

# ژئوشیمی رگه کوارتز - تورمالین در توده گرانیتویدی باغو، دامغان، شمال خاور ایران

نویسنده: قاسم قربانی\* و حبیب الله قاسمی\*\*

\* دانشکده علوم زمین، دانشگاه علوم پایه دامغان، دامغان، ایران

\*\* دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۷/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۰۱/۲۰

## چکیده

گرانیتوید باغو واقع در جنوب خاور دامغان توسط رگه‌های کوارتز-تورمالین فراوانی با ستبرای حدود ۱ میلی متر تا ۳۰ سانتی متر قطع شده است. بر اساس مطالعات سنگ‌نگاری و تجزیه ریز کاو الکترونی، تورمالین‌ها از نوع شورلیت-دراویت-فونیتیت با تمایل به سمت شورلیت بوده و در گروه قلیایی و Vacancy قرار می‌گیرند. در مقایسه با ترکیب ایده آل شورلیت-دراویت، بسیاری از نمونه‌های تورمالین، دارای فضاهای خالی در موقعیت قلیایی و مقدار آلومینیم بالاتری هستند. افزایش آلومینیم در موقعیت اکتاهدال در تورمالین‌های مورد مطالعه، بازتابی از ترکیب جانشینی‌های پروتون زدایی (تبادل O-OH) و فضاهای خالی در موقعیت قلیایی است و نشان‌دهنده منشأ ماگمایی آنها است. در مقابل وجود منطقه‌بندی، رگه‌های بودن، مقدار منیزیم بالا در مقایسه با آهن در برخی نمونه‌ها و قرارگیری در محدوده خارجی و دور از بردارهای مربوط به تورمالین‌های ناقص از لحاظ قلیایی و پروتون زدایی، نشان‌دهنده منشأ گرمایی این تورمالین‌ها است. بنابراین، بر اساس این نتایج به نظر می‌رسد که رگه‌های تورمالین توسط تقابل سیال‌های غنی از بور ماگمایی - گرمایی از منشأ توده‌های گرانیتی-داسیتی با انواع سنگ‌های کوارتز-تورمالین و متاپلیتی-متاسامیتی میزان تشکیل شده‌اند.

**کلیدواژه‌ها:** رگه‌های تورمالین، گرانیتوید، ژئوشیمی، باغو، جنوب خاور دامغان.

## ۱- مقدمه

فراوان کوارتز-تورمالین به رنگ سیاه هستند. توده گرانیتی-گرانودیوریتی باغو با سن پس از انوسن و به گمان انوسن پسین-اولیگوسن، یکی از توده‌های گرانیتویدی متعددی است که در نوار ماگمایی این منطقه وجود دارد. توده گرانیتویدی باغو در دامنه شمالی این نوار ماگمایی واقع شده است. از نظر زمین‌ساختی این منطقه در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و در مرز شمالی کویر بزرگ واقع شده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). از دیدگاه خادمی (۱۳۸۶) و قربانی (۱۳۸۴) تکامل زمین‌ساختی و ماگمایی آن به احتمال مرتبط با گسل‌های تراکشی یا حوضه‌های کششی (Pull-apart) حاصل از دوران خرد قاره ایران مرکزی است. رگه‌های کوارتز-تورمالین در این توده با کانی‌زایی طلا همراه هستند و تاکنون مطالعات دقیق بر روی شیمی و زایش تورمالین انجام نشده است. بنابراین در این راستا، مطالعه و بررسی شیمی کانی‌های تورمالین رگه‌های کوارتز-تورمالین سنگ‌های گرانیتی توده باغو، برای پی بردن به منشأ آنها، هدف اصلی این مقاله است.

## ۲- انتخاب نمونه‌ها و روش تجزیه

پس از بررسی‌های صحرایی و پتروگرافی تعداد زیادی از مقاطع نازک، یک نمونه از مقاطع نازک صیقلی تورمالین از رگه‌های کوارتز-تورمالین سنگ‌های گرانیتی، برای مطالعه شیمی کانی‌های سازنده آنها توسط دستگاه ریز کاو الکترونی انتخاب شد. تجزیه نمونه‌ها با دستگاه ریز کاو الکترونی مدل CAMECA SX-50 در آزمایشگاه میکروسوند مرکز تحقیقات دریایی اروپا در فرانسه انجام شده است.

## ۳- زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه مورد مطالعه باغو در جنوب، جنوب خاور دامغان واقع است و بخش کوچکی از نوار زمین‌ساخت (تکتونو)-ماگمایی رشته کوه‌های طرود-رشم، واقع در شمال زون ساختاری ایران مرکزی را تشکیل می‌دهد. این نوار با روند شمال خاور-جنوب باختر، حوضه فرورفته کویر بزرگ واقع در جنوب ناحیه را از کویر چاه جم واقع در شمال آن جدا می‌کند. حجم اصلی سنگ‌های ماگمایی را در این نوار و در منطقه

تورمالین مهم‌ترین کانی بور (B) در سنگ‌های گرانیتی، پگماتیستی و انواع دیگر سنگ‌ها است. رگه‌های تورمالین دار اغلب با انواع مختلف نهشته‌های ماگمایی-گرمایی، شامل انواع رگه‌های مرتبط با سنگ‌های گرانیتویدی، گرازن، جانشینی، اسکارن، برشی پایینی و نهشته‌های پورفیری که منشأ اقتصادی برای عناصر Cu, Au, Mo, W و دیگر فلزات پایه‌اند، همراه هستند. زیرا رگه‌های تورمالین از این نوع، توسط تقابل سیالات ماگمایی-گرمایی غنی از بور با سنگ‌های میزبان مختلف، در مناطق گرانیتی تشکیل می‌شوند (Raith et al., 2004). تورمالین ممکن است به عنوان یک کانی اولیه ماگمایی تبلور شود و یا به عنوان یک کانی در شرایط انتقال از مرحله سولیدوس تأخیری (ماگمایی) تا ساب سولیدوس آغازی (گرمایی) تشکیل شود (Burianek & Novak, 2006). افزون بر این، تورمالین اغلب از سیال‌های ساب سولیدوس گرمایی حاصل از تبلور گرانیت‌ها و بویژه در همبری خارجی آنها تشکیل می‌شود. ترکیب شیمیایی تورمالین در سنگ‌های لوکوکراتیک گرانیتی به‌طور معمول محلول جامد شورلیت-دراویت-فونیتیت است. دراویت با مقادیر فرعی تا اصلی Ca و مقادیر متغیر Fe و F، تورمالین غالب در همبری خارجی و رگه‌های گرمایی است (Burianek & Novak, 2006). تورمالین یک کانی مفید برای مطالعه طیف وسیعی از سیالات کانه‌ساز است (Griffin et al., 1996).

فرمول پایه تورمالین به صورت  $(XY_3Z_6)(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$  است و جایگاه‌های آن توسط عناصر زیر اشغال می‌شوند (Hawthorne & Henry, 1999):

$X = Ca, Na, K \text{ or vacant}$ ;

$Y = Li, Fe^{2+}, Mg, Mn, Al, Cr^{3+}, Fe^{3+}, V^{3+}, Ti^{4+}$ ;

$Z = Mg, Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Cr^{3+}$ ;

$T = Si, Al, B$ ;

$B = B, (\text{vacant})$ ;

$V = OH, O$ ;

$W = OH, F, O$ .

