

## منطقه‌بندی شیمیایی آمفیبیول‌های کلسیک سنگ‌های حدواسط توده‌ی گرانیت‌وئیدی میشو، شمال غرب ایران

ملیحه شاهزیدی<sup>\*</sup>، محسن مؤید<sup>\*</sup>، شوچی آرائی، جمشید احمدیان، تهمینه پیرنیا

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۹۱/۷/۲۴، نسخه نهایی: ۹۱/۱۲/۱۳)

چکیده: توده‌ی گرانیتی میشو در جنوب‌غرب مرند، شمال‌غرب ایران (استان آذربایجان شرقی) و دامنه‌ی شمال‌غربی کوه‌های میشو رخمنون داشته و در سنگ‌های سازند کهر تزریق شده است. این توده از لحاظ سنگ‌شناسی در برگیرنده‌ی طیفی از سنگ‌های نفوذی حدواسط شامل گرانوودیوریت، کوارتز‌مونزون‌دیوریت و دیوریت است. کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌های منطقه شامل کوارتز، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبیول و پیروکسن هستند. آمفیبیول یکی از کانی‌های مهم این سنگ‌هاست. بر پایه‌ی نتایج حاصل از ریزپردازندۀ الکترونی آمفیبیول‌های موجود در سنگ‌های این توده در گروه کلسیک قرار گرفته و از نوع مگنزیوهومنبلند، آکتینولیت‌هورنبلند، آکتینولیت‌هورنبلند و آکتینولیت هستند. از طرف دیگر این آمفیبیول‌ها یک منطقه‌بندی شیمیایی از مگنزیوهومنبلند، آکتینولیت‌هورنبلند یا آکتینولیت با هسته‌هایی از آکتینولیت‌هورنبلند یا مگنزیوهومنبلند نشان می‌دهند. پیرامون آکتینولیت و آکتینولیت‌هورنبلندی به صورت انبوه‌های بلوری پیرامون مرکز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار آکتینولیت‌هورنبلند و مگنزیوهومنبلند دیده می‌شوند. بر پایه‌ی بررسی‌های کانی‌شناسی، هسته‌های بلوری در شرایط پایین گریزندگی اکسیژن تبلور یافته‌اند که با مقادیر پایین #Mg در آنها تأیید می‌شود، در حالیکه مقادیر بالای #Mg در بخش‌های حاشیه‌ای بیانگر گریزندگی بالای اکسیژن حین تبلور آنهاست. از طرف دیگر هیچ شاهدی مبنی بر این که آکتینولیت یا آکتینولیت‌هورنبلند نتیجه‌های از یک رویداد گرمابی نهایی باشد وجود ندارد، با این وجود می‌توان آن را نتیجه‌ای از واکنش‌های نیمه‌جامد کلینوپیروکسن در نظر گرفت.

