

مینرال شیمی و تعیین خاستگاه تورمالین‌های توده گرانیات-گنایس شمال شرق معدن ژان، استان لرستان

آرزو مرادی، ناهید شهبانیان بروجنی* و علیرضا داوودیان دهکردی
گروه زمین‌شناسی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران

چکیده

رخنمون توده گرانیات-گنایس میلونیتی بخشی از پهنه زمین‌ساختی سهندج-سیرجان است که در شمال شرق معدن سنگ ساختمانی ژان واقع شده است. بلورهای تورمالین این توده به رنگ کاملاً سیاه و به صورت لکه‌ای، لخته‌ای یا اجتماعی از دانه‌های ریز مشاهده می‌شود. بررسی تجزیه‌های ریزکاو الکترونی نشان می‌دهد تورمالین‌های بررسی شده دارای ترکیب شورل-دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورل هستند و از نظر خاستگاه به محیط‌های گرانییتی متعلق بوده و با خاستگاه ماگمایی متأثر از شرایط گرماب شکل گرفته‌اند. بررسی نحوه توزیع عناصر در ساختار تورمالین نشان می‌دهد، ترکیب شیمیایی میزبان عامل اصلی تأمین و توزیع کننده عناصر در ساختار تورمالین طی روند تفریق و همچنین، فرآیند گسترش گسلش و بالا آمدن توده گرانیوتئیدی است. تعدادی از مکانیسم‌های جانشینی غالب در ساختار تورمالین‌های مورد بررسی مطابق با بردارهای جایگزینی شامل: $(\text{Fe}^{2+} \text{Fe}^{3+}) (\text{Mg Al})_{-1}$ ، $^{\text{x}}\text{Ca}_1 \text{ } ^{\text{y}}\text{R} (\text{OH})_{-1}$ ، $^{+2}_1 \text{ } ^{\text{x}}\text{Na}_{-1} \text{ } ^{\text{z}}\text{Al}_{-1}$ ، $\square^{\text{x}} \text{Al} (\text{Na R}^{2+})_{-1}$ است. واژه‌های کلیدی: تورمالین، ترکیب کانیاپی، معدن ژان، پهنه سهندج-سیرجان

مقدمه

طبقه‌بندی کانی‌های جدید (CNMNCN) به دلیل این که آنها از دو یا تعداد زیادی عنصر تشکیل شده‌اند، این کانی را با اصطلاح زیرگروه تورمالین نامگذاری نمود (Henry *et al.*, 2011). فرمول اصلی تورمالین آغازین یا سلول ساختاری مطابق با نظریه Hawthorne و Henry (۱۹۹۹) به صورت $\text{X Y}_3 \text{ Z}_6 \text{ T}_6 \text{ O}_{18} (\text{BO}_3)_3 \text{ V}_3 \text{ W}$ است که موقعیت هم‌آرایی‌ها و عناصر اصلی در جایگاه‌های مختلف آن

کانی‌های زیرگروه تورمالین در دما و فشار متنوع دارای محدوده پایداری گسترده‌ای هستند. از این رو یک شاخص پتروژنتیکی مناسب برای تخمین شرایط دما، فشار و فوگاسیته اکسیژن محیط تشکیل است (Yavuz *et al.*, 2014). کمیته نامگذاری تورمالین (STN) کمیسیون انجمن کانی‌شناسی بین‌المللی در رابطه با نامگذاری و

* shabanian.nahid@nref.sku.ac.ir

مربوط به تاریخ سنگی که در آن یافت شده است را بهبود ببخشد (Henry and Guidotti, 1985). بر اساس بررسی‌های انجام شده توسط Moradi و همکاران (۲۰۱۴b) گرانیتهای میزبان کانی تورمالین مورد بررسی، آهن‌دار، پرآلومینوس تا اندکی متآلومینوس و کالک‌آلکالیک تا حدودی آلکالی و A-type هستند.

این گونه به نظر می‌رسد عناصری که از منابع سنگ‌های مافیک (منشأ گرفته از ماگماهای گوشته‌ای) در ساختار تورمالین تأمین می‌شوند عبارتند از: Ca, Co, Mg, Ni, Sc, Sr و V و عناصری که از منبع فلسیک (پوسته‌ای) توزیع می‌شود شامل: Al, Fe, Li, Na, Nb, Pb, REE, Ta و Zn است (Galbraith et al., 2009). از این رو ترکیب شیمیایی متنوع تورمالین نشان‌دهنده ارتباط بارز آن با محیطی است که در آن متبلور شده است (Jiang et al., 1995). در پهنه سنندج-سیرجان نیز بر روی خاستگاه بلورهای تورمالین سنگ‌های گرانیتوئیدی پژوهش‌هایی انجام شده است.

Tahmasebi و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی خاستگاه تورمالین‌های موجود در سنگ‌های آپلیتی، پگماتیتی و مونزوگرانیتهای منطقه بروجرد پرداخته و نتیجه گرفتند که همه آنها دارای منشأ ماگمایی هستند. بررسی شیمی-کانی بلورهای تورمالین در توده گرانیتوئیدی ملاطالب شمال الیگودرز نشان می‌دهد که آنها از نوع دراویت بوده، دارای خاستگاه متاپلیت و متاپسامیت هستند (Mansouri Esfahani and Khalili, 2014).

با توجه به اهمیت مطالب بیان شده، در این پژوهش با استفاده از نمودارها به بررسی دقیق

به قرار زیر است (Vincent et al., 2011):

Y: Mg^{2+} , Fe^{2+} , Al^{3+} , Li^{1+} , Ti^{4+} , Mn^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+}

T: Si^{4+} , B^{3+} , Al^{3+}

V: OH^{1-} , O^{2-}

X: Na^{+} , Ca^{2+} , □, K^{1+} , Pb^{2+}

Z: Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+}

B: B^{3+}

این فرمول گویای آن است که تورمالین تعداد زیادی از عناصر را در ساختار خود جای می‌دهد. به عنوان مثال: کاتیون‌های یک، دو، سه و چهار ظرفیتی و آنیون‌های یک و دو ظرفیتی به خوبی در محلول جامد در موقعیت‌های Y و Z گسترش یافته‌اند. مطابق با IMA-CNMNC، ۱۸ نوع از کانی‌های تورمالین به صورت گروه‌های آلکالی، کلسیک و گروه‌های تهیجایی (Vacant) معرفی شده است (Henry et al., 2011). اما به تازگی انواع دیگری شناخته شده است. مثل: Tsilaisite (Bosi et al., 2012), Fluor-elbaite (Bosi et al., 2012), Oxy-vanadium-dravite (Bosi et al., 2013), Oxy-dravite (Bosi and Skagby, 2013), Oxy-chromium-dravite (Bacik et al., 2013), Vanadio-oxy- و Oxy-schorl (Bosi et al., 2012) و ... اما در کل، بهترین کانی‌های شناخته شده در این زیرگروه دراویت، شورل و البائیت هستند (Dutrow and Henry, 2011). در نتیجه، دو نوع اصلی تورمالین وجود دارد: الف) تورمالین‌های حاوی لیتیوم (غنی از البائیت) و ب) تورمالین‌های حاوی Fe-Mg (شورل-دراویت).

در واقع، کانی تورمالین از لحاظ مکانیکی و شیمیایی بسیار پایدار است. بنابراین، هر دانه تورمالین می‌تواند به طور بالقوه اطلاعات مهم

مینرال‌شیمی و شرایط تشکیل تورمالین‌های موجود در میزبان گرانیتوئیدی شمال‌شرق معدن ژان می‌پردازیم.

زمین‌شناسی منطقه

توده گرانیتوئیدی حاوی کانی تورمالین مورد مطالعه، جزیی از پهنه زمین‌ساختاری سنندج-سیرجان بوده (Stocklin, 1968) و در استان لرستان، شمال‌غرب شهرستان ازنا و در شمال‌شرق معدن سنگ تزئینی ژان، در گستره‌ای به طول‌های جغرافیایی $49^{\circ}11'41''$ تا $49^{\circ}16'17''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ}36'35''$ تا $33^{\circ}38'12''$ شمالی و در نقشه زمین‌شناسی چهارگوش شازند به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ واقع شده است (شکل ۱-A و B). توده گرانیتوئیدی مورد بررسی دارای ظاهری سیگماگون است. توزیع و پراکندگی تورمالین در سراسر توده گرانیتوئیدی مورد بررسی به صورت یکنواخت نیست. به طوری که قسمت‌های مرکزی توده سیگماگون، محتوی تورمالین بسیار اندک بوده و در قسمت‌های باریک شده انتهایی سیگما، تورمالین‌ها با تمرکز و فراوانی بیشتر مشاهده می‌شوند.