سنگ‌های گرانیتویدی باغو واقع در جنوب خاوری دامغان (شکل ۱)، حاوی رگه‌های

در طی چندین مرحله توسط شرکت طلای ایران مورد اکتشاف و پی‌جویی قرار گرفته است. طلا در این معادن به صورت رگه‌ای در توده گرانیتوبیدی باغو و در سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارستان که در حدود ۳ کیلومتری جنوب باختر این توده واقع شده و همچنین به صورت پلاسری در آبرفت‌های رودخانه‌ای پایین دست ارتفاعات توده گرانیتی باغو وجود دارد. رگه و رگچه‌های سیلیسی تورمالین دار (شکل ۲-پ) در توده نفوذی گسترش دارند و طلا، کانه اصلی در بعضی از این رگه‌ها محسوب می‌شود (رشید نژاد، ۱۳۷۱). گسل اصلی باغو کم و بیش با روند N60E در همبری بلافصل شمال توده نفوذی باغو با رسوبات آبرفتی دشت شمال آن قرار داشته و رگه‌های کوارتز- تورمالین طلا دار تشکیل شده در گسل‌های فرعی و سیستم‌های شکستگی نیز، بیشتر از این روند پیروی می‌کنند. تورمالین به صورت رگچه‌ای، رگه‌ای، شعاعی و بیشتر به رنگ سیاه (شکل ۲-ت) در داخل سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی باغو مشاهده می‌شود. فراوانی تورمالین در رگه‌های مختلف فرق می‌کند اما بیشتر رگه‌ها در توده نفوذی غنی از تورمالین هستند و بیش از ۱۵ درصد آنها را تشکیل می‌دهند و بنابراین می‌توان به عنوان تورمالینیت در نظر گرفته شوند (Raith et al., 2004). اما پاراژنز کانایی بسته به شدت دگرسانی و سیال‌های کانه‌ساز در رگه‌های مختلف فرق می‌کند. از این رو پاراژنز کانایی در رگه‌های مختلف منطقه متفاوت بوده ولی به‌طور کلی از پیریت، کالکوپریت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (بویژه گوتیت و لیمونیت)، مالاکیت، آزوریت، فیروزه، کوارتز، طلا، آپاتیت، بیوتیت، مسکوویت و تورمالین تشکیل شده‌اند. پاراژنز اصلی تورمالین‌های مورد مطالعه از کوارتز، بیوتیت، مسکوویت، آپاتیت، تورمالین تشکیل شده است (شکل ۳-الف) و از رگه‌های بدون دگرسانی و نزدیک به حاشیه توده برداشت شده است. از ویژگی‌های خاص این تورمالین‌ها وجود چندرنگی (Polychroism) شدید قهوه‌ای و زرد است که نشان‌دهنده افزایش مقدار آهن در شبکه تورمالین است (شکل ۳-ب). با توجه به ترکیب شیمیایی تورمالین (جدول ۱) این مسئله تأیید می‌شود. در برخی نمونه‌ها در همبری رگه‌های کوارتز- تورمالین با سنگ میزبان، یک هاله کم رنگ از سنگ‌های گرانیتی تشکیل شده است (شکل ۴). علت این تغییر رنگ به دلیل جذب عناصر مافیک توسط تورمالین از سنگ میزبان است و در نتیجه باعث تشکیل یک هاله بدون کانی‌های مافیک در همبری تورمالین با سنگ‌های گرانیتی میزبان شده است.

از نظر اقتصادی به‌طور کلی در کانسار رگه‌ای باغو، طلا به صورت دانه‌های ریز به ابعاد ۱۰ تا ۶۰ میکرون و به صورت آزاد بیشتر در رگه‌های کوارتز- تورمالین تمرکز داشته و بیشترین تمرکز آن در رگه سیلیسی اصلی باغو، با عیار حدود ۶/۲ گرم در تن طلا و با روند N50-60E و شیب حدود ۷۵ درجه به طرف جنوب خاوری است (صفری و همکاران، ۱۳۷۵). بر اساس مطالعات انجام شده توسط رشید نژاد (۱۳۷۱)، تمرکز طلا در رگه کوارتز- تورمالین قدیمی (اصلی) است و همچنین مقدار عناصر  $Hg$  و  $As$ ،  $Sb$ ،  $Cu$ ،  $W$ ،  $Mo$  در این رگه‌ها به نسبت بالا است. صفری و همکاران (۱۳۷۵) و رشید نژاد (۱۳۷۱) بر اساس تجزیه‌های انجام شده، منشأ رگه‌های کوارتز- تورمالین طلا دار را بیشتر در ارتباط با وجود سامانه شکستگی‌ها و درزه‌ها از یک طرف و تأثیر سیال‌های پس فاز ماگمای دایک‌های پورفیری و توده‌های کوچک داسیتی و به میزان کمتر در ارتباط با سیال‌های توده‌های نفوذی نیمه ژرف که از این گذرگاه‌ها بالا آمده و بر سنگ‌ها اثر کرده‌اند، می‌دانند.

#### ۵- ترکیب شیمیایی تورمالین

شیمی تورمالین پیچیده بوده و در آن احتمال جانشینی‌های وسیعی وجود دارد. تبادل‌های عمده در موقعیت‌های  $X$ ،  $Y$ ،  $Z$  و  $OH$  ساختمان داخلی تورمالین رخ می‌دهند.

مورد مطالعه، سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن میانی و با ترکیب بازیک تا اسیدی تشکیل می‌دهند (شکل ۱). علاوه بر آن، سنگ‌های مختلف پرکامبرین تا ترشیری نیز در این رشته‌کوه‌ها بروزند دارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه را سنگ‌های دگرگونی منتسب به پیش از اردوویسین، به احتمال پرکامبرین (گنایس، آمفیبولیت و شیست) واقع در کوه شتر در خاور منطقه تشکیل می‌دهند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷؛ جعفریان، ۱۳۸۰). سنگ‌های رسوبی و دگرگونی پالئوزویک و نهشته‌های مزوزویک نیز در بخش‌های مختلف خاور، مرکز و باختر ناحیه بروزند دارند. شیست، ماسه‌سنگ دگرگونی، مرمر، سنگ آهک، دولومیت و متاولکانیک‌ها، مجموعه پالئوزویک را تشکیل می‌دهند. واحدهای مزوزویک نیز به‌طور عمده از شیست سیاه‌رنگ و ماسه‌سنگ‌های دگرگون شده تریاس و ژوراسیک و سنگ‌های کربناته کراتاسه تشکیل شده‌اند. این شیست‌ها در فاصله کمی در باختر و جنوب منطقه مورد مطالعه (توده گرانیتوبیدی باغو) رخنمون دارند و رگه‌های سیلیسی فراوانی نیز در آنها وجود دارد. مجموعه رسوبی- ماگمایی ترشیری بخش عمده ناحیه را می‌پوشاند. این مجموعه به‌طور عمده تناوبی از گدازه با ترکیب بازیک تا اسید و معادل‌های آتشفشانی- آواری آنها، که بیشتر به صورت برش‌های آتشفشانی و توف‌های آندزیتی است و سنگ‌های رسوبی شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سنگ آهک، مارن و نهشته‌های پلیو- کواترنری، تشکیل شده است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷؛ جعفریان، ۱۳۸۰).

