل تورمالین

می‌باشند و بدین ترتیب محلول آبکی ماگما زمینه انتشار بور را مهیا نموده و تورمالین می‌تواند از طریق واکنش سنگ میزبان با سیال شکل گیرد.

بررسی شیمی-کانی‌شناسی تورمالین رگه‌های کوارتز-تورمالین شمال توده‌گرانییتی شاهکوه (شرق ایران) و مقایسه آن با تورمالین گرانیت‌های گرایزنی شده، میکروگرانیت‌های لوکوکرات و رگچه‌های شبه پگماتیتی، به منظور آگاهی از منشأ عناصر سازنده تورمالین‌های مورد مطالعه و چگونگی ارتباط آنها با سنگ میزبان موضوع اصلی این مقاله است.



شکل ۱- نقشه راه‌های ارتباطی به منطقه گرانیت شاهکوه (منطقه مورد مطالعه با هاشور مشخص شده است).

### محدوده مورد مطالعه از نگاه زمین‌شناسی ناحیه‌ای

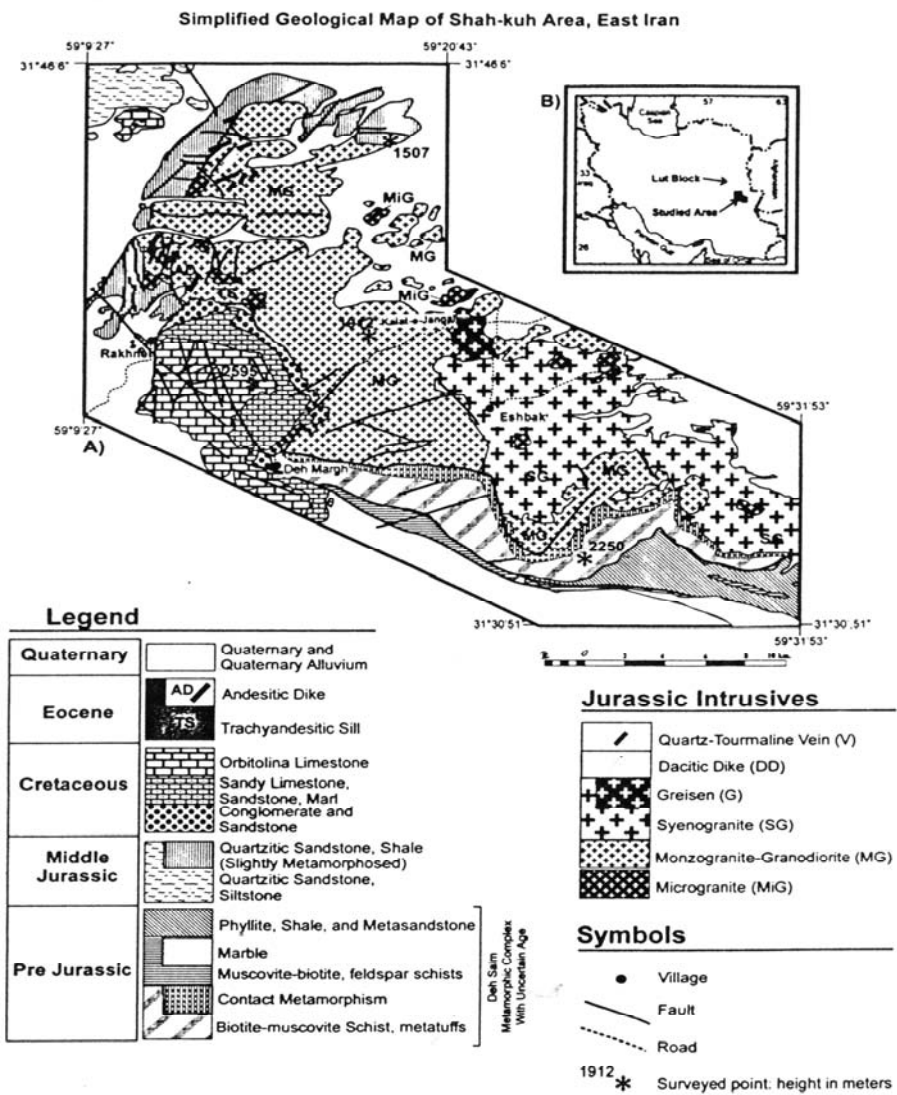
باتولیت گرانیتی شاهکوه با سن  $۱۶۵ \pm ۳/۱$  میلیون سال (اسماعیلی، ۱۳۸۰ و اسماعیلی و همکاران، ۱۳۸۱)، بزرگترین توده نفوذی در بلوک لوت (شرق ایران) است که سنگهای دگرگونی کمپلکس ده‌سلم را در جنوب و سنگهای رسوبی شیلی- ماسه سنگی سازند شمشک را در شمال قطع نموده و با یک سطح کنگلومرایی درزیر آهکهای اربیتولین‌دار کرتاسه قرار گرفته است (شکل ۲).

نظر به اینکه رگه‌های کوارتز- تورمالین علاوه بر توده گرانیتی شاهکوه سنگهای سازند شمشک را نیز قطع نموده‌اند، لذا در زیر به طور اجمال به بررسی مشخصات سنگ شناسی این سازند می‌پردازیم.

**سنگهای سازند شمشک با سن ژوراسیک زیرین** در حاشیه شمالی و شمال غربی توده گرانیتی شاهکوه به صورت یک نوار هلالی رخنمون دارند. این سنگها از نوع آواری خشکی و کم عمق دریایی بوده و به طور عمده از سیلتستون، ماسه سنگ و شیل‌های رسی که به میزان قابل توجهی میان لایه‌های ماسه سنگی را نیز در بر می‌گیرند تشکیل شده‌اند. بخشی از سنگهای این سازند که در همبری بلافصل توده گرانیتی قرار دارند بیشترین تأثیر گرمایی را تحمل نموده‌اند (شکل ۳). سنگهای مذکور به تدریج با فاصله گرفتن از توده نفوذی، به باریکه‌های کم عرضی از سنگهای فیلیتی و اسلیتی به رنگ خاکستری تیره مایل به سبز به همراه کوارتزیت‌های نسبتاً سخت با ریخت شناسی خشن و صخره ساز تبدیل می‌شوند. در مناطقی که رگه‌های کوارتز- تورمالین این سنگها را مورد هجوم قرار داده‌اند، آثار دگرسانی به وضوح در آنها دیده می‌شود و کانی‌های تورمالین و اکسیدهای قرمز و قهوه‌ای آهن به فراوانی آنها را فرا گرفته‌اند.