از طرفی، در قسمت‌های پایین‌دست و کم ارتفاع توده، تورمالین بسیار نادر و کمیاب بوده و در قسمت‌های مرتفع دارای فراوانی بیشتری است. تورمالین‌ها در نمونه دستی با رنگ کاملاً سیاه و به صورت لکه‌ای، لخته‌ای یا اجتماعی از دانه‌های ریز و با حالت جهت‌یافته مشاهده می‌شوند. از طرفی، این کانی مقاوم دارای ظاهری خرد شده است و به صورت رگه‌ای یا همراه با کانی‌های حاصل از دگرسانی مشاهده نمی‌شود (شکل ۲).

با توجه به ویژگی A-type بودن این گرانیت‌ها،

آنها در محیط‌های تکتونیکی پس از برخورد، در حاشیه صفحه شکل گرفته‌اند و تشکیل آنها را به فعالیت‌های پس از برخورد پالئوتیس به اورازیا، طی تریاس بالایی-ژوراسیک زیرین و تورم آستنسفر، گسترش حرکات کششی پس از تصادم در پوسته و فرآیند ذوب در اثر بی فشار شدن آستنسفر و سنگ‌های آذرین پوسته تحتانی نسبت می‌دهند که در نهایت آرایش ماگماهای گوشته‌ای و پوسته‌ای را به همراه داشته است. افزون بر آن، گرانیت‌های میزبان شباهت زیادی به ترکیب میانگین پوسته و بازالت‌های جزایر قوسی دارند و در زیرگروه A2 قرار می‌گیرند (Moradi et al., 2014b).

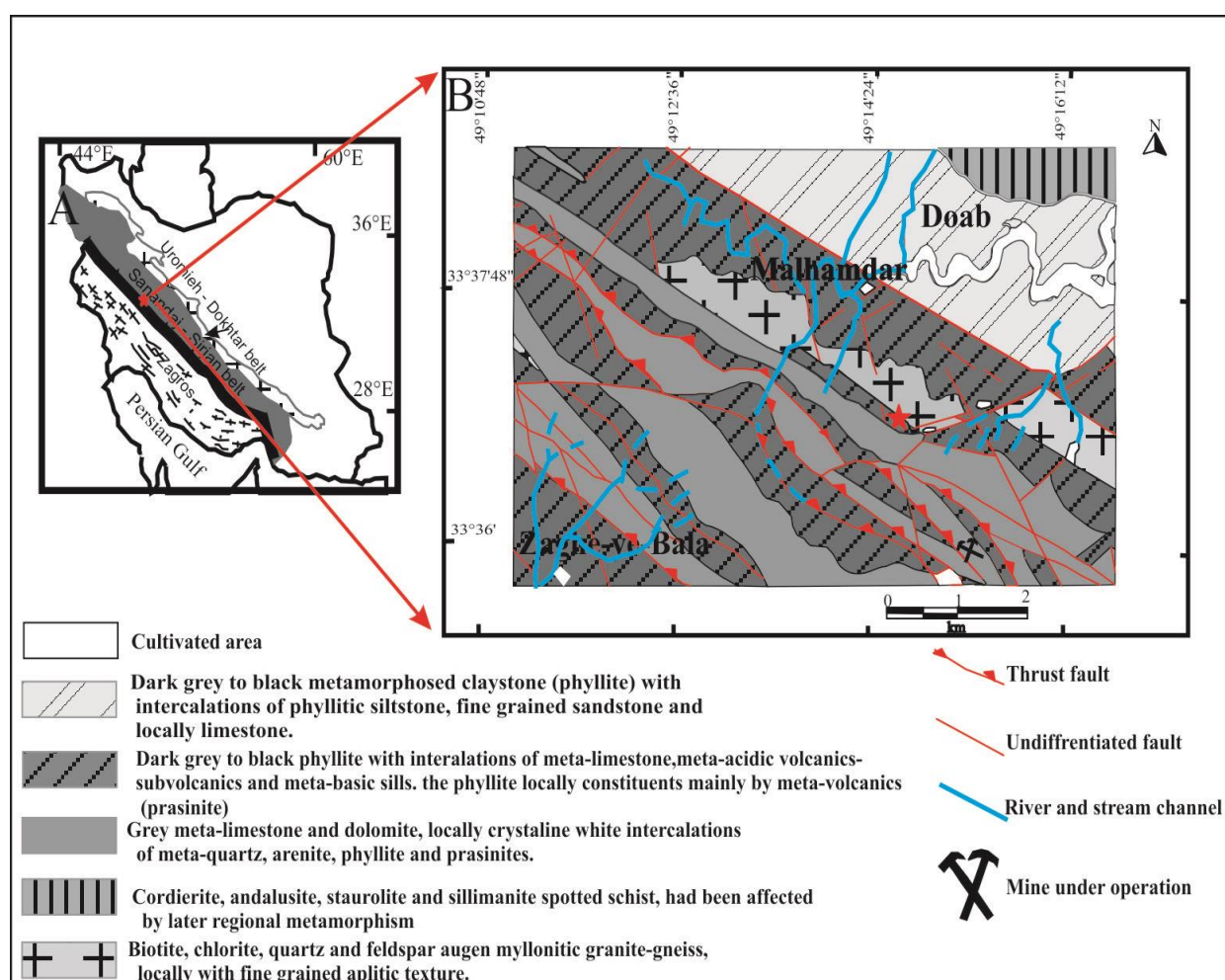
کمپلکس ژان، یک مرحله دگرشکلی شدید با راستای غرب، شمال‌غرب-شرق، جنوب‌شرق همراه با یک زون برشی بزرگ شکل‌پذیر با راستای مشابه را متحمل شده است. با توجه به راستای این پهنه برشی و توازی نسبی آن با تراست اصلی زاگرس به احتمال بسیار قوی متأثر از حوادث کوهزایی مرتبط با زاگرس است. این پهنه برشی شکل‌پذیر (پهنه برشی بزرگ کمپلکس ژان) به اعتقاد Mohajjel و همکاران (۲۰۰۳) از نوع راست‌گرد است.

از تأثیرات این پهنه برشی می‌توان به انتقال سنگ‌های با خاستگاه عمیق نظیر: سنگ‌های دگرگونی فشار بالا، آمفیبولیت‌ها و گرانیت‌های مورد مطالعه به طرف اعماق کم (Shabanian, 2009)، میلونیتی شدن سنگ‌های دگرگونی و آذرین موجود در این پهنه برشی که کم‌وبیش تحت تأثیر مرحله‌های دگرشکلی به ویژه مرحله اصلی حاکم بر منطقه میلونیتی شده‌اند (خرد شده) یا تغییر شکل یافته‌اند، اشاره نمود.