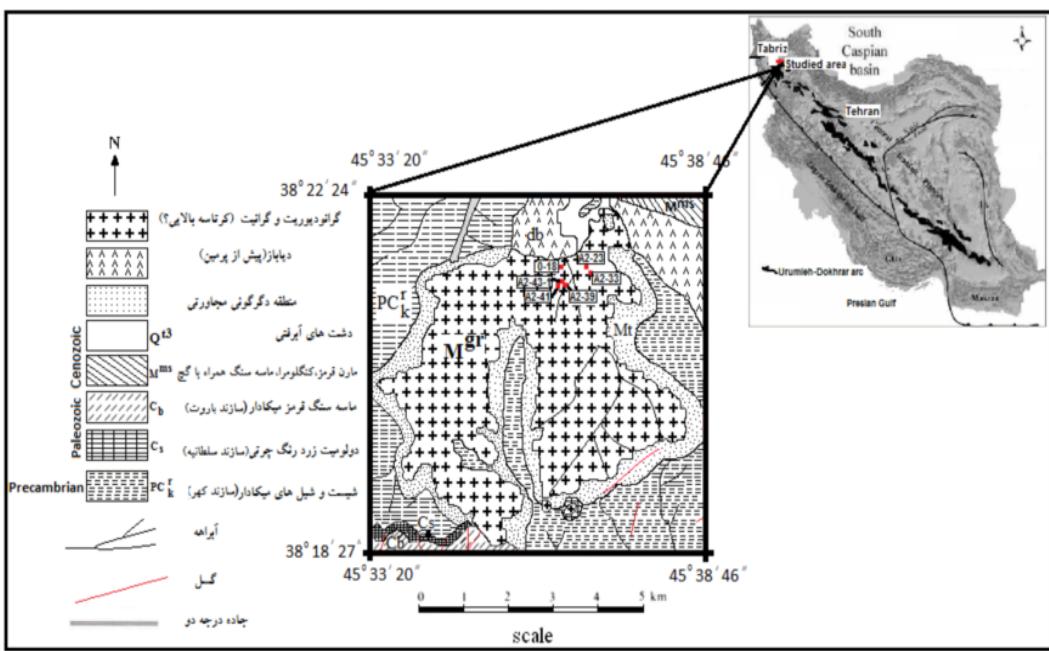
واژه‌های کلیدی: منطقه‌بندی شیمیایی؛ گریزندگی اکسیژن؛ واکنش‌های نیمه‌جامد؛ گرانیت میشو.

[۱]. بنابراین می‌توان آمفیبیول‌ها را به عنوان شاخصی برای ارزیابی شرایط تبلور ماگما به کاربرد [۱]. منطقه‌ی مورد بررسی در استان آذربایجان شرقی، در ۱۰۰ کیلومتری جنوب‌غربی تبریز و در بخش غربی نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ مرند واقع شده است [۲] (شکل ۱). این منطقه در ۴۵°۳۸'۱۳" تا ۴۵°۳۱'۵" خاوری و عرض‌های جغرافیایی "۳۸°۲۲'۲۷" تا "۳۸°۱۹'۴۸" شمالی قرار دارد. توده‌ی مورد بررسی از دیدگاه سنگ‌شناسی

مقدمه

آمفیبیول‌ها به عنوان کانی‌های اصلی سنگ‌ساز در طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین و دگرگون قرار می‌گیرند. این سنگ‌ها به ویژه از نوع آذرین آهکی-قلیایی و دگرگون، به صورت رخساره شیست سبز و آمفیبیولیت فراوان ترند. حضور همیشگی آمفیبیول در تمام سنگ‌های آذرین و دگرگون تأیید کننده‌ی پایداری آن در دامنه‌ی گسترده‌ای از شرایط دما (۱۱۵۰-۴۰۰ درجه سانتیگراد) و فشار (۱-۲۳ کیلوبار) می‌باشد

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۴۴۱۲۵۱۱۹، پست الکترونیکی: Moayyed@tabrizu.ac.ir



شکل ۱ نقشه زمین شناسی توده گرانیتی میشو (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مرند [۲]).

ریزپرداز (JEOL) JXA-8800 20KV با ولتاژ شتابدهنده‌ی 3 $\mu\text{m}$  در گروه زمین شناسی شدت جریان 20 nA و قطر پرتو 20 nm دارد. داشنگاه کاناژاوای ژاپن آنالیز شدند که نتایج آنالیزها در جدولهای ۱ تا ۵ قابل مشاهده‌اند. محاسبه‌ی فرمول کانی‌ها در این پژوهش با استفاده از نرم افزار Minpet2 و Excel 2007 صورت گرفته است.