### مروری بر واحدهای مختلف سنگ‌شناختی باتولیت گرانیتی شاهکوه

بخش اصلی توده گرانیتی شاهکوه از دو واحد مونزوگرانیتی و سینیوگرانیتی تشکیل شده است. گرانیت‌های گرایزی شده، به طور محدود در شرق توده برونزد داشته و میکروگرانیت‌ها به طور پراکنده در هر دو واحد مونزوگرانیتی و سینیوگرانیتی رخنمون دارند. بعلاوه دایک‌های آپلیتی، داسیتی، آندزیتی و رگه‌های کوارتز-تورمالین به طور محلی این توده گرانیتی را قطع نموده‌اند (شکل ۲).



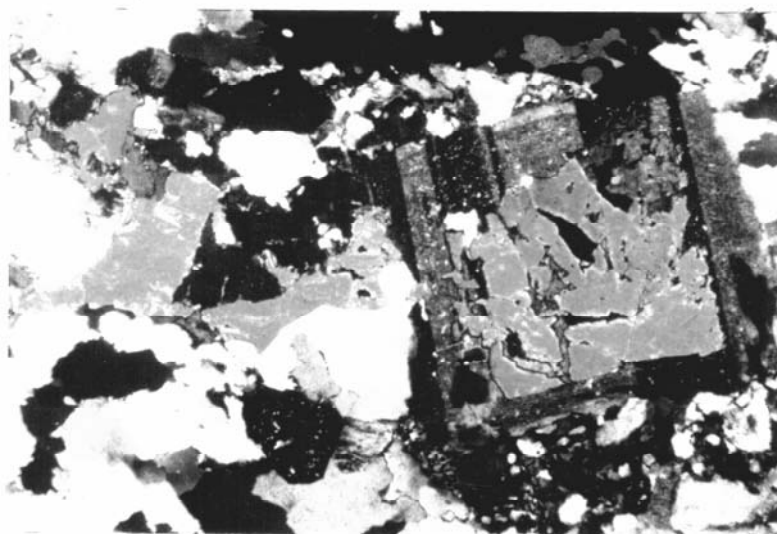
شکل ۲- نقشه ساده گرانیت شاهکوه که بر روی آن واحدهای مختلف سنگ‌شناسی تفکیک شده‌اند.

**گرانیت‌های گرایزنی شده** در حوالی روستای کلات جنگل واقع در حاشیه شرقی توده، برونزد دارند. اصطلاح گرانیت گرایزنی در اینجا به سنگهای گرانیتی شدیداً دگرسان شده‌ای اطلاق شده است که اکثر فلدسپارهای آنها تقریباً به طور کامل بوسیله کوارتز، میکا، آلبیت، توپاز و فلوئوریت جایگزین شده است. رنگ نمونه دستی این سنگها خاکستری تا گلی رنگ بوده و ساخت دانه‌ای ریز تا متوسط دانه را به نمایش می‌گذارند. کوارتز و فلدسپار از کانیه‌های اصلی و بیوتیت (آنیت)، موسکوویت، تورمالین، سیدروفیلیت، منازیت، آپاتیت، توپاز و فلوئوریت از اجزای فرعی این سنگها محسوب می‌شوند. تورمالین بعد از بیوتیت فراوانترین کانی فرعی این سنگها است و اکثراً بر روی فلدسپارها و به خرج آنها تشکیل شده است (شکل ۴).

**میکروگرانیت‌ها** با ساخت و بافت ریز دانه به طور پراکنده در توده گرانیتی شاهکوه برونزد دارند. به طور کلی این میکروگرانیت‌ها بر مبنای مشخصات بافتی و کانی شناختی به دو گروه بیوتیت - میکروگرانیت و میکروگرانیت‌های لوکوکرات قابل تقسیم می‌باشند. میکروگرانیت‌های لوکوکرات به صورت استوکهای کوچک و زبانه‌هایی در هر دو واحد موزوگرانیتی و سینیوگرانیتی به طور پراکنده برونزد دارند. ترکیب سنگ شناختی این سنگها سینیوگرانیتی است و کوارتز، آکالی فلدسپار و پلاژیوکلاز از کانی‌های اصلی و بیوتیت، تورمالین (شکل ۵)، آپاتیت، زیرکن از کانی‌های فرعی آنها محسوب می‌شود. تورمالین بیشتر در آن دسته از میکروگرانیت‌های لوکوکراتی دیده می‌شود که در حواشی توده و یا نزدیک به مرز توده گرانیتی و سنگهای میزبان برونزد دارند. این کانی که بیشتر به شکل زینومورف و عمدتاً به خرج فلدسپارها و بر روی آنها تشکیل شده است غنی از آهن است (جدول ۱) و مطابق رده بندی سلاک (۱۹۹۷) از نوع شورل (schorle) می‌باشد. همچنین گاهی اوقات تورمالین به شکل هم‌رشدی‌های میکروگرافیکی با کوارتز و یا آکالی فلدسپار نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۳- مرز گرانیته شاهکوه با ماسه‌سنگهای شیلی سازند شمشک در محل رود خییسی



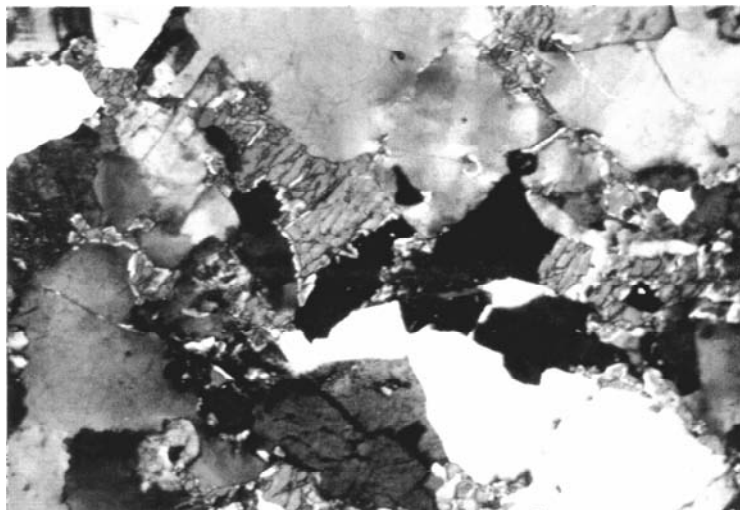
شکل ۴- جانشینی فلدسپار بوسیله تورمالین در گرانیته‌های گرایزنی شده شاهکوه (۱۰۰ برابر در PL)

**رگه‌های کوارتز - تورمالین** با ضخامت و طول متغیر در شمال و شمال غرب منطقه مورد مطالعه واحدهای مختلف مونوزوگرانیته و سینیوگرانیته و همچنین میکروگرانیته‌ها، دایکهای داسیتی و آپلیتی و سنگهای رسوبی شیلی - ماسه سنگی سازند شمشک را قطع نموده‌اند. ضخامت این رگه‌ها از کمتر از یک متر تا بیش از پنج متر و طول رخنمون آنها تا بیش از ۸۰۰ متر متغیر است (شکل ۶). این رگه‌ها عمدتاً دارای امتداد شمال شرق - جنوب غرب و شیب نزدیک به قائم بوده (شکل ۷) و به دلیل آغشتگی به اکسیدهای آهن به رنگ خاکستری تیره دیده می‌شوند. همچنین، گاهی اوقات رگچه‌های باریک و کوتاه کوارتز - تورمالین با ضخامت میلی‌متری تا سانتی‌متری به صورت شبکه‌ای و بدون هیچگونه نظم خاصی، شکستگی‌های سنگهای میزبان را پر نموده‌اند.