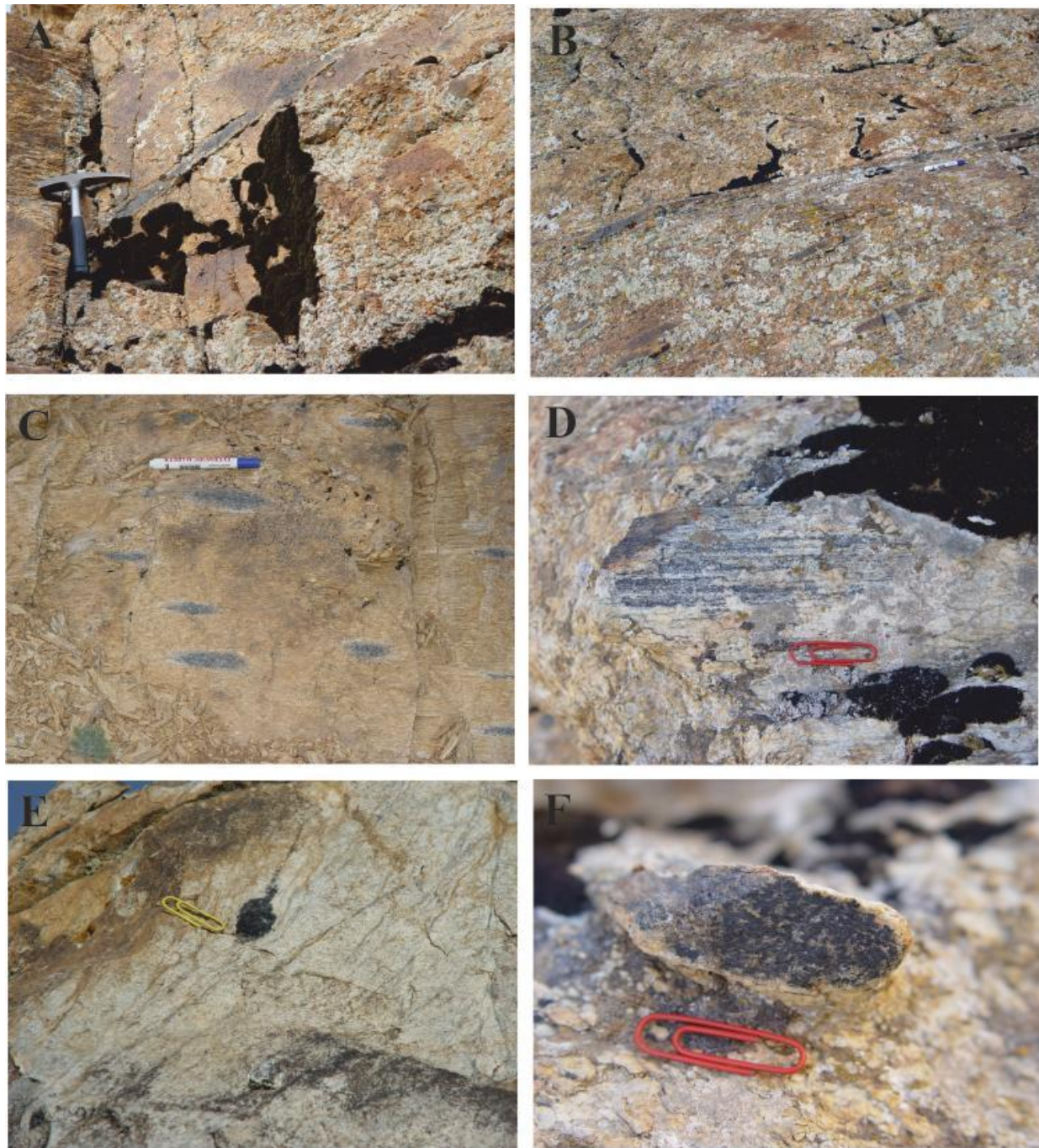
روش انجام پژوهش

به منظور بررسی ترکیب شیمیایی، نوع و تعیین خاستگاه تورمالین‌های توده‌ی گرانیتوئیدی شمال‌شرق معدن ژان، ۳۰ نمونه سنگی حاوی تورمالین برداشت شد که از بین آنها پنج نمونه برای مقطع نازک تورمالین انتخاب گردید. سپس از بین آنها یک مقطع نازک صیقلی تهیه شد که روی دو بلور تورمالین به صورت پروفیل طولی

تجزیه کامل ریزکاو الکترونی انجام شد. سپس به منظور بررسی شیمی تورمالین‌های مورد نظر در آزمایشگاه گروه زمین‌شناسی دانشگاه اکلاهاسیتی آمریکا با یک سیستم Cameca SX50 تحت شرایط ۱۵ کیلو ولت و ۱۰ ثانیه زمان شمارش، در ۴۸ نقطه، تجزیه نقطه‌ای شدند. تعدادی از داده‌های حاصل از این تجزیه در (جدول ۱) ارایه شده است.



شکل ۱- A) توده گرانیتوئیدی تورمالین‌دار شمال‌شرق معدن ژان در پهنه ساندج-سیرجان ایران که با علامت ستاره نشان داده شده است و B) نقشه زمین‌شناسی ساده شده از توده گرانیتوئیدی تورمالین‌دار (بر گرفته از Sahandi و همکاران (۲۰۰۶) که با علامت ستاره نشان داده شده است.



شکل ۲- تورمالین‌های گرانیتوئید شمال شرق معدن ژان به صورت اجتماعی از دانه‌های ریز به رنگ سیاه، با حالت جهت‌یافته، به صورت لکه‌ای، لخته‌ای دارای ظاهری خرد شده.

شیمی کانی

تنوع شیمیایی در گروه تورمالین نشان‌دهنده تغییرات بردارهای ترکیبی در ترم‌های مختلف است. اغلب جانشینی‌ها در موقعیت X، Y و Z

اتفاق می‌افتد. مکانیسم‌های جانشینی در ساختار کانی تورمالین در جاهایی انجام می‌شود که کاتیون‌های دارای ظرفیت یکسان در یک موقعیت جایگزین می‌شوند. مثل ${}^{\text{y}}\text{Fe}^{2+} \leftrightarrow {}^{\text{y}}\text{Mg}^{2+}$ یا

Mg (۰ تا ۰/۳۷۵) و در موقعیت Y, Al (۰ تا ۰/۲۲۱) است. محتوای Al در موقعیت Y کمتر از محتوای Al موقعیت Z است که امکان دارد از بی‌نظمی‌های Mg صرف نظر شده باشد (Bosi and Lucchesi, 1993; Grice and Ercite, 2004; Ertl et al., 2010).

محتوای Cr در موقعیت Y (۰ تا ۰/۰۰۱) است. در این موقعیت تهی‌شدگی بارزی در مورد Ti مشاهده می‌شود (کمتر از ۰/۱۷ apfu). میزان Ti (۰/۲۱ تا ۰/۱۱۶)، Cr (۰ تا ۰/۰۰۴)، Fe^{2+} (۱/۳۵۵ تا ۱/۶۰۹)، محتوای Mn بسیار پایین (۰/۰۵ apfu)، میزان Mn (۰ تا ۰/۰۰۶) است. بیشترین میزان Mg در موقعیت Y مشاهده می‌شود. Mg (۱/۲۶۱ تا ۱/۴۳۲) بوده و در موقعیت X میزان Na (۰/۶۶۱ تا ۰/۷۶۷)، K (۰/۰۵ تا ۰/۰۱۴)، X-vacancy (۰/۰۸۴ تا ۰/۲۹۷) است.

بیشترین مقدار OH در موقعیت V مشاهده می‌شود. محتوای Ca و X-vacancy نقش مهمی در تهی شدن O موقعیت W ایفا می‌کند (Bacik et al., 2012) (شکل ۳-A).

کاتیون‌های دارای ظرفیت ناهمسان در موقعیت‌های X, Y و Z با یکدیگر جفت می‌شوند و جانشینی انجام می‌شود. مثل: $(^xR^{3+} + ^yR^{3+}) \leftrightarrow (^xR^{2+} + ^yR^{2+})$ (Foigt and Rosenberg, 1977). به عنوان مثال: بررسی ساختار شورل توسط Foigt و Rosenberg (۱۹۷۷)، Rosenberg و Foigt (۱۹۷۹) و yavuz و همکاران (۲۰۰۸) گویای آن است که بیشتر جاهای خالی در موقعیت X قرار دارد. توازن ظرفیت‌ها توسط جانشینی O^{2-} به جای OH^{-1} و F^{-1} یا به وسیله پروتون‌ها (Sinclair and Richardson, 1992) در موقعیت X انجام می‌شود. بنابراین، موقعیت Y در ساختار شورل پر شده است.

بر اساس نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی، توزیع و پراکندگی عناصر در موقعیت‌های مختلف در ساختار تورمالین مورد بررسی شامل: محتوای کاتیون‌های موقعیت Y (۲/۹۳۸ تا ۲/۹۹۳) y_{total} و کاتیون‌های موقعیت X ($x_{total}=1$) است. این تغییرات مقداری، نشان‌دهنده حضور جاهای خالی در موقعیت X است. میزان عناصر در موقعیت Z شامل: Si (۶/۰۰۷ تا ۶/۰۵۷)، Al (۵/۶۲۵ تا ۶)،

جدول ۱- تعدادی از نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی بلورهای تورمالین (به صورت استکیومتری محاسبه شده) در گرانی-گنایس میلونیتی شمال شرق معدن ژان (به صورت درصد وزنی و نسبت برخی از کاتیون‌ها).