چندین توده نفوذی استوک مانند نیمه ژرف با ترکیب کوارتز مونوزودیوریتی، کوارتز دیوریتی، مونزونیتی، کوارتز مونزونیتی، گرانودیوریتی و گرانیتی، به احتمال با سن ائوسن پسین- اولیگوسن، و همچنین گنبد‌های داسیتی کوچک به احتمال با سن اولیگوموسن، به داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی نفوذ کرده‌اند (قربانی، ۱۳۸۴). سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و توده‌های نیمه ژرف یاد شده توسط دایک‌های بازی تا حد واسط و باروند خاوری- باختری و شمال خاوری- جنوب باختری متعددی قطع شده‌اند. منطقه مورد مطالعه یعنی توده گرانیتوبیدی باغو (شکل‌های ۱ و ۲- الف) واقع در دامنه شمالی این نوار ماگمایی، یک توده نیمه ژرف بوده و ترکیب اصلی آن گرانیتی- گرانودیوریتی است و از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، فلدسپار قلبایی، کوارتز و بیوتیت و به مقدار کم از کانی‌های فرعی آپاتیت، زیرکن، تورمالین و کانی‌های کدر (Opaque) تشکیل شده است. ماهیت شیمیایی این سنگ‌ها متالومین تا پرالومین و از منشأ پوسته‌ای هستند (قربانی، ۱۳۸۴). رگه‌های کوارتز- بیوتیت- تورمالین فراوانی، این توده و سنگ‌های آتشفشانی را قطع کرده‌اند که سبب برای آنها از حد میلی‌متر تا چند ده سانتی‌متر تغییر می‌کند. درازای این رگه‌ها در توده باغو به چندین ده متر می‌رسد. درازای رگه اصلی در منطقه دارستان (در حدود ۳ کیلومتری جنوب باختر روستای باغو) در داخل سنگ‌های آتشفشانی تا ۷۰۰ متر است (صفری و همکاران، ۱۳۷۵).

گنبد‌های داسیتی (شکل ۲- ب) به همراه دایک‌های پورفیری قطع‌کننده آن که در بخش‌های مختلف خاور و جنوب ناحیه رخنمون دارند و به گمان آخرین فاز ماگمایی در ناحیه و از جمله در منطقه باغو هستند، به شدت دگرسان و کائولینیتی شده‌اند و کانی‌سازی فیروزه به همراه مجموعه کانایی پیریت، مالاکیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، سیلیس و تورمالین‌های خورشیدی یا شعاعی در آن تشکیل شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی میزبان را تناوبی از توف، برش و گدازه‌های بازالتی، آندزیتی و داسیتی تشکیل می‌دهند.

#### ۴- رگه‌های کوارتز- بیوتیت- تورمالین

اهمیت منطقه باغو به لحاظ وجود کانسار طلای معدن باغو و دارستان است و تاکنون

هستند و به عنوان شورلیت (عضو انتهایی  $(\text{NaFe}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{OH})$ ) و دراویت (عضو انتهایی  $(\text{NaMg}_3\text{Al}_6(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{OH})$ ) طبقه بندی می شوند (شکل ۹؛ Hawthorne & Henry, 1999). یک نمونه در مرز شورلیت- فوئیتیت و یک نمونه در محدوده فوئیتیت قرار می گیرد. نمونه‌ها بین ۴ تا ۵۸ درصد فضای خالی در موقعیت X دارند (جدول ۱) و این بیانگر آن است که عضو انتهایی تورمالین‌های X-site vacancy (فوئیتیت  $(\text{KFe}^{2+}\text{AlAl}_6(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{OH})$ ) اجزای مهمی در محلول جامد هستند (Bleeker et al., 2006).

Pirajino & Smithies (1992) نسبت‌های  $\text{Fe}\# = \text{FeO} / (\text{FeO} + \text{MgO})$  در برابر درصد وزنی  $\text{MgO}$  تورمالین‌های وابسته با کانی‌سازی قلع و قلع- تنگستن گرانیتهای جنوب افریقا- نامیبیا و نیوزیلند را مطالعه و بررسی کرده‌اند و دریافتند که تغییرات سیستماتیکی در مقدار  $\text{Fe}\#$  نهشته‌های درون گرانیتهی (Endogranite) و سامانه‌های رگه‌ای که در فاصله دورتری از منبع گرانیتهی جایگزین شده‌اند، مشاهده می‌شود. به طوری که این نسبت با فاصله گرفتن از منبع تغذیه کننده سیال، کوچک تر می‌شود (شکل ۱۰). این نسبت ( $\text{Fe}\#$ ) برای تورمالین‌هایی که در درون و نزدیک به توده گرانیتهی قرار دارند، بین ۱ تا ۰/۸ و برای تورمالین‌هایی که در سامانه‌های رگه‌ای و در فاصله نزدیک تا حدواسط (مساوی یا بیشتر از ۱ کیلومتر) قرار دارند بین ۰/۸ تا ۰/۶ تغییر می‌کند، در صورتی که این نسبت برای تورمالین‌های با فاصله دور، کمتر از ۰/۶ است (شکل ۱۰). با توجه به اینکه این نسبت برای بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۸ تا ۰/۶ می‌باشد و در قلمرو B این نمودار قرار می‌گیرند و در تعداد کمتری از نمونه‌ها این مقدار کمتر از ۰/۶ است و در قلمرو C قرار می‌گیرند (شکل ۱۰)، بنابراین فاصله رگه‌های کوارتز- تورمالین مورد مطالعه، از منبع تغذیه کننده سیال آنها دست کم ۱ کیلومتر و بیشتر است. دو نمونه در قلمرو A واقع شده است که نشان‌دهنده فاصله نزدیک یا همجوار (Proximal) است. البته این موضوع (مورد اخیر) به علت کم بودن تعداد رگه‌های تورمالین تجزیه شده بایستی با احتیاط لحاظ شود.

به منظور بررسی وجود و یا نبود جانشینی عنصری در تورمالین‌های مورد مطالعه از نمودار  $X+Y$  در برابر  $Z$  (Trumbull & Chaussidon 1999) استفاده شد (شکل ۱۱). احتمال جانشینی‌های کاتیونی در تورمالین که منجر به تغییر ترکیبی آن می‌شود، در این شکل مشاهده می‌شود. این شکل بر اساس نمودار Manning (1982) و London & Manning (1995) است (Trumbull & Chaussidon, 1999). در این نمودار ترکیب شورلیت- دراویت نزدیک به مرکز نمودار، در  $Z = 6$  و  $(X + Y) = 4$  قرار می‌گیرند ( $X = \text{Ca} + \text{Na}$ ,  $Z = \text{total Al} + 1.33\text{Ti}$ ) و  $(Y = \text{Fe} + \text{Mg} + \text{Mn})$ . به نظر (Trumbull & Chaussidon 1999) تورمالین‌های گرمایی نسبت به شورلیت- دراویت از آلومینیم فقیرتر و تورمالین‌های گرانیتهی و پگماتیتهی از آلومینیم غنی‌تر هستند. همچنان که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در مقایسه با ترکیب شورلیت- دراویت، تعداد بیشتری از تورمالین‌های رگه‌های کوارتز- تورمالین منطقه مورد مطالعه از آلومینیم غنی‌تر هستند و نمونه‌های کمتری فقیرتر از آلومینیم هستند. به نظر (Trumbull & Chaussidon 1999) بالا بودن میزان آلومینیم نمونه‌ها می‌تواند حاکی از دو جانشینی زیر باشد که در این حالت می‌تواند آلومینیم را در موقعیت اکتاهدرال Y جای دهد:

- (۱) جانشینی  $\{(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Na}\} \square \text{Al}_1$ ، که نشان‌دهنده تورمالین‌های ناقص از لحاظ قلیایی است (علامت  $\square$  نشان‌دهنده فضای خالی در موقعیت X است) و
- (۲) جانشینی  $\{(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{OH}\} \text{AlO}_1$ ، که نشان‌دهنده تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون زدایی است.