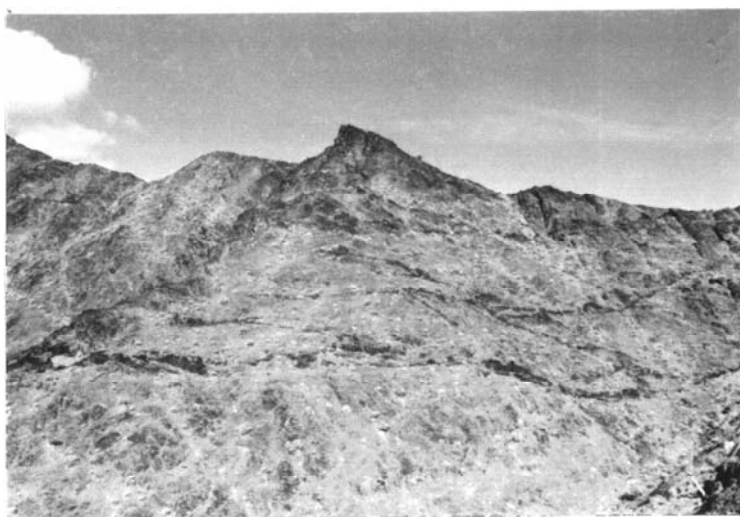
میزان فراوانی کوارتز و تورمالین از نمونه‌ای به نمونه دیگر متفاوت است. بعضی از نمونه‌ها بیشتر از تورمالین تشکیل شده و مقدار کوارتز به حدی کم است که به عنوان کانی فرعی محسوب می‌شود؛ این نمونه‌ها از لحاظ نامگذاری می‌توانند تورمالینیت نامیده شوند (شکل ۸). در بعضی دیگر از رگه‌ها کوارتز کانی اصلی است و تورمالین به مقدار جزئی این کانی را همراهی می‌کند. حالات حدواسط این دو حالت نیز به فراوانی وجود دارد.

تورمالین غالباً به دو صورت ریز و درشت بلور دیده می‌شود. نوع ریز بلور آن که بیش از ۷۰ درصد حجمی این کانی در نمونه‌ها را به خود اختصاص می‌دهد، بسیار ریز بوده و اندازه آن به ندرت به ۰/۵ میلی‌متر می‌رسد. این بلورها بیشتر به حالت شعاعی تجمع داشته و یک رخساره خورشیدی را به نمایش می‌گذارند. انواع درشت بلور تورمالین که اندازه آن به بیش از یک میلی‌متر هم می‌رسد، دارای چند رنگی مشخص سبز-آبی بوده و به صورت مختلف حضور دارد؛ به طوری که بعضی از آنها به شکل رگچه‌ای و بعضی دیگر به صورت هم‌رشد با کانی‌های کدر و یا دانه‌های کوارتز تجمع دارند (شکل ۹).

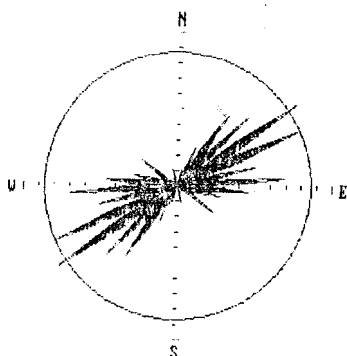




شکل ۵- تورمالین به همراه کوارتز و فلدسپار در میکروگرانیت‌های لوکوکرات شاهکوه (۱۰۰ برابر در PL)



شکل ۶- رگه‌های کوارتز-تورمالین در منطقه شاهکوه (نگاه به سمت شمال). رگه اصلی روند شمال شرق-جنوب غرب و رگه‌های فرعی جهات مختلفی را نشان می‌دهند.



شکل ۷- موقعیت امتداد رگه‌های کوارتز- تورمالین در منطقه شاهکوه بر روی نمودار گل سرخی (نقل از اسماعیلی، ۱۳۷۴)

گاهی اوقات شکستگی‌های این کانی توسط اکسیدهای آهن و سایر کانی‌های کدر پر شده است. غالباً بلورهای تورمالین توسط اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن فرا گرفته شده و یک نوع آلودگی حاصل نموده‌اند.

### روش آزمایشگاهی

برای مطالعات کانی‌شناسی و روابط بافتی نمونه‌های مورد مطالعه، تعداد ۵۰ مقطع نازک - صیقلی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین به منظور بررسی ترکیب شیمیایی، تعیین فرمول ساختمانی و منشأ تورمالین، تعداد ۱۰ نمونه تورمالین از رگه‌های کوارتز - تورمالین، ۳ نمونه از گرانیتهای گرایزنی شده، ۳ نمونه از میکروگرانیتهای لوکوکرات و ۴ نمونه از رگه‌های شبه پگماتیتهی مورد تجزیه الکترون میکروپروب قرار گرفت که نتایج آن به همراه فرمول ساختمانی آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

از میان این نمونه‌ها تعداد ۱۱ تجزیه در آزمایشگاه الکترون میکروپروب دانشکده معدن دانشگاه پل ساباتیه شهر تولوز و تعداد ۹ آنالیز دیگر نیز در مرکز تحقیقات دریایی اروپا (IFREMER) در شهر برست کشور فرانسه با دستگاه الکترون میکروپروب Combex SX50 انجام گرفت. در تعیین مقدار اکسیدهای عناصر اصلی و فرعی از استانداردهای بیوتیت، کریزوتیل، هورنبلند، ارتوکلاز، ایلمنیت، آلبیت و ولاستونیت استفاده شده است. سودالیت طبیعی (با ۶/۸۴ درصد وزنی Cl) برای استاندارد Cl، فلوئور - فلوگوپیت مصنوعی (با ۹/۰۲ درصد وزنی F) و یک بیوتیت طبیعی (با ۴/۰۲ درصد وزنی F) برای استاندارد F مورد استفاده

قرار گرفته‌اند. ولتاژ شتاب دهنده 15 kV، جریان روبش 15nA و زمان شمارش، بسته به نوع عنصر بین ۶ تا ۲۵ ثانیه بود.