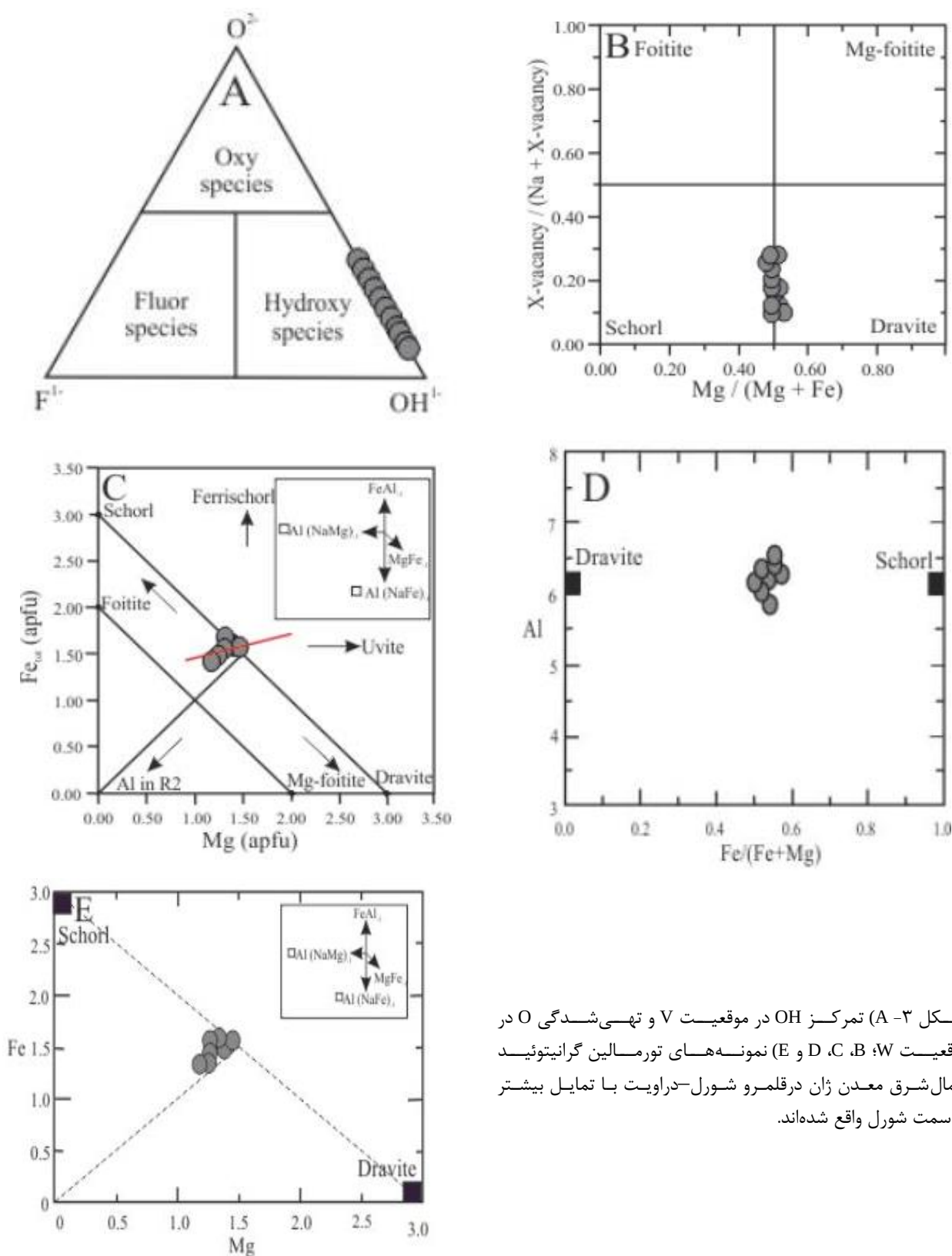
Sample	Tur-1	Tur-2	Tur-3	Tur-4	Tur-5	Tur-6	Tur-7	Tur-8	Tur-9	Tur-10
SiO ₂	35.42	35.10	35.18	34.83	34.67	35.00	35.08	35.27	35.29	35.23
TiO ₂	0.81	0.80	0.69	0.74	0.77	0.56	0.47	0.62	0.63	0.70
Al ₂ O ₃	29.44	29.41	29.87	29.25	29.18	30.44	30.51	29.85	29.59	29.31
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
FeO*	19.80	19.70	19.52	19.73	20.27	19.09	19.14	19.41	19.54	19.74
MnO	0.15	0.17	0.17	0.16	0.10	0.13	0.15	0.13	0.16	0.15
MgO	0.69	0.75	0.60	0.67	0.56	0.62	0.64	0.67	0.66	0.62
CaO	0.08	0.11	0.08	0.10	0.40	0.10	0.09	0.07	0.07	0.07
Na ₂ O	2.59	2.62	2.53	2.51	2.33	2.57	2.49	2.54	2.53	2.55
K ₂ O	0.06	0.05	0.06	0.07	0.09	0.06	0.06	0.08	0.07	0.06

Sample	Tur-1	Tur-2	Tur-3	Tur-4	Tur-5	Tur-6	Tur-7	Tur-8	Tur-9	Tur-10
ادامہ جدول ۱- ...										
Total	89.03	88.71	88.73	88.04	88.37	88.57	88.63	88.65	88.55	88.43
(apfu)[Si	6.028	6.040	6.032	6.029	6.019	6.035	6.055	6.051	6.031	6.029
Ti	0.083	0.080	0.080	0.116	0.029	0.086	0.068	0.059	0.021	0.036
Al	5.729	5.719	5.740	5.625	6.104	5.745	5.750	5.795	6.221	6.099
Cr	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000
Fe ⁽²⁺⁾	1.548	1.539	1.496	1.609	1.405	1.510	1.493	1.468	1.355	1.389
Mn	0.000	0.003	0.003	0.004	0.002	0.004	0.006	0.004	0.003	0.005
Mg	1.633	1.632	1.643	1.635	1.430	1.630	1.633	1.619	1.337	1.432
Ca	0.121	0.126	0.138	0.135	0.064	0.126	0.120	0.122	0.036	0.053
Na	0.754	0.755	0.762	0.767	0.684	0.729	0.747	0.731	0.661	0.677
K	0.011	0.009	0.010	0.014	0.006	0.012	0.008	0.010	0.006	0.006
Li	0.007	0.027	0.038	0.011	0.029	0.025	0.050	0.053	0.062	0.039
B](apfu)	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
(apfu)[Si(T	6.028	6.040	6.032	6.029	6.019	6.035	6.055	6.051	6.031	6.029
Total(T)](apfu)	6.028	6.040	6.032	6.029	6.019	6.035	6.055	6.051	6.031	6.029
(apfu)[Al(Z)	5.729	5.719	5.740	5.625	6.000	5.745	5.750	5.795	6.000	6.000
Cr(Z)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Mg(Z)	0.271	0.281	0.259	0.375	0.000	0.255	0.250	0.203	0.000	0.000
Total(Z)](apfu)	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000
(apfu)[Al(Y)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.104	0.000	0.000	0.000	0.221	0.099
Ti(Y)	0.083	0.080	0.080	0.116	0.029	0.086	0.068	0.059	0.021	0.036
Cr(Y)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
Fe ²⁺ (Y)	1.548	1.539	1.496	1.609	1.405	1.510	1.493	1.468	1.355	1.389
Mn(Y)	0.000	0.003	0.003	0.004	0.002	0.004	0.006	0.004	0.003	0.005
Mg(Y)	1.362	1.352	1.384	1.261	1.430	1.375	1.383	1.416	1.337	1.432
Total(Y)](apfu)	2.993	2.973	2.962	2.989	2.971	2.975	2.950	2.947	2.938	2.961
(apfu)[Ca(X)	0.121	0.126	0.138	0.135	0.064	0.126	0.120	0.122	0.036	0.053
Na(X)	0.754	0.755	0.762	0.767	0.684	0.729	0.747	0.731	0.661	0.677
K(X)	0.011	0.009	0.010	0.014	0.006	0.012	0.008	0.010	0.006	0.006
X-vacancy]	0.114	0.110	0.090	0.084	0.246	0.133	0.125	0.137	0.297	0.263
Total(X)(apfu)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
(%)[H ₂ O(c)	3.540	3.557	3.568	3.597	3.451	3.555	3.545	3.535	3.409	3.456
B ₂ O ₃ (c)	10.506	10.565	10.595	10.602	10.684	10.630	10.593	10.614	10.763	10.751
Li ₂ O(c)](%)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
(apfu)[OH	3.907	3.903	3.904	3.933	3.744	3.877	3.880	3.861	3.672	3.727
Total](apfu)	3.907	3.903	3.904	3.933	3.744	3.877	3.880	3.861	3.672	3.727

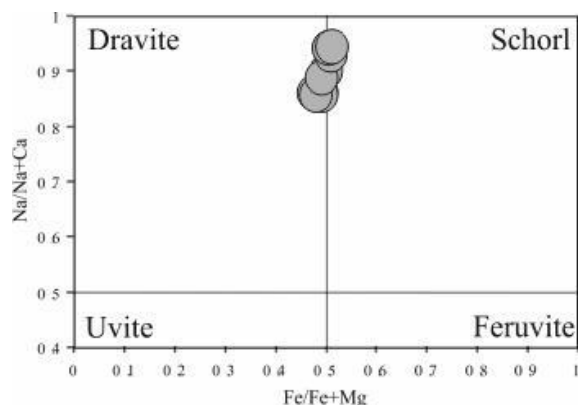
(1999 (شکل ۵). همانطور که در شکل مشاهده

به منظور بررسی واکنش‌های جانشینی در ساختار تورمالین مورد بررسی از نمودارهای مختلف کمک گرفته شده است که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

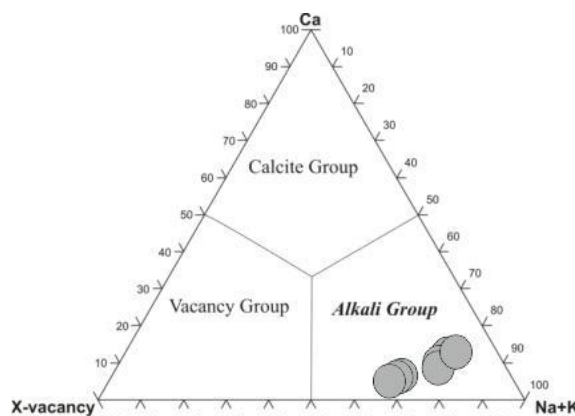
همچنین، به منظور بررسی تغییرات ترکیبی Ca ، Fe ، Mg و Na و ترکیب شیمیایی تورمالین‌ها، از نمودار دوتایی $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})$ و $\text{Na}/(\text{Na}+\text{Ca})$ استفاده شده است (Hawthorne and Henry,



شکل ۳- A) تمرکز OH در موقعیت V و تهی‌شدگی O در موقعیت W؛ B، C، D و E) نمونه‌های تورمالین گرانیتوئید شمال شرق معدن ژان در قلمرو شورل-دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورل واقع شده‌اند.