#### بحث و بررسی زمین شناسی منطقه

از نظر تقسیمات ساختاری [۳] توده‌ی نفوذی میشو در شمال-غرب زون البرز-آذربایجان و در منتهی‌الیه شمال‌غربی نوار ماقمایی ارومیه دختر واقع شده‌است. سنگ‌های میزان توده عبارتند از رسوبهای دگرگون پرتوزوئیک (احتمالاً سازند کهر [۲] با دگرگونی در حد رخساره‌ی شیست سبز)، رسوب‌های پالئوزوئیک (سازندهای سلطانیه و باروت) و سنگ‌های آدرین (سنگ‌های مافیک و الترامافیک میشو) [۲]. این توده درون شیست‌ها و فیلیت‌های پرکامبرین و سنگ‌های مافیک-ترامافیک میشو نفوذ کرده‌است و به‌واسطه تاثیر گرمایی ناشی از تزریق توده، سنگ‌های فراگیر در مجاورت بلافصل آن، با تحمل دگرگونی مجاورتی، به مجموعه‌ی بیوتیت-کردیریت-کارنت هورنفلس تبدیل شده‌اند. به‌طور کلی واحدهای حدواسط موجود در این منطقه را بر اساس بررسی‌های سنگ شناختی می‌توان در سه گروه دیوریت، کوارتز مونزودیوریت و گرانو دیوریت رده‌بندی کرد. این مجموعه از نظر ژئوشیمی از

از دو بخش سنگ‌های اسیدی و حدواسط به همراه دایک‌های اسیدی و بازی تشکیل شده‌است. سنگ‌های حدواسط یاد شده از نظر سنگ شناختی شامل گرانو دیوریت، کوارتز مونزودیوریت و دیوریت هستند که بیشترین بخش آن از گرانو دیوریت تشکیل شده‌است. این سنگ‌ها به همراه رخنمون کوچکی از سنگ‌های دیوریت و کوارتز دیوریت در بخش‌های شمالی و شرقی توده‌ی میشو حضور دارند. بررسی‌های سنگ‌نگاری و شیمیابی سنگ‌های حدواسط (گرانو دیوریت، کوارتز مونزودیوریت و دیوریت)، نشان‌دهنده‌ی یک منطقه بندی شیمیابی در آمفیبیول‌هاست که با رنگ سبز تیره‌تر و چندرنگی شدیدتر در مرکز بلورها دیده می‌شود که با حرکت به سمت کرانه‌های دانه‌ها به سمت سبز کمرنگ و حتی بیرنگ کاهش می‌یابد. در این مقاله سعی شد تا با اتکاء به نتایج حاصل از بررسی روابط صحرایی حاکم بر بخش‌های حدواسط توده‌ی نفوذی میشو، سنگ نگاری حدود ۴۰ مقطع نازک و آنالیزهای ریزپردازشی عناصر اصلی حدود ۱۰ نمونه از سنگ‌های منطقه ارتباط بافتی و شیمیابی آمفیبیول‌های کلسیک موجود در سنگ‌های حدواسط این توده تشریح شود.

#### روش کار

از ۱۰ نمونه سالم انتخاب شده، مقاطع نازک میکروسکوپی استاندارد تهیه و پس از صیقل کاری کامل آنها را با یک ریز-پردازنده‌ی الکترونی آنالیز نقطه‌ای کردیم. در این نمونه‌ها ۵۲ نقطه از کانی‌های آمفیبیول و ۹ نقطه از کانی‌های پیروکسن با

های پرمین و جوانتر دیده نمی‌شود لذا وابستگی آن به کرتاسه (۹) در نقشه‌ی زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰ مرند [۲] صحیح به نظر نمی‌رسد. [۴] معتقدند که توده‌ی گرانیتوئیدی نوع A شرق کوههای میشو به حرکتهای پایانی هرسینین وابسته بوده و توده‌ی نوع S را نیز به برخورد قاره-قاره و به سن هرسینین نسبت داده‌اند. اما بر اساس نتایج اخیر سال‌سنگی سنگ کل توده‌های گرانیتوئیدی I-type و S-type میشو، سن این توده‌ها ۵۴۰ میلیون سال (فاز کوهزایی کاتانگایی) تعیین شده‌است [۵].