جدول ۱- نتایج آنالیز الکترون میکروپروب نمونه‌های تورمالین در توده گرانیتهی شاهکوه (شرق ایران)

Label	گرانیته گرایزی شده			میکروگرانیته لوبولریت			رگه های شبه پگماتی				رگه های کوارتز - تورمالین										
	9890 P.68	9889 P.43	9889 P.5	SB10 C.1.1	SB10 C.1.2	SB10 C.2	9752 C.1.1	9752 C.1.2	9752 C.1.3	9752 C.3.1	9876 P.2	98117 P.2	98117 P.3	98117 P.15	98117 P.32	98117 P.35	9889 P.12	9869 P.4	98.4 P.32	984 P.39	
SiO <sub>2</sub>	34.82	35.81	35.02	34.88	36.09	35.32	35.85	35.35	35.89	35.72	36.81	32.27	34.35	35.16	33.98	34.85	36.79	36.91	36.34	36.30	
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.34	0.16	0.93	0.91	0.98	0.71	0.55	0.04	0.36	0.30	0.02	0.14	0.08	0.10	0.02	0.41	0.13	0.47	0.36	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.47	31.55	33.65	33.80	34.14	33.54	33.18	32.48	33.44	34.36	34.10	28.45	30.66	29.34	30.62	33.26	32.67	33.34	29.45	30.60	
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.46	10.39	10.40	10.44	10.63	10.53	10.52	10.38	10.48	10.56	10.68	9.74	10.01	10.16	10.56	10.21	10.01	10.31	11.01	11.01	
FeO	16.43	17.16	15.30	13.21	10.26	11.52	13.10	13.08	13.92	13.01	9.87	22.06	16.73	18.49	16.35	16.16	8.31	9.38	10.23	11.89	
MnO	0.35	0.23	0.19	0.14	0.00	0.17	0.00	0.07	0.10	0.05	0.01	0.13	0.06	0.07	0.01	0.06	0.03	0.01	0.03	0.01	
MgO	0.08	0.36	0.17	1.96	3.53	3.30	2.35	2.72	1.87	2.05	3.84	1.10	0.97	1.59	1.32	0.87	5.47	4.97	6.33	4.32	
CaO	0.20	0.12	0.30	0.19	0.25	0.23	0.40	0.42	0.35	0.42	0.14	0.43	0.43	0.82	0.47	0.82	0.26	0.30	0.92	0.83	
K <sub>2</sub> O	0.03	0.01	0.03	0.05	0.01	0.05	0.00	0.04	0.02	0.07	0.02	0.02	0.05	0.03	0.01	0.00	0.05	0.05	0.05	0.04	
Na <sub>2</sub> O	2.27	1.96	1.89	1.90	1.95	2.17	1.98	1.80	1.80	1.77	2.02	1.70	1.91	2.13	1.73	1.45	2.54	2.41	2.26	2.13	
F	-	-	-	0.73	0.00	0.83	0.80	0.79	0.83	0.80	0.28	0.15	0.38	0.24	-	-	-	-	-	-	
H <sub>2</sub> O	-	-	-	3.26	3.67	3.24	3.25	3.21	3.22	3.26	3.55	3.29	3.27	3.39	-	-	-	-	-	-	
Total	97.25	97.93	97.11	101.49	101.44	101.88	102.14	100.89	101.96	102.43	101.62	99.36	98.96	101.50	95.15	97.70	96.54	97.81	96.99	97.49	
Si	6.31	6.46	6.31	5.77	5.90	5.79	5.88	5.88	5.91	5.84	5.98	5.75	5.95	6.00	6.29	6.28	6.49	6.44	6.44	6.43	
Ti	0.02	0.05	0.02	0.12	0.11	0.12	0.09	0.07	0.00	0.04	0.04	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.05	0.02	0.06	0.05	
Al	6.94	6.71	7.15	6.60	6.58	6.48	6.42	6.37	6.50	6.62	6.53	5.98	6.26	5.91	6.68	7.06	6.79	6.86	6.15	6.39	
B	3.27	3.23	3.23	2.98	3.00	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98	2.99	3.00	2.99	2.99	3.37	3.17	3.05	3.11	3.34	3.36	
Fe	2.49	2.59	2.30	1.83	1.40	1.58	1.80	1.82	1.92	1.78	1.34	3.29	2.42	2.64	2.53	2.43	1.23	1.37	1.52	1.76	
Mn	0.05	0.04	0.03	0.02	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	0.02	0.10	0.05	0.48	0.86	0.81	0.57	0.67	0.46	0.50	0.93	0.29	0.25	0.40	0.36	0.23	1.44	1.29	1.67	1.14	
Ca	0.04	0.02	0.06	0.03	0.04	0.04	0.07	0.06	0.07	0.07	0.02	0.08	0.08	0.15	0.09	0.16	0.05	0.06	0.17	0.16	
K	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	
Na	0.80	0.69	0.66	0.61	0.62	0.69	0.63	0.58	0.58	0.56	0.64	0.59	0.64	0.71	0.62	0.51	0.87	0.82	0.78	0.73	
Total	19.96	19.87	19.81	18.45	18.51	18.51	18.45	18.47	18.43	18.42	18.48	19.01	18.64	18.83	19.98	19.86	19.98	19.97	20.15	20.02	
F	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	0.43	0.42	0.41	0.43	0.42	0.15	0.08	0.20	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
OH	0.30	0.30	0.30	3.56	3.97	3.54	3.55	3.51	3.52	3.56	3.85	3.59	3.57	3.69	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	

جدول ۲- نتایج آنالیز الکترون میکروپروب تورمالین قلع‌دار\* در رگه‌های کوارتز- تورمالین گرانیته شاهکوه (برحسب درصد وزنی)

شماره نمونه	1172	1173	11716	11735	11732	986912	98762
SnO <sub>2</sub>	۱/۶۸۳٪	۲ ppm	۳۳۱ ppm	۱۵۰۰ ppm	۳۰۰ ppm	۱۲۰۰ ppm	۵۰۵ ppm
SiO <sub>2</sub>	27/32	۳۴/۳۸	۳۵/۱۶	۱۶/۸۵	۳۳/۹۸	۳۶/۷۹	۳۶/۸۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۲۸/۴۵	۳۰/۶۶	۲۹/۳۴	۳۲/۲۶	۳۲/۶۲	۳۲/۶۷	۳۴/۱۰
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۰۳	۰/۰۵	۰	۰	۰/۱	۰	۰/۰۱
FeO (total)	۲۲/۰۶	۱۶/۷۳	۱۸/۴۹	۱۶/۱۶	۱۶/۳۵	۸/۳۱	۹/۸۷
MgO	۱/۱۰	۰/۹۷	۱/۵۹	۰/۸۷	۱/۳۲	۵/۴۷	۳/۸۴
MnO	۰/۱۳	۰/۰۶۳	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۱
CaO	۰/۴۳	۰/۴۳	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۴۷	۰/۲۶	۰/۱۴
Na <sub>2</sub> O	۱/۲	۲/۵۴	۱/۷۳	۱/۴۵	۱/۷۱	۱/۶۸	۱/۳
K <sub>2</sub> O	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳۱	۰/۰۲
F	۰/۱۵	۰/۲۸	۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۳۲	۰/۲۷	۰/۲۸
Cl	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۸	۰/۰۴
total	۸۷/۵۶	۸۵/۳۶	۸۷/۴۵	۸۷/۷۴	۸۴/۹۱	۸۶/۳۸	۸۷/۱۳