شکل ۵- ترکیب شیمیایی تورمالین‌های شمال شرق معدن ژان در نمودار دوتایی $Na/(Na+Ca)$ و $Fe/(Fe+Mg)$ از Hawthorne و Henry (۱۹۹۹) در موقعیت شوررلیت-دراویت با تمایل به سمت دراویت قرار می‌گیرند.



شکل ۴- در نمودار Hawthorne و Henry (۱۹۹۹) ترکیب تورمالین‌های منطقه شمال شرق معدن ژان، در موقعیت آلکان (قلیایی) قرار می‌گیرد.

بحث

متال‌آلومینوس بودن گرانیست میزبان و Al ($A/CNK > 1$) مورد نیاز برای تشکیل تورمالین از خود توده گرانیتوئیدی تأمین شده است (Ahmadi-Khalaji *et al.*, 2007). به منظور تشکیل گرانیتهای حاوی مقدار به نسبت بالای B و تورمالین‌های ماگمایی در مناطق برخورد قاره‌ای، به منابع غنی از B نیاز است (Leeman and Sisson, 2002). ممکن است مقدار در خور توجه B در مذاب‌های گرانیتوئیدی از طریق ذوب بخشی سنگ‌های دگرگونی محلی نظیر: گنایس‌های غنی از تورمالین در زیر زمین و عمق ایجاد شده باشد (Pesquera *et al.*, 2005).

به اعتقاد Weisbrod و همکاران (۱۹۸۶) هر چه از شرایط ماگمایی به سمت شرایط گرمایی نزدیک‌تر می‌شویم، تورمالین در مقدار بسیار پایین‌تر B و طیف گسترده‌تری از ترکیب‌ها نسبت به شرایط ماگمایی به وجود می‌آید. از آنجا که تورمالین‌های مورد بررسی فاقد ساختار منشوری هستند، بنا به اعتقاد London و Manning

کاهش Mg مذاب باقی‌مانده همراه با افزایش Al_2O_3 در ساختار کانی‌های تورمالین و سایر کانی‌های مافیک همراه با تورمالین انجام می‌گیرد. این امر نشان‌دهنده آن است که روند تفریق شامل: افزایش در FeO و MnO است (Moradi *et al.*, 2014a). میزان زیاد Mg در ساختار تورمالین، بیوتیت و سایر کانی‌های مافیک توسط ترکیب سنگ میزبان کنترل می‌شود. در صورتی که میزان اندک Mg در کانی‌های بیان شده در اثر کاهش درجه حرارت با پیشرفت روند تفریق و شکل‌گیری موسکوویت، بیوتیت و تورمالین همراه بوده که از طریق قانون فازها قابل تفسیر است (Abbott, 1985; Abbott and Clarke, 1979; Moradi *et al.*, 2014a; Pesquera *et al.*, 2013).

به منظور بررسی دقیق ژئوشیمی و با توجه به نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی، تورمالین‌های مورد بررسی دارای محتوی Al به مراتب بالایی هستند. با در نظر گرفتن ماهیت پرآلومینوس تا کمی

(۱۹۹۵) عدم وجود تورمالین‌های ماگمایی خودشکل و منشوری‌شکل در واحدهای سنگی، نتیجه کمبود B در ماگمای منشأ توده گرانیتوئیدی است. با توجه به بررسی‌های انجام گرفته توسط Moradi و همکاران (۲۰۱۴a) و با توجه به اولیه بودن تورمالین‌های مورد بررسی و افزایش محتوی B با پیشرفت روند تفریق طی شکل‌گیری کانی‌های موسکویت، بیوتیت و تورمالین کاهش می‌یابد (پس از تبلور تورمالین روند افزایش B طی مراحل انتهایی روند تفریق متوقف می‌شود که از طریق قانون فازها قابل تفسیر است). در واقع کاهش B در مراحل انتهایی تفریق گویای نزدیک شدن شرایط ماگمایی به شرایط گرمایی است. بنابراین، خاستگاه Al، B، Fe و Mg مورد نیاز برای تشکیل تورمالین از طریق توده گرانیتوئیدی میزبان تأمین می‌شود. از جمله ویژگی‌های تورمالین‌های ماگمایی نیز آن است که تورمالین‌های ماگمایی هموزن هستند و نسبت Fe/Mg و میزان Al و Fe در آنها بالا است (Hawthorne and Henry, 1999؛ Khalili and Mackizadeh, 2012).

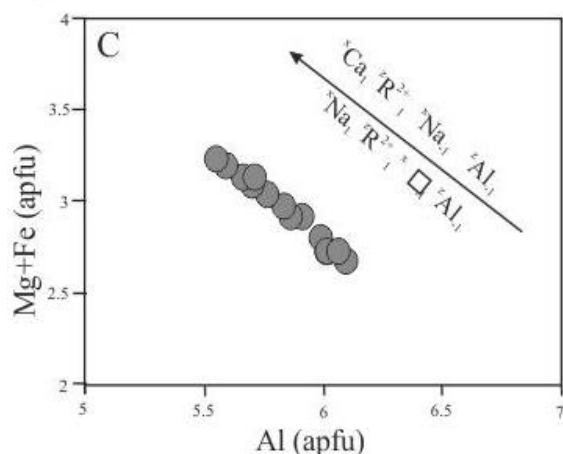
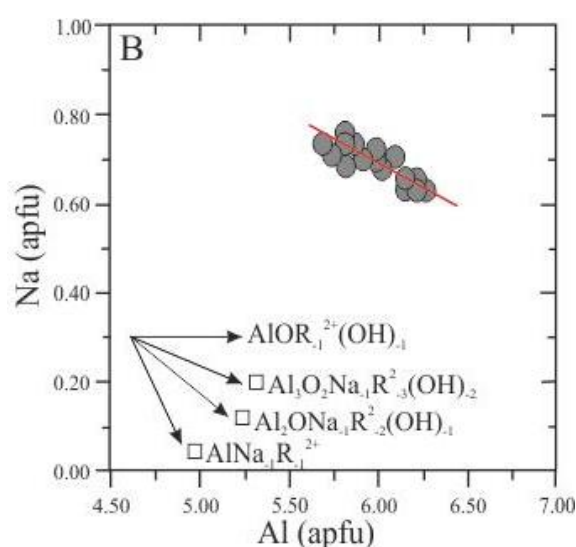
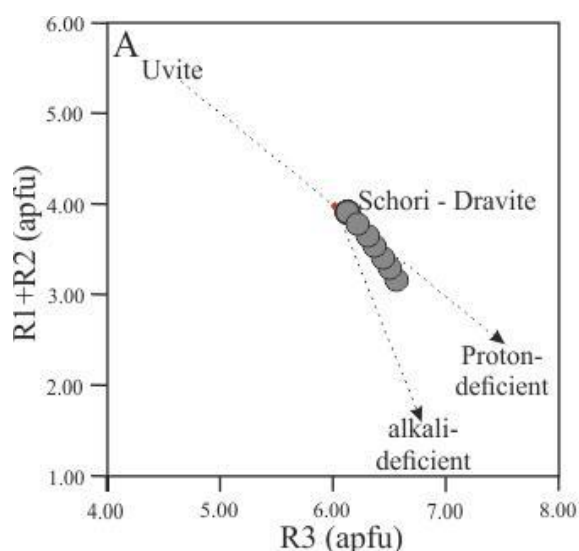
با وجود این که توزیع عناصر در تورمالین‌های مورد بررسی تقریباً به موازات برآیندهای دو بردارهای $MgFe_1$ و $FeAl_4$ قرار می‌گیرد، اما گویای حضور آشکار Al در موقعیت Y است که به مراتب نقش مهمی در طول رشد تورمالین ایفا می‌کند. همان‌طور که در (شکل ۳-C) مشاهده می‌شود، ترکیب شورل-دراویت روی خط $\Sigma(Fe+Mg)=3$ واقع شده است و در بالای شورل-دراویت نیز مؤلفه تبدیلی پوندراویت یا فریشورل وجود دارد. تمامی نمونه‌ها در گستره Mg کمتر نسبت به Fe و روند شورل-دراویت با تمایل بیشتر

به سمت شورل واقع شده‌اند. بنا به اعتقاد Cavarretta و Puxeddu (۱۹۹۰) ناهمخوانی بین Fe^{+2} و Mg در ساختار تورمالین به صورتی که Fe^{+2} محتوای بیشتری را نسبت به Mg نشان دهد از نشانه‌های تشکیل کانی تورمالین به وسیله شاره ماگمایی است. همچنین، در این نمودار همراه با کاهش $\Sigma(Fe+Mg)$ ، جانشینی Al در موقعیت Y افزایش می‌یابد. این جانشینی، از طریق $Al^{Y}O(R^{2+}OH)$ و $\square^{X}Al(NaR^{2+})_1$ انجام می‌شود ($R^{2+}=(Fe+Mg+Mn)$). یکسان‌سازی ظرفیت‌ها در نتیجه افزایش Al به وسیله افزایش در موقعیت X-vacancy انجام می‌شود (Bacik et al., 2012). این امر در نمودار Al در برابر $\square^{X}$ نشان داده شده و روند غالب جانشینی به صورت $\square^{X}Al(NaR^{2+})_1$ است (شکل ۷-B).