نوع گرانیتوئیدهای I-type بوده و در سری ماگمایی آهکی قلیایی قرار می‌گیرد. همچنین بر اساس شیمی عناصر اصلی و کمیاب، نمونه‌های مورد بررسی حاصل جدایش یک ماگمای بازی هستند [۵]. علاوه‌بر این دایکهای اسیدی و بازی با بافت پوروفیری، مجموعه نفوذی یاد شده را قطع کرده‌اند. از نظر سن چینه شناسی با توجه به این که گرانیت نوع I میشو در کوههای میشو با نهشته‌های کهر و سنگ‌های مافیک-التراوامافیک میشو برخورد گرمایی کرده است و انشعابهایی از آن در نهشته-

جدول ۱ آنالیزهای ریزپردازشی الکترونی از آمفیبولهای سنگ‌های گرانیت‌یوریتی میشو.

شماره نمونه	018-1	018-1	018-1	018-1	018-1	018-1	018-1	018-3	018-3	018-3	018-4	018-4
موقعیت آنالیز	هسته داخلی	هسته خارجی	میانه خارجی	میانه داخلی	میانه داخلی	میانه داخلی	میانه خارجی	هسته	میانه	میانه	هسته	میانه
SiO <sub>2</sub>	۴۹,۲۲	۵۱,۵۱	۵۰,۳۸	۴۹,۹۷	۵۰,۲۸	۴۹,۱۱	۴۹,۰۷	۴۹,۲۶	۵۰,۱	۵۰,۳۹	۴۸,۸۴	۴۸,۹۹
TiO <sub>2</sub>	.۵۶	.۳۸	.۳۴	.۵۲	.۳۹	.۵۵	.۶۱	.۳۹	.۳۵	.۳۴	.۷۳	.۷۱
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶,۹۲	۴,۳۹	۵,۸۷	۵,۸۵	۵,۶۸	۶,۴۹	۶,۴۷	۶,۹۵	۶,۱۷	۵,۹۴	۶,۷۵	۶,۸۳
FeO	۱۷,۴۱	۱۶,۵۱	۱۶,۷۴	۱۶,۸۶	۱۶,۷	۱۷,۵	۱۶,۸۵	۱۷,۳۷	۱۶,۷۱	۱۶,۵۵	۱۷,۹۳	۱۷,۵۹
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.۱۰۳	.	.	.	.	.۰۱	.۰۰۲	.	.	.	.	.۰۰۲
MnO	.۵۴	.۴۵	.۵۲	.۴۹	.۴۸	.۵۳	.۴۷	.۴۸	.۴۸	.۴۷	.۵۳	.۵۲
MgO	۱۱,۷۲	۱۳,۳۰	۱۲,۹۱	۱۲,۳۶	۱۲,۷۱	۱۲,۰۴	۱۱,۶۶	۱۱,۹۳	۱۲,۴	۱۲,۵۹	۱۱,۳۲	۱۱,۳۹
CaO	۱۰,۹۲	۱۱,۲۲	۱۰,۷۵	۱۱,۴۶	۱۱,۲۴	۱۱,۰۱	۱۱,۰۰	۱۱,۲۹	۱۱,۳۷	۱۱,۵۰	۱۱,۳۷	۱۱,۲۵
Na <sub>2</sub> O	.۷۷	.۴۹	.۶۰	.۷۳	.۶۵	.۷۸	.۷۴	.۶۶	.۶۴	.۷۱	.۷۴	.۷۸
K <sub>2</sub> O	.۰۳	.۲۷	.۳۶	.۳۹	.۳۶	.۰۰	.۰۰	.۴۶	.۳۸	.۳۵	.۰۱	.۰۱
total	۹۸,۶۰	۹۸,۵۲	۹۸,۴۸	۹۸,۶۳	۹۸,۴۸	۹۸,۴۹	۹۷,۳۹	۹۸,۷۸	۹۸,۸۰	۹۸,۸۴	۹۸,۷۱	۹۸,۵۸
TSi	۷,۱۶	۷,۴۳	۷,۲۷	۷,۲۶	۷,۲۸	۷,۱۵	۷,۲۳	۷,۱۴	۷,۲۹	۷,۲۸	۷,۱۴	۷,۱۶