با توجه به بالا بودن میزان آلومینیم در تورمالین‌های گرانیتهی و پگماتیتهی، جانشینی‌های مذکور در این نوع از تورمالین‌ها رخ می‌دهد و در این حالت نمونه‌ها در قلمرو بین دو

انواع کانی‌های تورمالین را می‌توان بر اساس میزان اشغال شدن موقعیت X، به سه گروه اصلی تورمالین‌های قلیایی، تورمالین‌های کلسیمی و تورمالین‌هایی که موقعیت X آنها خالی یا اشغال نشده است، تقسیم‌بندی کرد (Hawthorne & Henry, 1999). موقعیت X سه گروه اصلی تورمالین‌های قلیایی، تورمالین‌های کلسیمی و تورمالین‌های فضای خالی، به ترتیب توسط  $\text{Na}$ ،  $\text{Ca}$  و  $\text{K}$  (به معنی فضای خالی و فاقد پرشدگی توسط کاتیون‌ها)، اشغال شده‌اند.

بر اساس تقسیم‌بندی بالا، ترکیب تورمالین‌های مورد مطالعه در نمودار مثلثی  $\text{X-Site vacancy- Na+ (K) -Ca}$  (Hawthorne & Henry, 1999) در قلمرو تورمالین‌های قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵). این مسئله حاکی از بالا بودن مقدار سدیم و پتاسیم در مقایسه با کلسیم و فضای خالی در موقعیت X است. نمونه 2tو در مرز قلمرو تورمالین‌های قلیایی و X-Site vacancy و نمونه 39tو در قلمرو تورمالین‌های Vacancy (از نوع فوئیتیت، شکل ۵) قرار می‌گیرند.

شکل ۶ نیز نامگذاری تورمالین‌ها را بر روی نمودار مثلثی  $\text{Ca-Fe (total)-Mg}$  نشان می‌دهد (Henry & Guidotti, 1985). بر اساس این نمودار تورمالین‌های مورد مطالعه به عضو انتهایی شورلیت- دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورلیت تعلق دارند که این مسئله نشان‌دهنده زیاد بودن مقدار آهن در مقایسه با منیزیم در ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه است و به احتمال می‌تواند حاکی از وجود سیال‌های آبدار غنی از بور از منشأ ماگمایی (ماگمای مولد توده‌های گرانیتهی) و سپس گرمایی باشد (Burt, 1989). شورلیت در گرانیتهای و پگماتیتهای معمول تر است زیرا منیزیم در طی تبلور تفریقی در آنها تهی می‌شود. همچنین در این نمودارها، سنگ منبع تورمالین مشخص شده است. همان طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود بیشتر نمونه‌ها در قلمرو منشأ گرانیتهی فقیر از  $\text{Li}$  و پگماتیتهای وابسته به آن و تعدادی در قلمرو منشأ متاپلیت‌ها و متاپسامیت‌های فقیر از کلسیم و سنگ‌های کوارتز- تورمالین قرار می‌گیرند.

همان طور که اشاره شد بیشتر تغییرات ترکیبی در تورمالین در عناصر  $\text{Ca}$  و  $\text{Na}$  و فضاهای خالی در موقعیت X و جانشینی‌های  $\text{Fe - Mg - Al}$  بر روی موقعیت Y صورت می‌گیرد. شکل ۷ بر حسب نسبت  $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$  در برابر  $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$  (Hawthorne & Henry, 1999) است. در این نمودار تورمالین‌های مورد مطالعه در قلمرو شورلیت و دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورلیت قرار می‌گیرند. در این نمودار نمونه‌ها در امتداد یک روند کم و بیش منظم با تغییرات نسبت اتمی  $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$  از نزدیک ۱ تا ۰/۸ و  $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$  از ۰/۳ تا ۰/۸ رسم می‌شوند. در مقایسه با ترکیب ایده‌آل شورلیت- دراویت (شکل ۸، Trumbull & Chaussidon, 1999)، بسیاری از نمونه‌ها مقادیر بالاتری آلومینیم و فضاهای خالی در موقعیت قلیایی دارند و در مقابل تعدادی از تورمالین‌ها از کلسیم و منیزیم غنی‌تر و از آلومینیم فقیرترند. مطالعه نسبت‌های این عناصر در تورمالین‌های مورد مطالعه، همپوشانی خوبی با ترکیب گرانیتهای میزبان باغو نشان نمی‌دهند، به طوری که تغییرات نسبت  $\text{Fe} / (\text{Fe} + \text{Mg})$  در سنگ‌های گرانیتهی باغو بین ۰/۶۱ تا ۰/۷۴ و نسبت  $\text{Na} / (\text{Na} + \text{Ca})$  آنها بین ۰/۴۴ تا ۰/۷۰ است (قربانی، ۱۳۸۴). بنابراین، برحسب این اجزا، می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقدار این نسبت‌ها، در تورمالین‌ها بالاتر است و در نتیجه ترکیب تورمالین به طور کامل توسط سنگ میزبان گرانیتهی کنترل نمی‌شود.

از دیدگاه Henry & Dutrow (2001) نمودار مناسب برای تقسیم‌بندی تورمالین‌های غنی از آلومینیم ( $\text{Al} > 6\text{apfu}$ )، نمودار نسبت  $\text{X-site vacancy} / (\text{Na} + \text{X-site vacancy})$  در برابر  $\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe})$  است (شکل ۹). در این نمودار تورمالین‌های مورد مطالعه دارای ترکیب  $\text{Fe} + \text{Mg}$  حدواسط  $(\text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}) = 0.2 \text{ to } 0.7)$

عمده و از جمله طلا در منطقه مورد مطالعه شده است.

با توجه به شواهد موجود، تورمالین‌های مورد مطالعه دارای منشأ دوگانه ماگمایی و گرمایی هستند و وجود ساختمان منطقه‌ای در تورمالین (نقشه‌های اشعه ایکس، شکل ۱۲)، ترکیب گسترده (شورلیت- دراویت- فوئیتیت)، مقدار منیزیم بالا در مقایسه با آهن در برخی نمونه‌ها (تورمالین نوع دراویت)، رگه‌ای بودن و قرارگیری برخی از نمونه‌ها در قلمرو خارجی بردارهای مربوط به تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون‌ها و قلیایی‌ها نشان‌دهنده منشأ گرمایی و در مقابل مقدار آهن بیشتر در مقایسه با منیزیم در بیشتر نمونه‌ها (تورمالین نوع شورلیت)، آلومینیم بالا و قرارگیری برخی از نمونه‌ها در بین قلمرو بردارهای مربوط به تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون‌ها و قلیایی‌ها نشان‌دهنده منشأ ماگمایی تورمالین‌های مورد مطالعه است. بر اساس میزان تغییرات Ca-Fe (total)-Mg، نیز، تورمالین‌های مورد مطالعه از گرانیتوبیدهای فقیر از Li (توده‌های گرانیتی و داسیتی باغو) و از متاپلیت‌ها و متاسپاسمیت‌های فقیر از کلسیم (به‌احتمال سنگ‌های فیلیتی- شیبستی موجود در باختر و جنوب منطقه) منشأ گرفته‌اند.