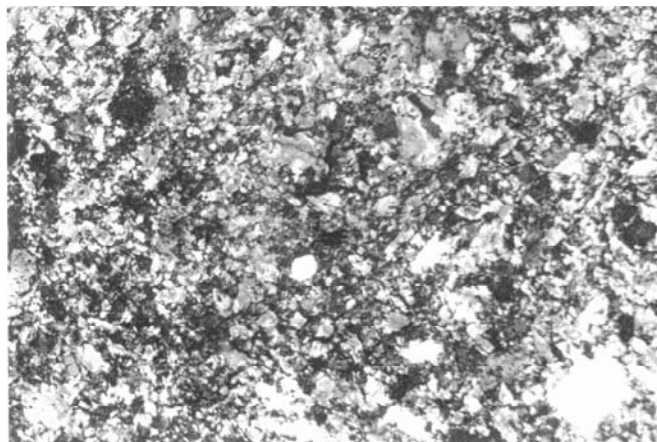
\* آنالیز نمونه‌های مختلف تورمالین به همراه فرمول ساختمانی آن که شامل نمونه‌هایی از رگه‌های کوارتز - تورمالین نیز می‌شود در جدول ۱ عرضه شده و در اینجا فقط تورمالین قلع دار ارائه گردیده است.

بعلاوه برای اندازه‌گیری میزان قلع در تورمالین رگه‌های کوارتز - تورمالین، تعداد ۱۴ نمونه از این کانی بوسیله الکترون میکروپروب مورد تجزیه قرار گرفت که از میان آنها ۷ نمونه حاوی مقادیر قلع کمتر از حد تشخیص آزمایشگاه (کمتر از ۲ ppm) بود و در ۷ نمونه دیگر این عنصر از ۲ ppm تا ۱/۶۲ درصد وزنی تغییر می‌کرد. نتایج تجزیه ۷ نمونه اخیر در جدول ۲ عرضه شده است.

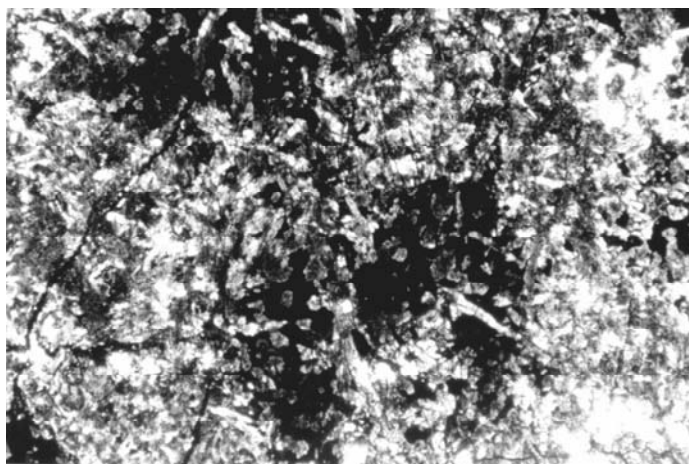
### شیمی تورمالین

ترکیب نمونه‌های تورمالین مورد مطالعه بر روی نمودار مثلثی  $Al_{50}Fe_{50} - Al - Al_{50}Mg_{50}$  (Grew et al., 1997) در شکل ۱۰ به نمایش گذاشته شده است. این نمونه‌ها عمدتاً غنی از آهن هستند و در واقع نوع شورل (schorel) می‌باشند. همچنین بعضی از نمونه‌های تورمالین رگه‌های کوارتز - تورمالین در زیر خط شورل - دراویت قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰). این حالت می‌تواند حاصل جانشینی Al بوسیله  $Fe^{+3}$  باشد. به عقیده تیلور و وال (Taylor and Wall, 1992) این جانشینی در یک محیط اکسیدان که شرایط تشکیل کاسیتريت نیز فراهم می‌گردد، بوقوع می‌پیوندد. مقایسه ترکیب شیمیایی تورمالین رگه‌ها و نمونه‌های گرانیتی (جدول ۱) نشان می‌دهد که تورمالین رگه‌ها از آهن غنی‌تر و از فلئور فقیرتر هستند. به منظور مقایسه ترکیب تورمالین‌های نمونه‌های مختلف گرانیت شاهکوه با داده‌های پیراژنو و اسمیتیس (Pirajno and Smithies, 1992)، این داده‌ها در نمودار  $FeO^*/(FeO^* + MgO)$  آورده شده و در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همانطوری که ملاحظه می‌شود کلیه نمونه‌های مورد مطالعه دارای نسبت  $FeO^*/(FeO^* + MgO) > 0/6$  می‌باشند. پیراژنو و اسمیتیس (Pirajno and Smithies, 1992) تغییرات سیستماتیک نسبت  $FeO^*/(FeO^* + MgO)$  تورمالین‌های همراه با ذخایر گرمایی قلع و تنگستن جنوب آفریقا، نامیبیا و نیوزلند را مورد توجه قرار داده و دریافتند که این نسبت برای ذخایر درون گرانیتی (endogranitic) و سیستم‌های رگه‌ای که در فاصله‌های دورتری از منبع گرانیتی واقع شده‌اند، متفاوت است. به عقیده نامبردگان نسبت  $FeO^*/(FeO^* + MgO)$  تورمالین‌ها با فاصله گرفتن از منبع گرانیتی تغذیه‌کننده سیال کوچکتر می‌شود به طوری که این نسبت برای ذخایر درون گرانیتی‌ها که چسبیده به توده گرانیتی می‌باشند بین ۰/۸ تا ۱ و برای سیستم‌های رگه‌ای که در فاصله بیشتر از یک کیلومتر از منبع تغذیه‌کننده سیال قرار دارند کمتر از ۰/۶ می‌باشد. به این ترتیب با توجه به مقدار  $FeO^*/(FeO^* + MgO) > 0/6$  برای کلیه نمونه‌های تورمالین مورد مطالعه، فاصله رگه‌های حاوی این کانی‌ها از منبع تغذیه‌کننده

سیال کم‌ترازیک کیلومتر ارزیابی می‌گردد. در میان این نمونه‌ها، مقدار  $FeO^*/(FeO^* + MgO)$  برای نمونه 98177 معادل ۰/۹۳ و برای نمونه‌های 9890 و 9894 معادل ۰/۹۹ نشان دهنده کمترین فاصله آنها از منبع سیال ارزیابی می‌شود.