در نمودار R_1+R_2 در برابر R_3 (Manning, 1982) نمونه‌های تورمالین مورد بررسی روی بردار R_1+R_2 در نقطه بین ۳ تا ۴ (شورل-دراویت) و روی بردار R_3 بین ۶ تا ۷ و محدوده بین تورمالین‌های ناقص از لحاظ پروتون‌زدایی و ناقص از لحاظ آلکالی، با تمایل بیشتر به طرف ناقص از لحاظ پروتون‌زدایی قرار می‌گیرند. جانشینی $Al(R_3)$ گویای جانشینی Al‌های اکتائردی در ساختار تورمالین بوده و این امر نیز بیانگر منشأ ماگمایی برای تورمالین‌های مورد بررسی است (Rosenberg and Foit, 1979؛ Yavuz et al., 2008). (شکل ۶-A). با توجه به این نمودار، تورمالین‌های مورد بررسی دارای سرشتی ماگمایی هستند اما با توجه به ناهمخوانی بین Fe^{+2} و Mg، شاره ماگمایی نیز در شکل‌گیری تورمالین مورد بررسی دخیل بوده است. از آنجا که میزان Fe^{+2} بیشتر از Mg است، خاستگاه شاره مسؤؤل

برابری Al در برابر $Fe_{tot}+Mg+Mn+Ti$ و $X_{vacancy}+Al^*$ در برابر Na^*+Mg^* را درجایی که مقادیر $Al^*=Al+2Ti$ و $Na^*=Na+K$ است می‌توان به دست آورد (شکل ۷-۸ و ۷-۹). این به آن معنا است که روندهای جانمایی با افزایش $Mg+Fe$ ، Na و Ca همزمان با کاهش Al و $X-vacancy$ است و بیشتر جایگزینی‌ها به موازات بردار جایگزینی ${}^xCa_1{}^yR^{2+}_1{}^zNa_{-1}{}^zAl_{-1}$ و به مقدار کمتر ${}^yAl_1{}^xNa_{-1}{}^yR^{2+}_1{}^x$ انجام می‌شود (Buriánek et al., 2011) (شکل ۶-۸ و ۷-۹).

تورمالین‌زایی از ماگمای اصلی سازنده توده گرانیتوئیدی و بدون دخالت یک خاستگاه خارجی بوده است. علاوه بر مکانیسم‌های مبادله‌ای، اختلاط Al نیز به عنوان یکی از کنترل‌گرهای جانمایی در ساختار تورمالین به شمار می‌رود (Pesquera et al., 2013). رابطه منفی بین Al و Si ($Fe+Mg+Mn+Ti$) که شاخصی برای جانمایی $Al_2Si_{-1}R_{-1}$ است؛ حضور تتراندروهای Al در ساختار تورمالین را ثابت می‌کند (میزان R ، محتوای Mg و Fe_{tot} در نمایش برداری مرتبط با $FeMg_{-1}$ را نشان می‌دهد). از طرفی، رابطه منفی

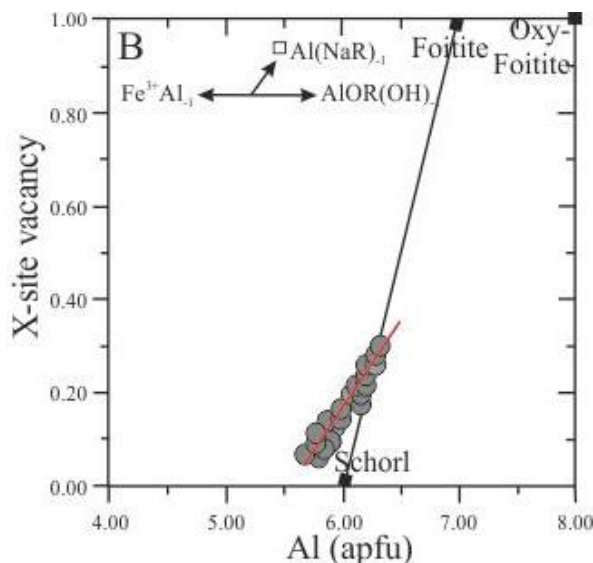
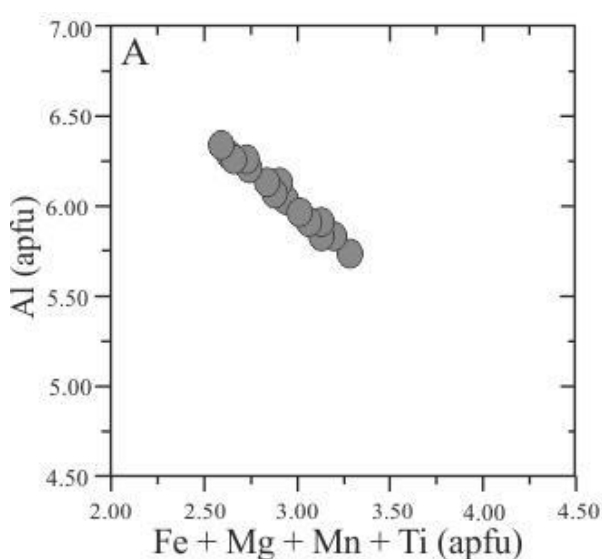


(شکل ۶-۸) تورمالین‌های گرانیتوئید شمال شرق معدن ژان در نمودار Manning (۱۹۸۲) در محدوده ناقص از لحاظ آلکالی و R_1+R_2 واقع شده‌اند. این امر بیانگر منشأ ماگمایی برای آنها است. (B) افزایش Na همراه با کاهش Al . (C) افزایش $Mg+Fe$ همراه با کاهش Al و $X-vacancy$ بوده و غالب جایگزینی‌ها به موازات بردار جایگزینی ${}^xCa_1{}^yR^{2+}_1{}^zNa_{-1}{}^zAl_{-1}$ و به مقدار کمتر ${}^yAl_1{}^xNa_{-1}{}^yR^{2+}_1{}^x$ انجام شده است.

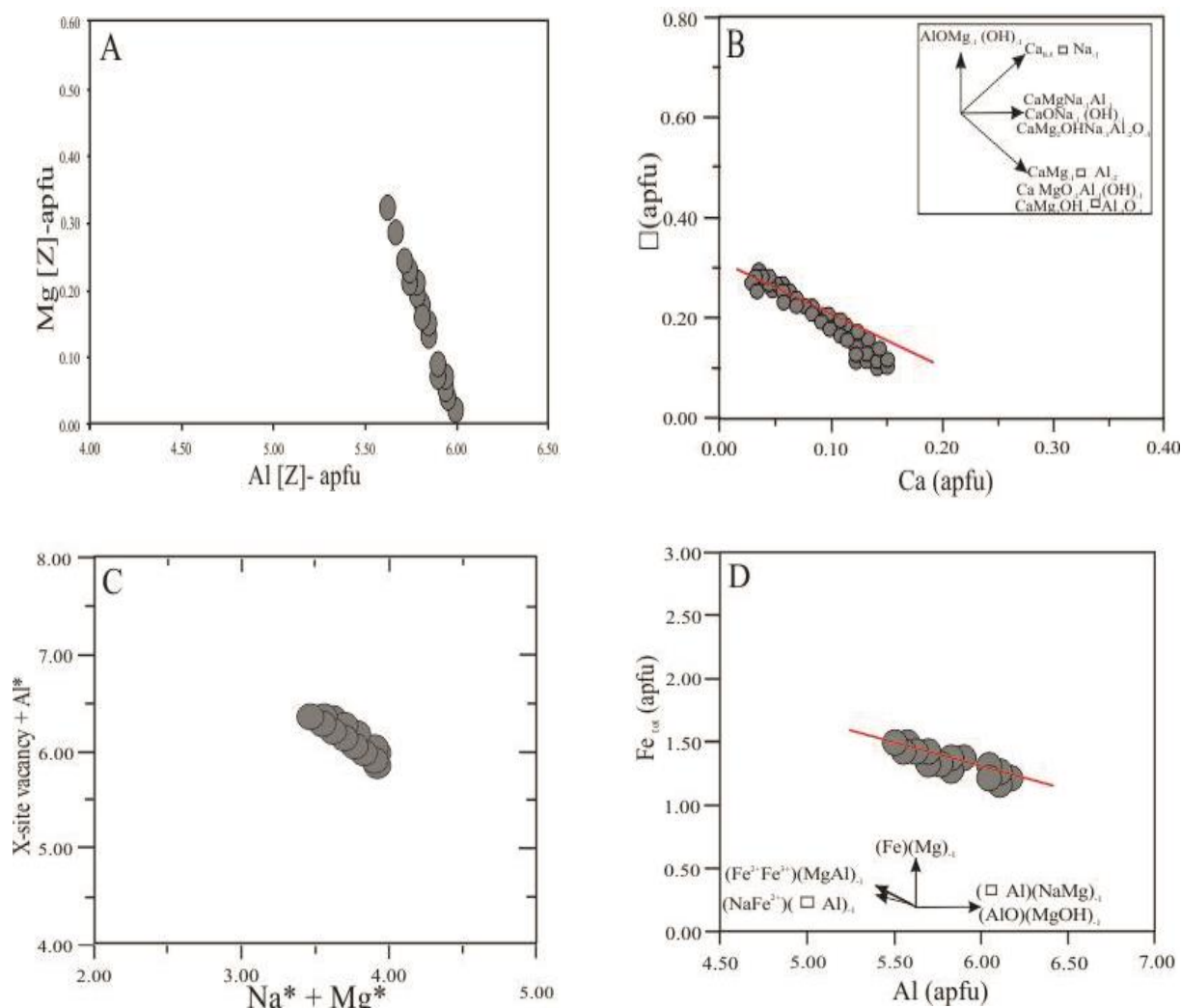
در (شکل ۸-B و C) گویای جایگزینی Ca به موازات بردار جانشینی $\text{CaMg}_{2-1}\text{Al}_2$ و رابطه منفی بین Ca و Mg و Al و Na و X-vacancy است $(\text{Al}^* = \text{Na} + \text{K}, \text{Mg}^* = \text{Mg} + \text{Fe} + \text{Mn})$ در کل، تورمالین‌های موجود در میزبان گرانیتی یا گنایس‌ها به مقدار زیادی فقیر از Ca است (London and Manning, 1995).