### سیاسگزاری

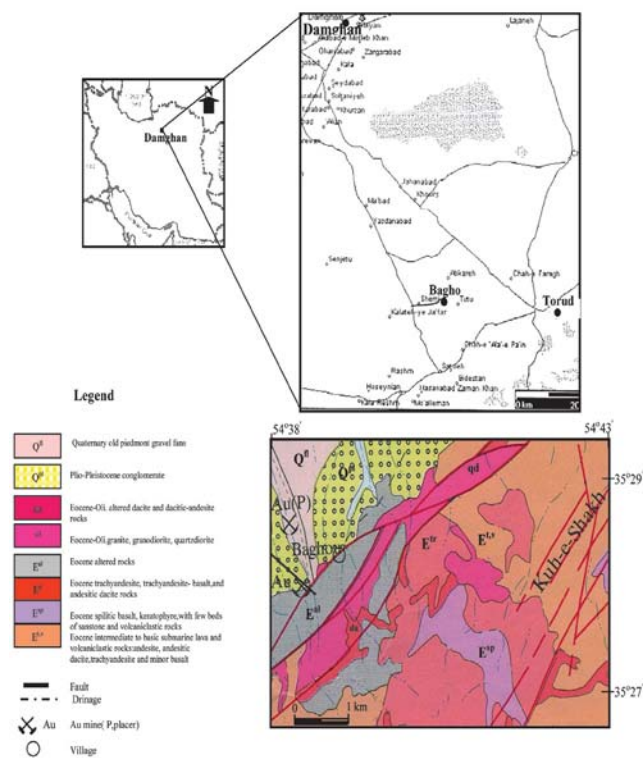
در اینجا لازم است از دانشگاه صنعتی شاهرود به سبب حمایت مالی از این تحقیق و جناب آقای دکتر خلیلی عضو هیات علمی دانشگاه اصفهان و سرکار خانم مهندس رجاییه به دلیل همکاری و در اختیار گذاشتن نرم افزار محاسبات کاتیونی تورمالین تشکر و سپاسگزاری کنیم. همچنین از پیشنهادی سازنده داوران محترم مجله در ارائه بهتر مقاله تشکر و قدردانی می‌شود.

بردار فوق قرار می‌گیرند. در مقابل در تورمالین‌های گرمایی که نسبت به تورمالین‌های گرانیتی و پگماتیونی از آلومینیم فقیرتر هستند، چنین جانشینی‌هایی صورت نمی‌گیرد و در این حالت نمونه‌ها در خارج از قلمرو بین این بردارها قرار می‌گیرند. همچنان که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، تورمالین‌های مورد مطالعه دوروند کاملاً مشخص را نشان می‌دهند. یک روند بر روی بردار تورمالین‌های ناقص از لحاظ قلیایی قرار می‌گیرند و آن را قطع می‌کنند و در عین حال به بردار تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون زدایی نزدیک و در واقع بین دو بردار قرار می‌گیرند. روند دیگر نیز در خارج از محدوده بین دو بردار و بالای بردار تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون زدایی واقع می‌شوند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که در نمونه‌هایی که در بین دو بردار تورمالین‌های ناقص از لحاظ قلیایی و پروتون زدایی قرار می‌گیرند، جانشینی‌های مذکور انجام و دلیل بر جانشینی آلومینیم اکتاهدری در این نوع از تورمالین‌ها و بیانگر منشأ ماگمایی آنها است. در مقابل نمونه‌هایی که در خارج از قلمرو بین دو بردار واقع می‌شوند گویای نبود جانشینی‌های مذکور و بیانگر منشأ گرمایی آنها است.

توزیع عناصر Mg، Fe، Ca و Al در نقشه‌های اشعه ایکس در شکل ۱۲ آمده است. همچنان که مشاهده می‌شود بلورهای تورمالین زون‌بندی هم‌مرکز دارند و تغییرات این عناصر نشان می‌دهد که مقدار عناصر Mg، Ti، Ca، K و Al از مرکز به طرف حاشیه کم و بیش یک روند افزایشی دارد و در مقابل Fe از سمت مرکز به حاشیه یک روند کاهشی نشان می‌دهد (جدول ۱، شکل ۱۲).

### ۶- بحث و نتیجه گیری

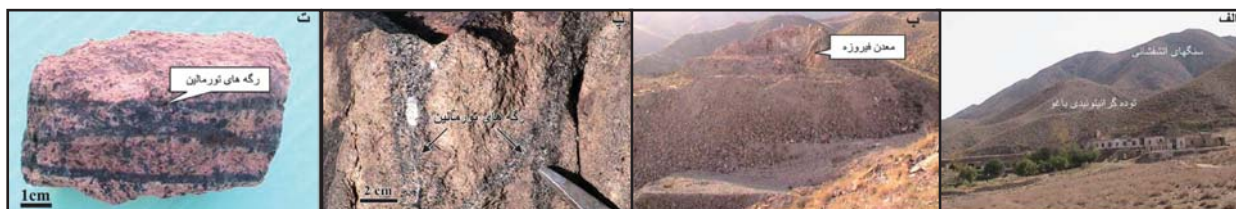
سنگ‌های گرانیتوبیدی باغو واقع در جنوب خاور دامغان، حاوی رگه‌های فراوان کوارتز- تورمالین به رنگ سیاه هستند. ترکیب این تورمالین‌ها در نمودار مثلثی Ca- Na (K)- X-Site vacancy- Na+ (Hawthorne and Henry, 1999) در قلمرو تورمالین‌های قلیایی و Vacancy قرار می‌گیرند. تورمالین‌های مورد مطالعه به عضو انتهایی شورلیت- دراویت- فوئیتیت با تمایل بیشتر به سمت شورلیت تعلق دارند که این مسئله نشان‌دهنده وجود سیال‌های آبدار غنی از بور از منشأ ماگمایی (ماگمای مولد توده‌های گرانیتوبیدی) و سپس گرمایی است. بررسی نسبت  $FeO / (FeO + MgO)$  نشان می‌دهد که این نسبت با فاصله گرفتن از منبع تغذیه کننده سیال کوچک‌تر می‌شود. با توجه به تراکم نقاط در قلمرو B این نمودار (شکل ۱۰) به نظر می‌رسد که نقش سیال فاز ماگمایی توده گرانیتی باغو در تشکیل رگه‌های کوارتز- تورمالین کم بوده و منبع تغذیه کننده آنها باید در فاصله دورتری از رگه‌ها قرار داشته باشند. عدم تطبیق کامل میزان  $Na / (Na + Ca)$  و  $Fe / (Fe + Mg)$  تورمالین با سنگ‌های گرانیتی نیز این مسئله را نشان می‌دهد. از طرفی ترکیب و ویژگی‌های شیمیایی، نشان‌دهنده منشأ ماگمایی این تورمالین‌ها و موقعیت نمونه‌ها در نمودار مثلثی Ca-Fe (total)-Mg نشان‌دهنده نقش عمده منشأ گرانیتی و پگماتیونی فقیر از لیتیم در تشکیل آنها است. بنابراین علاوه بر سیال فاز ماگمایی توده گرانیتی باغو، باید سیال فاز ماگمایی دیگری نیز در تشکیل آنها نقش داشته باشند که به احتمال، سیال‌های حاصل از آخرین فاز ماگمایی منطقه یعنی نفوذ توده‌های کوچک داسیتی و دایک‌های پورفیری پراکنده در منطقه هستند. بررسی و مقایسه توزیع فراوانی برخی عناصر مانند Au، Ag، Hg، Cu، W، Sb و As در رگه‌های کوارتز- تورمالین با توده گرانیتی باغو، سنگ‌های آتشفشانی و گنبدی داسیتی، نشان‌دهنده ضعف نسبی کانی‌سازی طلا و عناصر همراه در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی است (رشید نژاد عمران، ۱۳۷۱). ولی فراوانی این عناصر در رگه‌های تورمالین همخوانی خوبی با گنبدی داسیتی نشان می‌دهند و به نظر می‌رسد که نقش سیال‌های حاصل از فاز ماگمایی گنبدی داسیتی و دایک‌های پورفیری در تشکیل رگه‌های تورمالین بیشتر بوده و باعث کانی‌سازی