TAl	.۸۴	.۵۷	.۷۳	.۷۴	.۷۲	.۸۵	.۷۷	.۸۶	.۷۴	.۷۲	.۸۶	.۸۴
TFe <sup>3</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TTi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum_T	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CAI	.۳۴۸	.۱۷۶	.۲۶۳	.۲۶	.۲۵۱	.۲۶۴	.۳۵۵	.۳۲۹	.۳۱	.۲۹۵	.۳	.۳۳۶
CCr	.۰۰۳	.	.	.	.	.۰۰۱	.۰۰۲	.	.	.	.۰۰۲	.
CFe <sup>3</sup>	.۴۲	.۴۲	.۵۴	.۳۴	.۴۱	.۴۶	.۳۴	.۴۳	.۳۷	.۳۴	.۳۵	.۳۴
CTi	.۰۶	.۰۴	.۰۴	.۰۶	.۰۴	.۰۶	.۰۷	.۰۴	.۰۴	.۰۴	.۰۸	.۰۶
CMg	۲,۵۴	۲,۸۶	۲,۷۸	۲,۶۸	۲,۷۵	۲,۶	۲,۵۶	۲,۵۸	۲,۶۸	۲,۷۱	۲,۴۷	۲,۴۸
CFe <sup>2</sup>	۱,۵۹	۱,۴۸	۱,۳۶	۱,۶۴	۱,۵۲	۱,۵۸	۱,۶۵	۱,۰۹	۱,۰۸	۱,۰۹	۱,۷۸	۱,۷۲
CMn	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳
CCa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum_C	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
BMg	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
BFe <sup>2</sup>	.۱۱	.۱۰	.۱۳	.۰۷	.۰۹	.۱۰	.۰۹	.۰۹	.۰۸	.۰۷	.۰۷	.۰۸
BMn	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳
BCa	۱,۷۰	۱,۷۴	۱,۶۶	۱,۷۸	۱,۷۵	۱,۷۱	۱,۷۴	۱,۷۵	۱,۷۷	۱,۷۸	۱,۷۸	۱,۷۷
BNa	.۱۱	.۰۷	.۰۸۳	.۱۰	.۰۹	.۱۱	.۱۱	.۰۹۳	.۰۸۹	.۰۹۸	.۱۰	.۱۱
Sum_B	۱,۹۵	۱,۹۳	۱,۹۰	۱,۹۹	۱,۹۵	۱,۹۵	۱,۹۷	۱,۹۶	۱,۹۷	۱,۹۸	۱,۹۹	۱,۹۸
ACa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ANa	.۱۱	.۰۷	.۰۹	.۱۰	.۰۹	.۱۱	.۱۱	.۰۹	.۰۹	.۱	.۱۱	.۱۱
AK	.۱۰	.۰۵	.۰۷	.۰۷	.۰۷	.۰۹	.۰۹	.۰۸	.۰۷	.۰۷	.۱۰	.۰۹
Sum_A	.۲۱	.۱۲	.۱۵	.۱۸	.۱۶	.۲۰	.۲۰	.۱۸	.۱۶	.۱۷	.۲	.۲۱
مجموع کاتیون	۱۵,۱۶	۱۵,۰۵	۱۵,۰۵	۱۵,۱۶	۱۵,۱۱	۱۵,۱۶	۱۵,۱۷	۱۵,۱۴	۱۵,۱۳	۱۵,۱۵	۱۵,۱۹	۱۵,۱۹
مجموع اکسیژن	۲۲,۷۳	۲۲,۷۱	۲۲,۷۱	۲۲,۷۱	۲۲,۷۱	۲۲,۷۰	۲۲,۷۵	۲۲	۲۲,۷۱	۲۲,۷۱	۲۲,۷۳	۲۲,۷۲

جدول ۲ آنالیزهای ریزپردازشی الکترونی از آمفیبولهای سنگ‌های گرانودیوریتی میشو.