نمودار Fe_{tot} در برابر Al رابطه منفی خطی را نشان می‌دهد که در آن جانشینی Fe به جای Al در موقعیت Z مطابق با بردار جایگزینی $(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+})(\text{Mg} \text{ Al})^{-1}$ انجام شده است. بنابراین، کاهش Al در ساختار تورمالین همراه با افزایش Fe و Mg و Ca است (شکل ۸-D).

افزایش Mg در موقعیت Z همراه با کاهش Al (موقعیت Z) است و توازن ظرفیت‌ها از طریق جایگزینی Ca^{2+} در موقعیت X برقرار می‌شود (شکل ۸-A). کاستی Al در موقعیت Z نیز با جانشینی Fe^{3+} به جای Al ایجاد می‌شود. افزایش Ca و کاهش Al در تورمالین و تشکیل دراویت، بیانگر تبلور دراویت از مذاب تهی شده از Al (متآلومینوس) است (Copjakova et al., 2013). جانشینی Ca در ساختار تورمالین‌های مورد بررسی مطابق با نمودار Ca در برابر X-vacancy به موازات بردار جانشینی $\text{Al}_3\text{O}_{-1}\text{CaMg}_{-1}\text{Al}_2, \text{CaMgO}_{-1}\text{Al}_1(\text{OH})_{-1}, \text{Ca} \square$ $\text{Mg}_3\text{OH}_{-1}$ انجام می‌شود (شکل ۸-B). جانشینی Ca در ساختار تورمالین با استفاده از بردارهای جانشینی



شکل ۷-A) در این نمودار رابطه منفی بین Al و $\text{Fe} + \text{Mg} + \text{Mn} + \text{Ti}$ برای تورمالین‌های گرانیتوئید شمال شرق معدن ژان مشاهده می‌شود که شاخصی برای جانشینی $\text{Al}_2 \text{ Si}_{-1} \text{ R}_{-1}$ است. B) افزایش Al همراه با افزایش X-vacancy در این نمودار روند غالب جانشینی به صورت $\square \text{Al}(\text{Na R}^{2+})_{-1}$ است.



شکل ۸- A) افزایش Mg در موقعیت Z همراه با کاهش Al (موقعیت Z) برای تورمالین‌های گرانیتوئید شمال شرق معدن ژان؛ B) جانشینی Ca در ساختار تورمالین‌های مورد بررسی مطابق با بردار جانشینی $Al_3O_{0.1}CaMg_{0.1}\square Al_2$, $CaMgO_{0.1}Al_1(OH)_{0.1}$, $CaMg_3\square$ جانشینی $CaMg_2OHNa_1Al_2O_1$ ؛ C) رابطه منفی بین Ca و Mg با Al و Na و X-vacancy و Al^* (D) جانشینی Fe به جای Al در موقعیت Z مطابق با بردار جایگزینی $(MgAl)^{-1}(Fe^{2+}Fe^{3+})$.

نتیجه‌گیری

Mg-Ca و Fe-Na را نشان می‌دهد. به طوری که همزمان با کاهش Ca و Mg شاهد افزایش Fe و Na در ساختار تورمالین‌های مورد بررسی هستیم. قرار گرفتن همه تورمالین‌های مطالعه شده در محدوده بین دو بردار ناقص از لحاظ پروتون‌زدایی و ناقص از لحاظ آلفا، با تمایل بیشتر به سمت پروتون‌زدایی، گویای سرشت ماگمایی آنها است. از طرفی، کاهش B در مراحل انتهایی تفریق نیز بیانگر نزدیک شدن

بررسی‌های انجام شده روی تورمالین‌های موجود در توده گرانیتوئیدی شمال شرق معدن ژان، بیانگر آن است که تورمالین‌های مورد بررسی، هموزن هستند و فاقد زونینگ و در نمودار Fe_{tot} در برابر Mg دارای ترکیب شورل-دراویت با تمایل بیشتر به سمت شورل هستند. همچنین، نمودار X-vacancy+Al* در برابر Fe^*+Mg^* رابطه منفی بین

بوده است. بنابراین، تورمالین‌های مورد بررسی وابسته به محیط‌های گرانیتی بوده و به وسیله تأثیر شرایط گرماب با خاستگاه ماگمایی به وجود آمده‌اند.

سپاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه شهرکرد به خاطر فراهم آوردن هزینه پژوهش حاضر، قدردانی می‌نمایند.

شرایط ماگمایی به شرایط گرمایی است و ناهمخوانی بین Fe^{+2} و Mg ، بیان‌کننده آن است که شاره ماگمایی نیز در شکل‌گیری تورمالین‌های مورد بررسی دخیل بوده است. با توجه به این که میزان Fe^{+2} بیشتر از Mg است، خاستگاه شاره مسؤؤل تورمالین‌زایی از ماگمای اصلی سازنده توده گرانیتوئیدی و بدون دخالت یک خاستگاه خارجی

منابع

- Abbott, R. N. and Clarke, D. B. (1979) Hypothetical liquidus relationships in the subsystem $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-MgO}$ projected from quartz, alkali feldspar and plagioclase for a (H_2O). Canadian Mineralogist 17: 549-560.
- Abbott, R. N. (1985) Muscovite-bearing granites in the AFM liquidus projection. Canadian Mineralogist 23: 553-561.
- Ahmadi-Khalaji, A., Esmail, D., Valizadeh, M. V. and Rahimpour-Bonab, H. (2007) Petrology and geochemistry of the granitoid complex of Boroujerd, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 29: 859-877.
- Bacik, P., Cempirek, J., Uher, P., Novak, M., Ozdin, D., Filip, J., Skoda, R., Breiter, K., Klementova, M., Duda, R. A. and Groat, L. A. (2013) Oxy-schorl, $\text{Na}(\text{Fe}^{2+}_2\text{Al})\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{18}(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral from Zlata Idka, Slovak Republic and Pribyslavice Czech Republic. American Mineralogist 98: 485-492.
- Bacik, P., Uher, P., Cempirek, J. and Vaculovic, T. (2012) Magnesian tourmalines from plagioclase-muscovite-scapolite metaevaporite layers in dolomite marble near Prosetín (Olešnice Unit, Moravicum, Czech Republic). Journal of Geosciences 57: 143-153.
- Bosi, F., Andreozzi, G. B., Skogby, H., Lussier, A. J., Abdu, Y. and Hawthorne, F. C. (2013) Fluor-elbaite, $\text{Na}(\text{Li}_{1.5}\text{Al}_{1.5})\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{F}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. American Mineralogist 98: 297-303.
- Bosi, F., Reznitskii, L. Z. and Sklyarov, E. V. (2013) Oxy-vanadium-dravite, $\text{NaV}_3(\text{V}_4\text{Mg}_2)(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$: crystal structure under definition of the "vanadium-dravite" tourmaline. American Mineralogist 98: 501-505.
- Bosi, F. and Skogby, H. (2013) Oxy-dravite, $\text{Na}(\text{Al}_2\text{Mg})(\text{Al}_5\text{Mg})(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. American Mineralogist 98: 1442-1448.
- Bosi, F., Reznitskii, L. and Skogby, H. (2012) Oxy-chromium-dravite, $\text{NaCr}_3(\text{Cr}_4\text{Mg}_2)(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{O}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup. American Mineralogist 97: 2024-2030.
- Bosi, F., Skogby, H., Agrosi, G. and Scandale, E., (2012) Tsilaisite, $\text{NaMn}_3\text{Al}_6(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{BO}_3)_3(\text{OH})_3\text{OH}$, a new mineral species of the tourmaline supergroup from Grotta d'Oggi, San Pietro in Campo, island of Elba, Italy. American Mineralogist 97: 989-994.
- Bosi, F. and Lucchesi, S. (2004) Crystal chemistry of the schorl-dravite series. European Journal of Mineralogy 16: 335-344.
- Buriánek, D., Hanzl, P. and Hrdličková, K. (2011) Pegmatite dykes and quartz veins with tourmaline: an example of partial melting in the contact aureole of the Chandman Massif intrusion, SW Mongolia. Journal of Geosciences 56: 201-213.