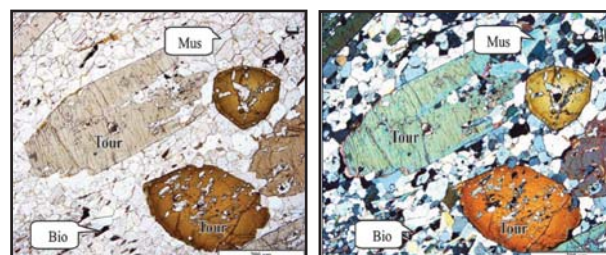
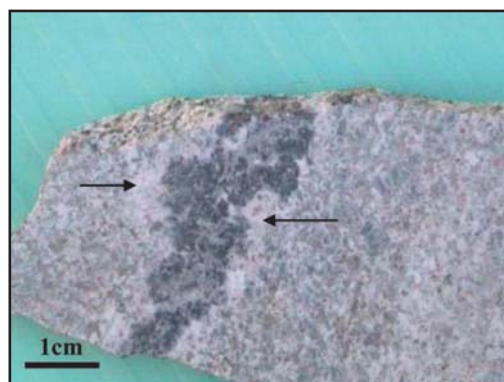
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، راه‌های ارتباطی و نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه باغو (اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اشرافی و همکاران، ۱۳۸۵).

جدول ۱- نتایج تجزیه ریز کاو الکترونی بلورهای تورمالین در رگه کوارتز- تورمالین توده گرانیتویدی باغو (بر حسب درصد وزنی و نسبت کاتیونی).

Sample	1tou core	2tou	3tou rim	5tou core	6tou	8tou	10tou rim	13tou core	14tou rim	33tou core	39tou rim	11tou core	14tou rim	16tou core	19tou rim
SiO <sub>2</sub>	36.11	33.96	36.53	37.61	36.45	37.20	36.66	35.41	36.79	35.68	66.54	34.26	36.12	35.28	37.27
TiO <sub>2</sub>	0.65	0.18	0.94	0.41	0.36	0.18	0.39	0.88	0.62	0.26	0.93	1.13	1.12	0.32	0.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.21	30.99	30.55	31.70	32.18	34.35	34.13	30.33	32.48	31.62	22.25	27.12	29.98	30.94	34.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.05	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.06
FeO	10.49	9.48	11.87	14.41	12.54	10.63	8.63	14.06	10.34	14.89	11.77	16.07	6.92	13.76	9.33
MgO	4.51	3.33	4.64	3.19	3.57	3.51	4.99	3.33	3.85	2.17	2.00	4.05	8.14	3.06	5.22
CaO	0.05	0.01	0.47	0.07	0.02	0.05	0.14	0.14	0.13	0.15	0.63	0.39	0.87	0.11	0.08
MnO	0.07	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00
Na <sub>2</sub> O	2.08	1.37	2.06	2.23	2.13	1.74	2.23	2.39	1.93	1.86	1.40	2.45	2.20	2.34	1.88
K <sub>2</sub> O	0.00	0.06	0.00	0.00	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.04	0.03	0.06	0.00
Structural formula based on 31 anions (O, OH)															
T: Si	6.039	6.037	6.035	6.080	6.011	6.005	5.918	5.977	6.043	6.008	7.881	6.284	6.477	6.715	6.885
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.082	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Z: Al	6.000	6.000	5.949	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	3.106	5.863	6.000	6.000	6.000
Mg	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.353	0.137	0.000	0.000	0.000
Y: Al	0.152	0.493	0.000	0.040	0.255	0.535	0.411	0.010	0.288	0.276	0.000	0.000	0.336	0.940	1.481
Ti	0.082	0.024	0.117	0.050	0.045	0.022	0.047	0.112	0.077	0.033	0.083	0.156	0.151	0.046	0.043
Cr	0.000	0.007	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.007	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.002	0.009
Mg	1.124	0.882	1.092	0.769	0.878	0.845	1.201	0.838	0.943	0.545	0.000	0.970	2.176	0.868	1.437
Mn	0.010	0.000	0.001	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.002	0.006	0.000	0.000
Fe	1.467	1.409	1.640	1.948	1.730	1.435	1.165	1.985	1.420	2.097	1.166	2.465	1.038	2.190	1.441
X: Ca	0.009	0.002	0.083	0.012	0.004	0.009	0.024	0.025	0.023	0.027	0.080	0.077	0.167	0.022	0.016
Na	0.674	0.472	0.660	0.699	0.681	0.545	0.698	0.782	0.615	0.607	0.322	0.871	0.765	0.863	0.673
K	0.000	0.014	0.000	0.000	0.011	0.004	0.000	0.000	0.000	0.004	0.014	0.009	0.007	0.015	0.000
Xvacancy	0.317	0.486	0.257	0.289	0.304	0.442	0.278	0.193	0.362	0.362	0.584	0.043	0.061	0.100	0.311
Fe#	0.566	0.615	0.600	0.716	0.663	0.629	0.492	0.703	0.600	0.793	0.768	0.718	0.323	0.716	0.500
Na/Na+Ca	0.986	0.995	0.888	0.983	0.994	0.983	0.966	0.969	0.963	0.957	0.800	0.919	0.821	0.975	0.976
Mg/Mg+Fe	0.443	0.384	0.399	0.283	0.336	0.370	0.507	0.296	0.399	0.206	0.232	0.282	0.677	0.284	0.499
Al(tot)	6.152	6.493	5.949	6.040	6.255	6.535	6.493	6.033	6.288	6.276	3.106	5.863	6.336	6.940	7.481
Ca+Na	0.683	0.474	0.743	0.711	0.685	0.554	0.722	0.807	0.845	0.634	0.402	0.948	0.932	0.886	0.689
Fe+Mg+Mn	2.601	2.291	3.543	2.717	2.614	2.280	2.366	2.823	2.363	2.651	1.166	3.437	3.220	3.058	2.878
Z	6.261	6.525	6.105	6.107	6.315	6.564	6.556	6.820	6.390	6.620	3.216	6.070	6.537	7.001	7.539
X+Y	3.284	2.765	4.286	3.428	3.299	2.834	3.088	3.630	3.208	3.285	1.568	4.385	4.152	3.944	3.567

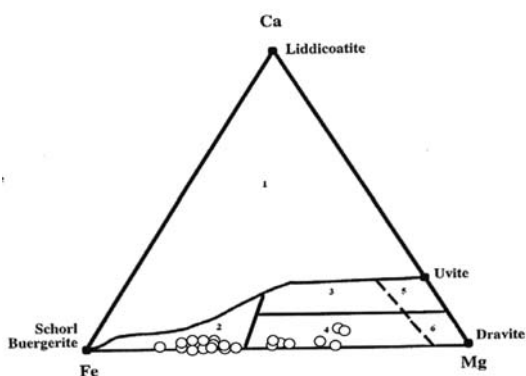


شکل ۲- الف) نمای دور از روستا و توده گرانیتویدی باغو، دید به سمت جنوب خاور، ب) معدن فیروزه در توده داسیتی، دید به سمت جنوب، پ) رگه‌های کوارتز- تورمالین در توده گرانیتی باغو و ت) رگه‌های غنی از تورمالین در نمونه دستی.