شماره نمونه	018-5	018-5	018-5	018-5	018-5	018-6	018-6	018-6	018-6	A2-23-1-B	A2-23-1-B	A2-23-1-B	A2-23-1-B1
موقعیت آنالیز	هسته داخلی	هسته بیرونی	میانه داخلی	میانه بیرونی	حاشیه	میانه داخلی	میانه خارجی	هسته	حاشیه	هسته	میانه	حاشیه	حاشیه
SiO <sub>2</sub>	۴۸,۷۲	۴۸,۳۳	۴۸,۴۶	۴۸,۸۵	۴۷,۸۶	۵۱,۰۶	۴۹,۹۶	۴۹,۵۵	۵۲,۲۹	۵۰,۲۶	۴۹,۹۸	۴۹,۳۴	۵۱,۷۰
TiO <sub>2</sub>	,۸۹	,۸۵	,۷۴	,۸۶	,۶۳	,۲۶	,۳۹	,۴۱	,۲۱	,۹۰	,۱۰۲	,۱۰۶	,۱۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶,۴۶	۶,۹۶	۶,۸۹	۶,۷۷	۶,۱۵	۴,۳۳	۵,۷۵	۶,۰۶	۳,۷۱	۵,۳۰	۵,۱۷	۵,۶۱	۲,۳۲
FeO	۱۷,۵۵	۱۷,۹۸	۱۷,۵۳	۱۷,۴۴	۱۶,۵۳	۱۶,۷۴	۱۷,۴۱	۱۸,۱۴	۱۶,۳	۱۷,۸۱	۱۷,۶۱	۱۸,۲۳	۱۷,۷۱
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	,	,۰۶	,	,	,	,۰۵	,۰۱	,	,	,	,	,	,
MnO	,۴۶	,۵۶	,۴۶	,۵۱	,۴۳	,۵۱	,۴۹	,۶	,۰۴	,۳۵	,۲۸	,۳۲	,۳۸
MgO	۱۱,۸۷	۱۱,۸۳	۱۱,۸۱	۱۱,۸۰	۱۱,۰۴	۱۳,۰۱	۱۲,۱۲	۱۲,۰۵	۱۳,۸۵	۱۱,۷	۱۱,۴۴	۱۱,۱۴	۱۱,۸۹
CaO	۱۱,۶۰	۱۰,۷۸	۱۱,۴۲	۱۱,۳۷	۱۱,۳۴	۱۱,۲۳	۱۱,۰۳	۱۰,۴۷	۱۰,۹۲	۱۱,۰۸	۱۱,۵	۱۱,۳۶	۱۱,۵۸
Na <sub>2</sub> O	,۹۰	,۸۹	,۹۵	,۹۰	,۸۲	,۰۵۳	,۷	,۷۶	,۴۶	,۷۵	,۷۴	,۷۴	,۵۰
K <sub>2</sub> O	,۵۴	,۵۶	,۵۶	,۵۷	,۶۴	,۲۵	,۳۹	,۴۲	,۱۸	,۳۱	,۳۲	,۳۹	,۰۹
total	۹۸,۷۸	۹۸,۶۲	۹۸,۶۱	۹۸,۷۷	۹۸,۴۵	۹۷,۹۶	۹۸,۳۴	۹۸,۴۴	۹۸,۴۵	۹۸,۴۵	۹۸,۰۶	۹۸,۱۹	۹۷,۲۶
TSi	۷,۱۳	۷,۰۵	۷,۰۹	۷,۱۳	۶,۹۹	۷,۴۲	۷,۲۷	۷,۲۰	۷,۵۱	۷,۳۴	۷,۳۶	۷,۲۷	۷,۶۴
TAI	,۸۷	,۹۵	,۹۱	,۸۷	,۱۰۱	,۰۵۸	,۰۷۳	,۰۸۰	,۰۴۹	,۰۶۶	,۰۶۴	,۰۷۳	,۰۳۶
TFe <sup>۳</sup>	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
TTi	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
Sum_T	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CAI	,۲۴	,۲۵	,۲۸	,۲۹۸	,۵۶	,۱۷	,۲۶	,۲۴	,۱۴	,۲۶	,۲۶	,۲۴	,۲۱