- Cavarretta, G. and Puxeddu, M. (1990) Schorl-dravite-ferridrovite tourmaline deposited by hydrothermal magmatic fluids during early evolution of the Larderclio geothermal Field, Italy. *Economic Geology* 85: 1236-1251.
- Copjakova, R., Skoda, R., Galiova, M. V. and Novak, M. (2013) Distributions of Y + REE and Sc in tourmaline and their implications for the melt evolution; examples from NYF pegmatites of the Trebic Pluton, Moldanubian zone, Czech Republic. *Journal of Geosciences* 58: 113-131.
- Dutrow, B. L. and Henry, D. J. (2011) Tourmaline: a geological DVD. *Elements* 7: 301-306.
- Ertl, A., Mali, H., Schuster, R., Körner, W., Hughes, J. M., Brandstätter, F. and Tillmanns, E. (2010) Li-bearing, disordered Mg-rich tourmaline from a pegmatite-marble contact in the Austroalpine basement units (Styria, Austria). *Mineralogy and Petrology* 99: 89-104.
- Foit, F. F. and Rosenberg, P. E. (1977) Coupled substitution in the tourmaline group. *Contribution Mineralogy and Petrology* 62: 109-127.
- Galbraith, C. G., Clarke, D. B., Trumbull, R. B. and Wiedenbeck, M. (2009) Assessment of tourmaline compositions as an indicator of emerald mineralization at the Tsa da Glisza Prospect, Yukon Territory, Canada. *Economic Geology* 104 (5): 713-731.
- Grice, J. D. and Ercit, T. S. (1993) Ordering of Fe and Mg in tourmaline: the correct formula. *Journal of Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen* 165: 245-266.
- Hawthorne, F. C. and Henry, D. J. (1999) Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy* 11: 201-215.
- Henry, D. J., Novák, M., Hawthorne, F. C., Ertl, A., Dutrow, B. L., Uher, P. and Pezozotta, F. (2011) Nomenclature of the tourmaline-supergroup minerals. *American Mineralogist* 96: 895-913.
- Henry, D. J. and Guidotti, C. V. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *American Mineralogist* 70: 1-15.
- Jiang, S. Y., Palmer, M. R., Li, Y. H. and Xue, C. J. (1995) Chemical compositions of tourmaline in the Yindongzi-Tongmugou Pb-Zn deposits, Qinling, China: implications for hydrothermal ore-forming processes. *Mineralium Deposita* 30: 225-234.
- Khalili, Kh. and Mackizadeh, M., A. (2012) The occurrence of tourmaline in Kuh Zar (Baghoo) Au-Cu mine, south of Semnan province. *Petrology* 3(9): 57-70 (in Persian).
- Leeman, W. P. and Sisson, V. B. (2002) Geochemistry of boron and its implications for crustal and mantle processes. In: Boron (Eds. Grew, E. S. and Anovitz, L. M.) *Reviews in Mineralogy* 33: 645-707. Mineralogical Society of America.
- London, D. and 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.
- Mansouri Esfahani, M. and Khalili, M. (2014) Petrology of the Molatab village granitoid (north of Aligudarz), NW of Isfahan, low temperature peraluminous I-type. *Journal of Petrology* 5(17): 119-136.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L. and Sahandi, M. R. (2003) Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21: 397-412.
- Moradi, A., Shabanian, N. and Davodian, A. R. (2014a) Evaluating the controls on tourmaline crystallization in the mylonitic granite-gneiss pluton in northeastern of Jan mine (province Lorestan). *Journal of Economic Geology* (in Persian) (in reviewing).
- Moradi, A., Shabanian, N. and Davodian, A. R. (2014b) Geochemistry of granitoid pluton in northeastern of

- mine Jan (province Lorestan). *Journal of Economic Geology* (in Persian) (in reviewing).
- Pesquera, A., Torres-Ruiz, J., Gil-Crespo, P. P. and Jiang, S-Y (2005) Petrographic, chemical and B-isotopic insights into the origin of tourmaline-rich rocks and boron recycling in the Martinamor antiform (Central Iberian zone, Salamanca, Spain). *Journal of Petrology* 46: 1013-1044.
- Pesquera, A., Torres ruiz, J., Garci, A., Casco, A., Pedro, P. and Gil crespo, 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* 3(54): 309-334.
- Rosenberg, P. E. and Foit, F. F. (1979) Synthesis and characterization of alkali-free tourmaline. *American Mineralogist* 64: 180-186.
- Sahandi, M. R., Radfar, J., Hoseinidoust, J. and Mohajjel, M. (2006) Explanatory text of Shazand. Geological Quadrangle Map 1:100000, NO.5857, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Shabanian, N. (2009) Petrology and tectonic setting of granitoid bodies in azna region (Sanandaj-Sirjan zone, Iran). PhD thesis, University of Esfahan, Iran (in Persian).
- Sinclair, W. D. and Richardson, J. M. (1992) Quartz-tourmaline orbicules in the Seagull batholith, Yukon Territory. *Canadian Mineralogist* 30: 923-935.
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonic of Iran a review. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin (AAPG)* 52(7): 1229-1258.
- Tahmasebi, Z., Mirsepahvand, F., Shahrokhi, V., Ahmadi Khalaji, A. and Khalili, M. (2012) Geochemistry and determination genesis of tourmalines in the area Borujerd. *Journal of Crystallography and Mineralogy* 2(20): 281-292.
- Trumbull, R. B. and 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.
- Vincent, J. V. H., Darrell, J. H. and Horst, R. M. (2011) Tourmaline: an indicator of its host environment. *The Canadian Mineralogist* 49: 1-16.
- Weisbrod, A., Polak, C. and Roy, D. (1986) Experimental study of tourmaline solubility in the system Na-Mg-Al-Si-B-O-H. applications to the boron content of natural hydrothermal fluids and the tourmalinization process. volume of abstracts. *International Symposium Experimental Mineralogy and Geochemistry, Nancy*, 140-141.
- Yavuz, F., Fuchs, Y., Karakaya, N. and Karakaya, M. C. (2008) Chemical composition of tourmaline from the Asarcık Pb-Zn-Cu±U deposit, Şebinkarahisar, Turkey. *Minerology and Petrology* 94: 195-208.
- Yavuz, F., Karakaya, N., Yildirim, D. K., Karakaya, M. C. and Kumral, M. (2014) A windows program for calculation and classification of tourmaline-supergroup (IMA-2011). *Computers & Geosciences* 63: 70-87.

Mineral chemistry and genesis determination of tourmalines from the granite-gneiss pluton in the northeast of Jan mine (Lorestan province)

Arezoo Moradi, Nahid Shabanian Boroujeni and Ali Reza Davoudian Dehkordi
Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Abstract

The outcrop of mylonitic granite-gneiss in the northwest of Azna city and the northeast of the Jan building stone mine is a part of Sanandaj-Sirjan zone. The tourmalines from these rocks are black and patchy or fine association. Based on EPMA data the tourmalines studied are short-dravite in composition with more tendency towards short. They belong to granitic environment and precipitated during hydrothermal condition. The chemical composition of the host granite is a major factor in distribution of elements in the studied tourmaline structural framework during the process of differentiation, as well as, faulting and uplifting of granitoid body. Some of the dominant substitution mechanisms in the structure of the investigated tourmalines are as follow: $\square^X \text{Al} (\text{Na R}^{2+})_{-1}, {}^2_{-1} \text{Na}_1 {}^z \text{Al}_{1+X} \text{Ca}_1 {}^Y \text{R} (\text{OH})_{-1}, \text{Fe}^{2+} \text{Fe}^{3+} (\text{Mg Al})_{-1}$.

Key words: Tourmaline, Mineral chemistry, Jan mine, Sanandaj-Sirjan zone