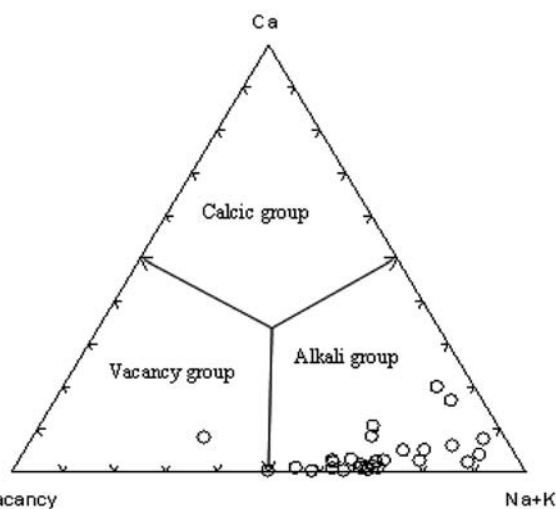


شکل ۳- الف) مقطع میکروسکوپی از رگه‌های کوارتز- تورمالین که در آن بلورهای درشت تورمالین در برش عرضی و طولی در زمینه بلورهای ریز کوارتز، بیوتیت و مسکوویت مشاهده می‌شود، در نور xpl و ب) وجود چندرنگی شدید قهوه‌ای در بلورهای تورمالین، در نور ppl. تورمالین: Tour، مسکوویت: Mus، بیوتیت: Bio.

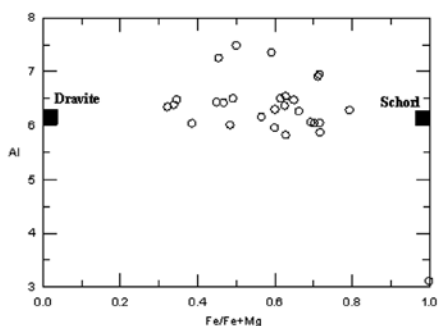
شکل ۴- وجود بخش هاله روشن در همبری سنگ گرانیتی و تورمالین در نمونه دستی که با فلش نمایش داده شده است.



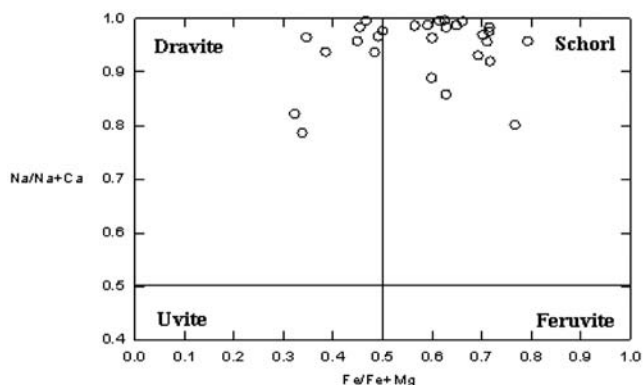
شکل ۶- نامگذاری و تعیین منشأ تورمالین‌های مورد مطالعه بر روی نمودار مثلثی Ca - Fe (total) - Mg (Henry & Guidotti, 1985). اعداد داخل نمودار شامل:  
 ۱- گرانیتویدهای غنی از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته و همراه با آن.  
 ۲- گرانیتویدهای فقیر از Li و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته و همراه با آن.  
 ۳- سنگ‌های متاپلیتی غنی از Ca، متاپسامیت‌ها و سنگ‌های سیلیکات کلسیمی.  
 ۴- متاپلیت‌های فقیر از Ca، متاپسامیت‌ها و سنگ‌های کوارتز- تورمالین.  
 ۵- متاکرنبات‌ها. ۶- متاولترامافیک‌ها.



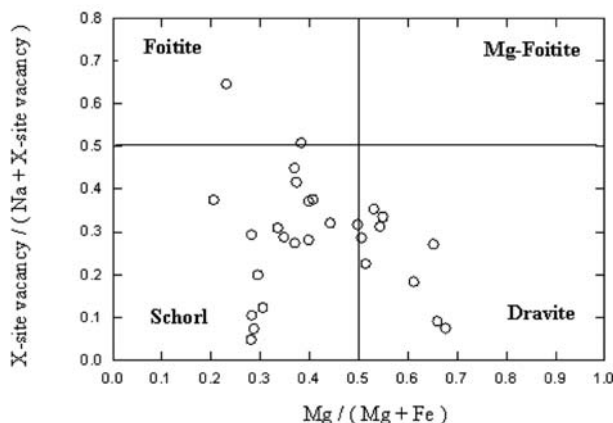
شکل ۵- ترکیب تورمالین‌های مورد مطالعه در نمودار مثلثی Ca ، Na + (K) و X-site vacancy (Hawthorne & Henry, 1999). بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو تورمالین‌های قلیایی قرار می‌گیرند و فقط یک نمونه در قلمرو گروه Vacancy واقع شده است.  $(X_{vac} (X_{vacancy}) = 1 - (Na + K + Ca))$ .



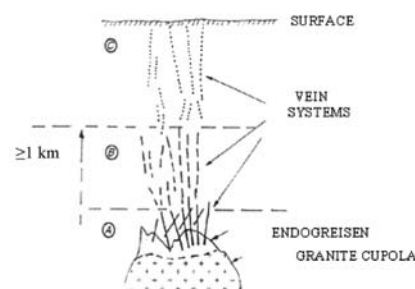
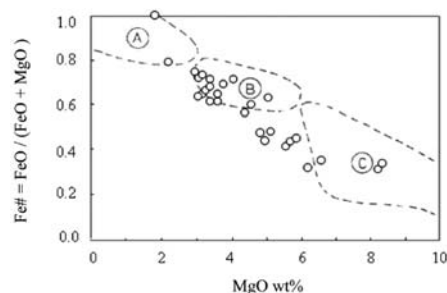
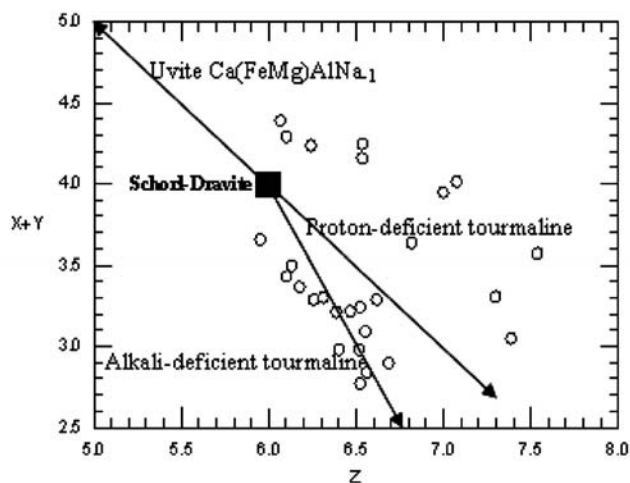
شکل ۸- نمودار Al در برابر نسبت Fe/ (Fe + Mg) (Trumbull & Chaussidon , 1999) و مقایسه ترکیب تورمالین‌های مورد مطالعه با ترکیب ایده آل شورلیت و دراویت. در مقایسه با شورلیت- دراویت تعداد بیشتری از نمونه‌ها غنی از آلومینیم و تعداد کمتری فقیر از آلومینیم هستند.



شکل ۷- نسبت Na / (Na + Ca) در برابر Fe/ (Fe + Mg) (Hawthorne & Henry, 1999) نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده شورلیت و دراویت و با تمایل بیشتر به سمت شورلیت قرار می‌گیرند.