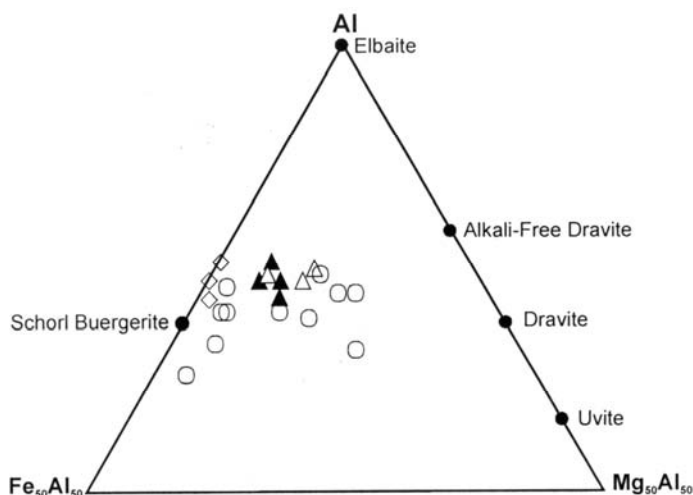


شکل ۸- مقطع میکروسکوپی از رگه‌های غنی از تورمالین با مقدار کم کوارتز در منطقه شاهکوه (بزرگنمایی ۸۰ برابر در PL).



شکل ۹- هم‌رشدی تورمالین با کانی‌های کدر (عمدتاً هیدروکسیدهای آهن) در رگه‌های کوارتز-تورمالین منطقه شاهکوه (بزرگنمایی ۸۰ برابر در PL).

پس از اطمینان از حضور قلع در ساختمان تورمالین به منظور اطلاع از نحوه توزیع این عنصر در ساختمان کانی میزبان، اقدام به تهیه عکس توزیع پرتو ایکس Sn از کانی‌های تجزیه شده گردید (شکل‌های ۱۲ و ۱۳). همانطوری که ملاحظه می‌شود قلع در ساختمان نمونه‌های تورمالین که حاوی مقادیر نسبتاً کمی از این عنصر می‌باشند، به صورت پراکنده در ساختمان این کانی حضور دارد (شکل ۱۲) اما در نمونه 1172 که حاوی حداکثر مقدار قلع در تورمالین‌های تجزیه شده می‌باشد (۱/۶۲ درصد وزنی)، این عنصر ادخال‌های ریز کاسیتريت را تشکیل داده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۰- ترکیب تورمالین‌های منطقه شاهکوه در نمودار مثلثی  $Al_{50}Fe - Al - Al_{50}Mg$ .  
 ○ رگه‌های کوارتز-تورمالین.  
 ▲ رگه‌های شبه پگماتیتی.  
 ◇ گرانیت گرایزنی شده  
 ♠ میکروگرانیت لوکوکرات.

### بحث و نتیجه‌گیری

**الف:** مطالعات صحرائی نشان می‌دهند که میکروگرانیت‌های تورمالین‌دار، دایکها و آپوفیزهای تورمالین‌دار و رگه‌های کوارتز-تورمالین عمدتاً در بخش‌های حاشیه‌ای توده گرانیتی مورد مطالعه رخنمون داشته و تعداد قابل توجهی از آنها سنگ‌های رسوبی میزبان توده گرانیتی را قطع نموده‌اند. کنکاشی در مطالعات گری و آنویتز (Grew and Anovits, 1997) نقش سنگ‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه را در تشکیل تورمالین این سنگ‌ها آشکار می‌سازد. به اعتقاد نامبردگان تورمالین اولین فازی است که با کاهش درجه حرارت از فاز آبگین تشکیل

می‌شود. مهمترین عناصر لازم برای تشکیل تورمالین، بعد از سیلیس، بر، آلومینیم، آهن و منیزیم است. برعنصری بسیار ناسازگار است که در طی تبلور بخشی درمذاب و سیال باقی مانده، متمرکز می‌شود. فعالیت (اکتیویته) آلومینیم در محیط از پارامترهای مهم در پایداری تورمالین است. لندن و همکاران (London *et. al.*, 1994) ضریب اشباع از آلومینیم (ASI) را برای پایداری تورمالین برابر ۳ تعیین نموده‌اند. این کانی درمذاب‌های بیوتیت‌دار متاآلومین حاوی کمتر از ۶ درصد  $B_2O_5$ ، ناپایدار است و برای پایداری آن مقدار ASI محیط باید به  $1/3$  تا  $1/4$  افزایش یابد. بدین ترتیب درجه اشباع از آلومینیم در محیط برای تشکیل تورمالین از پارامترهای مهم محسوب می‌شود. از طرفی فعالیت آلومینیم در کمپلکس‌های فلوئور دار پائین‌تر بوده و لذا پایداری تورمالین در مذاب‌های غنی از فلوئور ( $F > 1\% \text{ wt}$ ) به مقدار بیشتری بر (B) نیاز دارد. نگاهی به جدول ۱ نشان می‌دهد که گرانیته‌های گرایزنی شده تورمالین‌دار و بخصوص رگه‌های کوارتز-تورمالین حاوی مقدار قابل توجهی فلوئور (تا  $2/5$  درصد وزنی) می‌باشند. این مقدار بالای فلوئور نشان می‌دهد که احتمالاً آن مقدار از بر (B) که از طریق عدم ورود به ساختمان کانی‌ها در طی تفریق در فاز آبدگین تمرکز می‌یابد، برای تشکیل و پایداری تورمالین ناکافی بوده و احتمالاً بر مورد نیاز از منبع دیگری نیز تأمین شده است.