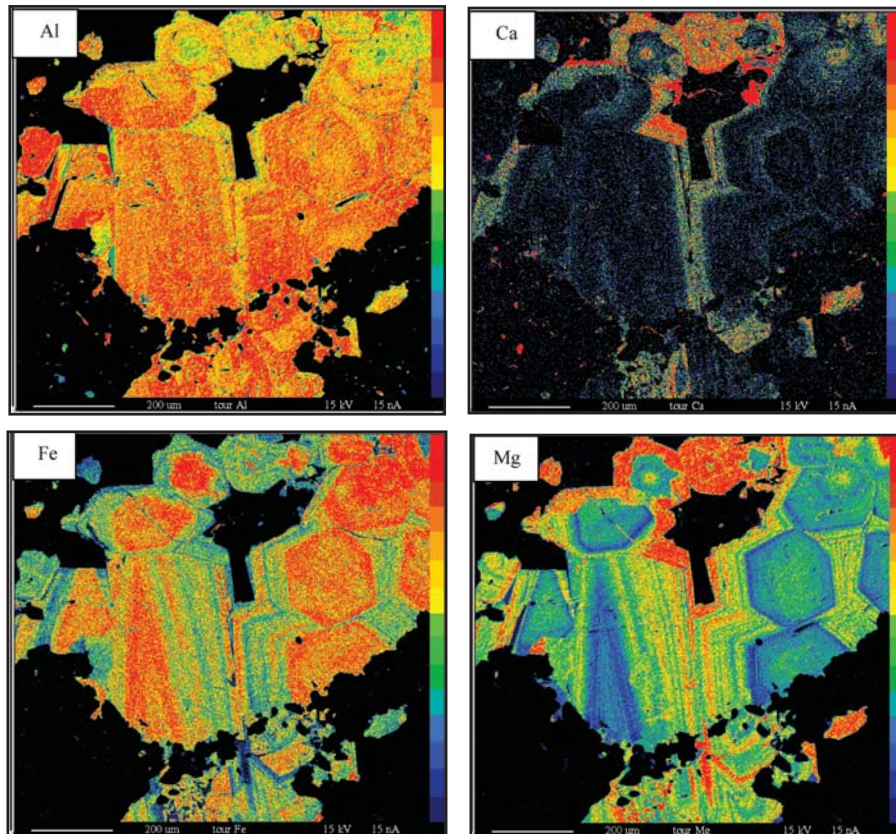
شکل ۹- نمودار نسبت X-site vacancy/ (Na + X-site vacancy) در برابر Mg/ (Mg + Fe) (Hawthorne & Henry, 1999). نمونه‌ها در قلمرو شورلیت- دراویت با تمایل به سمت شورلیت و دو نمونه در قلمرو فوئیتیت قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱- نمودار X+Y در برابر Z برای نمایش مکانیسم‌های جانشینی معمول در تورمالین (Trumbull & Chaussidon, 1999).

شکل ۱۰- نمودار نسبت  $Fe\# = FeO / (FeO + MgO)$  در برابر درصد وزنی MgO (Pirajino & Smithies, 1992) و موقعیت نمونه‌ها از منبع تغذیه‌کننده بر اساس تغییرات  $Fe\#$ . عمده تورمالین‌های مورد مطالعه در قلمرو B و سپس A و C قرار می‌گیرند.

شکل ۱۰- نمودار نسبت  $Fe\# = FeO / (FeO + MgO)$  در برابر درصد وزنی MgO (Pirajino & Smithies, 1992) و موقعیت نمونه‌ها از منبع تغذیه‌کننده بر اساس تغییرات  $Fe\#$ . عمده تورمالین‌های مورد مطالعه در قلمرو B و سپس A و C قرار می‌گیرند.



شکل ۱۲- نقشه‌های اشعه ایکس توزیع عناصر  $Al, Mg, Ca, Fe$  در تورمالین‌های مورد مطالعه که نشان‌دهنده آن است که بلورهای تورمالین دارای زون‌بندی متحدالمرکز هستند. نقشه‌ها با استفاده از ولتاژ شتاب‌دهنده 15 kV و جریان پرتو 15 nA به دست آمده است. شمارش در هر ثانیه برای هر عنصر اندازه‌گیری شده و در حاشیه سمت راست نقشه با استفاده از مقیاس رنگ، از سیاه تا قرمز به ترتیب برای شمارش‌های کم تا زیاد پلات شده است.

## کتابنگاری

- اشراقی س.ا.، و همکاران، ۱۳۸۵- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش معلمان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۹۶۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفریان، م.، ۱۳۸۰- نقشه زمین‌شناسی چهارگوش کلاته- رشم با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۸۶۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- خادمی، م.، ۱۳۸۶- ویژگی‌های ساختمانی و وضعیت زمین ساختمانی منطقه طرود. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۲۳۰.
- رشید نژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب جنوب خاور دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم، ص ۲۵۳.
- صفری، ج.، و همکاران ۱۳۷۵- مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی بر روی کانسارهای طلا در مناطق باغو و دارستان (تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰)، شرکت طلای ایران.
- قربانی، ق.، ۱۳۸۴- پترولوژی سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان. رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی، ص ۳۵۵.
- هوشمندزاده، ع.، و همکاران، ۱۳۵۷- تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه طرود (از پرکامبرین تا عهد حاضر). گزارش شماره H۵ سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۱۳۸.

## References

- Bleeken, G. V. D., Corteel, C., Haute P. V. D., 2006- Epigenetic to low-grade tourmaline in the Gdumont metaconglomerates (Belgium): A sensitive probe of its chemical environment of formation. *Lithos*, in press.
- Burianek, D., Novak, M., 2006- Compositional evolution and substitutions in disseminated and nodular tourmaline from leucocratic granites: Examples from the Bohemian Massif, Czech Republic. *Lithos*, in press.
- Burt, D.M., 1989 - Vector representation of tourmaline compositions. *American mineralogist*, 74, 826-839.
- Griffin, W.L. et al., 1996- Trace elements in tourmalines from massive sulfide deposits and tourmalines: geochemical controls and exploration applications. *Economic geology*, 91, 657-675.
- Henry, D. J., Guidotti, C. V., 1985- Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American mineralogist*, V70, 1-15.
- Henry, D. J., Dutrow, B.L., 2001- Compositional zoning and element partitioning in nikeloan tourmaline from a metamorphosed karstbauxite from Samos, Greece. *American mineralogist*, 86, 1130-1142.
- Hawthorne, F. C., Henry, D. J., 1999- Classification of the minerals of the tourmaline group. *European journal of mineralogy*, 11, 201-215.
- London, D., Manning, D. A. C., 1995- Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England. *Economic geology*, 90, 495-519.
- Manning, D. A.C., 1982- Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of Peninsular Thailand. *Mineralogical Magazine*, 45, 139-147.
- Pirajino, F., Smithies, R. H., 1992- The FeO / (FeO + MgO) ratio of tourmaline: A useful indicator of spatial variations in granite-related hydrothermal mineral deposits. *Journal of geochemical explorations*, 42, 371-381.
- Raith, J., et al., 2004- Boron metasomatism and behaviour of rare earth elements during formation of tourmaline rocks in the eastern Arunta Inlier, central Australia. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 147, 91-109.
- Trumbull, R.B., Chaussidon, M., 1999- Chemical and boron isotopic composition of magmatic and hydrothermal tourmalines from the Sinceni granite-pegmatite system in Swaziland. *Chemical geology*, 153, 125-137.