Acquisition Time : 04 April 2000 - 16::37

Images type : Beam

Acquisition size : 256,256

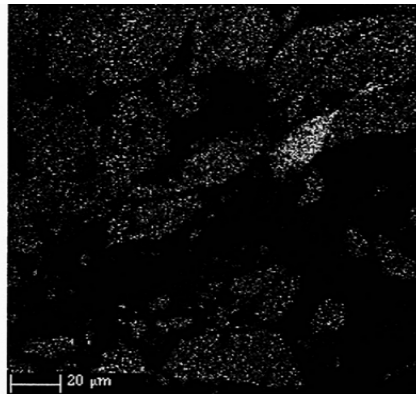
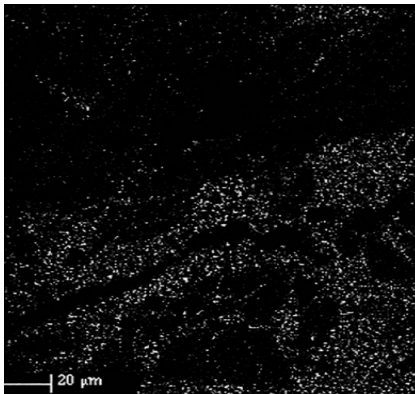
Beam Current: 20.0 nA, Acc. Voltage: 15.0 kV, Mag.: 600

X-Ray : Time = 1.000 ms, NbFrm = 1

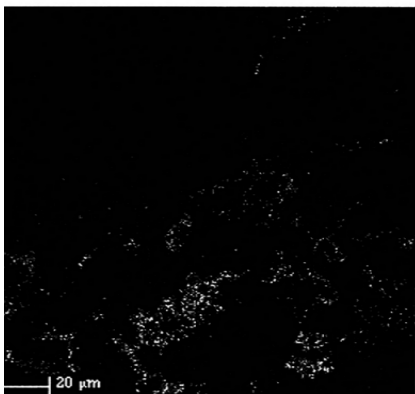
Video : NbPix = 1, NbFrm = 1

Fe-Ka (Sp3) - (0, 11)

Si-Ka (Sp2) - (0, 21)



Sn-La (Sp1) - (0, 9)



شکل ۱۱- تصویر تهیه شده به وسیله الکترون میکروپروپ از یک تورمالین در رگه های کوارتز- تورمالین منطقه شاهکوه. قلع به صورت بسیار ریز دانه و پراکنده در ساختمان این کانی دیده می شود.





شکل ۱۲- تصویر تهیه شده بوسیله الکترون میکروپروپ از یک تورمالین در رگه‌های کوارتز - تورمالین منطقه شاهکوه. اذخالی‌هایی باشکل نامنظم از بلورهای کاسیتريت در تورمالین دیده می‌شود.

این عنصر می‌تواند از طریق چرخش فاز سیال در سنگهای رسوبی مجاور تودهٔ گرانیتی از آنها شسته شده و در فاز آبگین تمرکز یابد. البته تأمین بور از طریق ذوب و هضم این سنگها نیز نباید از نظر دور نگهداشته شود. این بررسی نشان می‌دهد که نقش سنگهای میزبان تودهٔ گرانیتی در تشکیل رگه‌های کوارتز - تورمالین نباید نادیده گرفته شود، زیرا این سنگها هم در تأمین

Al و Mg, Fe مورد نیاز تشکیل تورمالین مؤثر بوده و هم در افزایش بور در سیال آبگین سازنده این کانی‌ها نقش داشته‌اند.

ب: در بررسی روابط صحرایی نمونه‌های مقایسه شده با مدل پیراژنو و اسمیتیس درمی‌یابیم که نمونه‌های 9890 و 9894 از گرانیت‌های گرایزنی شده بوده و نسبت‌های پایین (FeO\* / (FeO\*+MgO) آنها نشان دهنده ذخیره درون گرانیتی است که با واقعیت روی زمین کاملاً منطبق است (Piragno and Smithies, 1992). نمونه 98117 نیز که از لحاظ قلع غنی‌ترین نمونه می‌باشد (اسماعیلی، ۱۳۸۰)، مربوط به یکی از رگه‌های کوارتز - تورمالینی است که در محل کنتاکت تودهٔ گرانیتی با سنگهای میزبان رخنمون دارد. نمونه‌های 9869, 984 که کمترین مقدار (FeO\* / (FeO\*+MgO) را به خود اختصاص داده‌اند، مربوط به رگه‌های کوارتز - تورمالینی می‌باشند که در داخل توده گرانیتی و در فاصله حدود چند صد متری از سنگهای رسوبی میزبان رخنمون دارند. این مشاهدات ارتباط سیالات تورمالین ساز (حداقل برای رگه‌ها) را با سنگهای رسوبی میزبان تودهٔ گرانیتی و تأمین حداقل بخشی از عناصر سازنده آنها (Fe, Mg, B و Al) را تأیید می‌نماید. نمونه‌های 9752 و SB-10 به ترتیب مربوط به میکروگرانیتها و یک رگه شبه پگماتیتی در بخش جنوب شرقی توده است که سیال سازنده آنها احتمالاً با سنگهای میزبان کمتر ارتباط داشته است.

ج: در خصوص حضور قلع در ساختمان تورمالین قبلاً نیز محققین مختلف گزارشهای مشابهی را ارائه نموده‌اند. به عنوان مثال: تیلور (Taylor, 1979) معتقد است که تورمالین می‌تواند مقادیر متنوعی قلع را به عنوان یک عنصر فرعی در ساختمان خود جای دهد. پائِر (Power, 1968) حداکثر مقدار ۴۷۰ ppm قلع را در تورمالین گرانیت‌های قلع دار جنوب غرب انگلستان گزارش نموده است. نمک (Nemek, 1973) تعداد ۸۰ نمونه تورمالین را از محیط‌های مختلف مورد تجزیه قرار داد و دریافت که مقدار قلع در تورمالین نوع شورل پگماتیتهای معمولی کمتر از ۳۰ ppm و در انواعی که مربوط به مناطق قلع دار بودند به طور متوسط ۶۰ ppm است. نامبرده ۵۰ ppm و ۱۰۰ ppm قلع را به ترتیب در تورمالین‌های نوع شورل و تورمالین‌های لیتیم‌دار در پگماتیتهای غنی از لیتیم گزارش نمود. پکال و پاولو (Pacal and

(Pavelu, 1965) به وجود تورمالین با ۲ درصد وزنی قلع درهرنی‌بلانتای (Horni Blatna) کشور چک و اسلواکی اشاره نمود و حضور ادخالهای بسیار ریز کاسیتريت در این تورمالین‌ها را عامل بالا بودن مقدار قلع آنها دانستند.

به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که تورمالین رگه‌های کوارتز-تورمالین حاشیه توده‌گرانییتی شاهکوه حاوی مقدار قابل توجهی قلع می‌باشند. این عنصر گاهی اوقات به عنوان یک عنصر فرعی به صورت پراکنده در ساختمان کانی میزبان بوده و در مواردی نیز به صورت ادخالهای ریز کاسیتريت در ساختمان ریز این کانی حضور دارد. حالت اخیر نشان می‌دهد که تشکیل کاسیتريت مقدم بر تشکیل تورمالین بوده است.

### سپاسگزاری

هزینه این پژوهش از محل طرح تحقیقاتی شماره ۵۱۲/۱/۴۰۷ مصوب شورای محترم پژوهشی دانشگاه تهران تامین شده است که بدینوسیله از آن شورای محترم تقدیر و تشکر می‌گردد. همچنین نگارندگان این مقاله از آقایان دکتر فرید مر و دکتر جمشید حسن‌زاده اعضای محترم هیات علمی دانشگاههای شیراز و تهران که کمک قابل توجهی در انجام این پژوهش نموده‌اند صمیمانه سپاسگزارند. پروفسور ان ندلک و پروفسور ژان لوک بوشه اساتید دانشگاه پل ساباتیه شهر تولوز و پروفسور تیری ژوتو استاد دانشگاه برتانی غربی شهر برست کشور فرانسه زمینه انجام آزمایشهای الکترون میکروپروب را در کشور فرانسه مهیا نموده‌اند، که از ایشان نیز تشکر و قدردانی می‌گردد.

### References

- Bariand, P.; Issakhanian, V. and Sadrzadeh, M., 1965. Preliminary metallogenetic map of Iran: Geol. Survey Iran. Rep. 7.
- Esmaeily, D. and Valizadeh M.V., 2000. Origin of tin mineralization in the Shah-Kuh area, Eastern Iran, 31th International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil.
- Esmaeily, D., Nedelec, A. Valizadeh, M.V. Moore, F. and Cotten, J., 2000; Origin of tin mineralization in the Jurassic Shah-Kuh granite of Eastern Iran: Metallogeny 2000, Review and perspectives, Symposium in honour of the retirement of Bernard Poty. Nancy (France), 7-8 December 2000, Universite Henri Poincare, Nancy 1, France.
- Esmaeily, D., Bellon, H., Valizadeh, M.V. Hassanzadeh, J., and Juteau, T., The Shah-Kuh plutonic massif in Eastern Iran: isotopic chronology. submitted to C.R. Geoscience (Academie des sciences).
- Grew, E. S. and Anovitz, L. M., Editors, 1997. Boron mineralogy, petrology and geochemistry. Reviews in mineralogy, 33.

- London, D., Wolf, M. and Morgan, G. B. VI, 1994. Boron saturation in granitic magmas: Tourmaline – biotite- cordierite equilibria. *Geol. Soc. Am. Program Abstr.*, 26: A- 516.
- Movahhed-Avval, M., R. Ghasemipour, and M. Malakpour, 1971a. Mineral reconnaissance Survey in Sistan and Southeast Khorassan: *Geol. Survey Iran*, unpublished Rep., 82 p.
- Movahhed-Avval, M., N. Taghizadeh, and M. Malakpour, 1971b. Summary notes on preliminary mineral reconnaissance in eastern Iran: *Geol. Survey Iran*, unpublished Rep. 25 P.
- Nemec, D., 1973. Tin in tourmalines. *Neues Jahrbuch für mineralogie, Monatshefte*, 58-63.
- Pacal, Z. and Pavlu, D., 1965. Tin in tourmalines west of Horni Blatna. *Chemical Abstracts*, 62(1965): 5. 075c.
- Pirajno, F. and Smithies, R. H., 1992. The FeO/(FeO + MgO) ratio of tourmaline; a useful indicator of spatial variations in granite – related hydrothermal mineral deposits. *J. Geochem. Explor.*, 42:371-381.
- Power, G. M., 1968. Chemical variation in tourmaline from south- west England. *Mineralogical Magazine*, 36: 1078-1089.
- Slak, J. F. 1997. Tourmaline associations with hydrothermal ore deposits in: Grew, E. S. and Anovitz L. M. Editors, 1997. Boron, Mineralogy, petrology and geochemistry, *Reviews in mineralogy*, volum 33.
- Stoklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran. A review. *Am. Assoc.. Ret. Geol.*, 52: 1229-1258.
- Stoklin, J., Eftekhar-Nezhad, and J., Hushmand-Zadeh, A., 1972. Geological reconnaissance map of Central Lut, *Geol. Surv. Iran, Tehran, Rep. No. 22*.
- Taylor, H. P., 1979. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: Barnes, H. L. (ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd edition. Wiley, New York, 236-277.
- Taylor, J. R. and Wall, V. J., 1992. The behavior of tin in granitoid magmas, *Economic Geology*, 87: 403-420.

اسماعیلی داریوش، ۱۳۸۰. پترولوژی و ژئوکرونولوژی توده گرانیتی شاهکوه (شرق ایران) با نگرشی ویژه به کانه زایی قلع. رساله دکتری، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، ۲۹۶ صفحه

اسماعیلی داریوش، ولی زاده محمدولی، حسن زاده جمشید، اروه بلون، (۱۳۸۱)، تنوع سنگ شناختی در توده گرانیتی شاهکوه و تعیین سن آن به روش  $K - Ar$ ، فصلنامه علوم زمین، سال نهم، شماره ۴۲-۴۱.

اسماعیلی دهج، نادرعلی (مجری طرح)، ۱۳۷۴. پروژه طرح پی جویی قلع، مطالعات زمین شناسی واکتشافی کانسار قلع در ناحیه شاهکوه (منطقه دره خبیثی)، مرحله نیمه تفضیلی (۱:۱۰/۰۰۰)؛ مهندسين مشاور کان ایران.

اسماعیلی دهج، نادرعلی، (مجری طرح) ۱۳۷۵. گزارش نقشه زمین شناسی - معدنی کانسار قلع شاهکوه به مقیاس ۱:۲۰۰۰، مهندسین مشاور کان ایران

اسماعیلی دهج، نادرعلی (مجری طرح)، ۷۲-۱۳۷۱. پروژه طرح پی جویی قلع، بخش دوم: اکتشاف ژئوشیمیایی قلع در نواحی شاهکوه و چاه کلب (جنوب بیرجند- شرق ایران)، شرکت مهندسی پراکوه

اسماعیلی دهج، نادرعلی (مجری طرح) ۷۲-۱۳۷۱. پروژه طرح پی جویی قلع: مطالعات زمین شناسی و اکتشافی قلع در نواحی شاهکوه و چاپ کلب (جنوب بیرجند- شرق ایران)، بخش زمین شناسی و اکتشاف، شرکت مهندسی پراکوه

افتخار نژاد، جمشید (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ورقه بصیران، برگه شماره ۷۸۵۳، سازمان زمین شناسی کشور.

تدین اسلامی، ابوالحسن؛ لنکرانی، جعفر، ۱۳۵۳. گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی و کانیهای سنگین در ناحیه ده سلم (جنوب شرقی استان خراسان) سازمان زمین شناسی کشور.

سهندی محمدرضا (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ورقه ده سلم، برگه شماره ک-۹، سازمان زمین شناسی کشور.

مباشر امیر (۱۳۷۱)، اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک در منطقه ده سلم شاهکوه، فصلنامه علوم زمین، شماره ۲، صفحه ۲۲ تا ۳۵.