CCr	,	,۰۰۷	,	,	,	,۰۰۵	,۰۰۱	,	,	,	,	,	,
CFe <sup>۳</sup>	,۲۹	,۴۹	,۳۳	,۳۳	,۲۹	,۴۲	,۴۴	,۵۸	,۵۰	,۳۲	,۱۹	,۲۶	,۲۱
CTi	,۱۰	,۰۹	,۰۸	,۰۹	,۰۷	,۰۳	,۰۴	,۰۵	,۰۲	,۱۰	,۱۱	,۱۲	,۰۱
CMg	۲,۵۵	۲,۵۳	۲,۵۳	۲,۵۳	۲,۴	۲,۸۲	۲,۶۵	۲,۶۱	۲,۹۶	۲,۵۵	۲,۵۱	۲,۴۵	۲,۶۲
CFe <sup>۲</sup>	۱,۸۰	۱,۵۹	۱,۷۵	۱,۷۲	۱,۶۵	۱,۵۳	۱,۵۸	۱,۴۹	۱,۳۴	۱,۷۵	۱,۹۱	۱,۹۱	۱,۹۲
CMn	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۴	,۰۳	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۲
CCa	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
Sum_C	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
BMg	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
BFe <sup>۲</sup>	,۰۶	,۱۱	,۰۷	,۰۸	,۰۸	,۰۹	,۱۰	,۱۴	,۱۲	,۱۰	,۰۷	,۰۸	,۰۶
BMn	,۰۳	,۰۴	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۴	,۰۳	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۲
BCa	۱,۸۲	۱,۶۹	۱,۸	۱,۷۷	۱,۷۷	۱,۷۵	۱,۷۲	۱,۶۳	۱,۶۸	۱,۷۴	۱,۸۱	۱,۷۹	۱,۸۳
BNa	,۱۰	,۱۲	,۱۱	,۱۳	,۱۲	,۰۷	,۱۰	,۱۱	,۰۶	,۱۱	,۱۰	,۱۱	,۰۷
Sum_B	۲,۰۰	۱,۹۶	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۹۹	۱,۹۴	۱,۹۵	۱,۹۱	۱,۹	۱,۹۶	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۹۸
ACa	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,	,
ANa	,۱۶	,۱۳	,۱۶	,۱۳	,۱۲	,۰۸	,۱۰	,۱۱	,۰۷	,۱۱	,۱۱	,۱۱	,۰۷
AK	,۱۰	,۱۱	,۱۱	,۱۱	,۱۲	,۰۵	,۰۷	,۰۸	,۰۳	,۰۶	,۰۶	,۰۷	,۰۲
Sum_A	,۲۶	,۲۳	,۲۶	,۲۴	,۲۴	,۱۲	,۱۷	,۱۹	,۱۰	,۱۷	,۱۷	,۱۸	,۰۹
مجموع کاتیون	۱۵,۲۶	۱۵,۱۹	۱۵,۲۶	۱۵,۲۴	۱۵,۲۴	۱۵,۱۰	۱۵,۱۲	۱۵,۱۰	۱۴,۹۹	۱۵,۱۳	۱۵,۱۷	۱۵,۱۸	۱۵,۰۷
مجموع اکسیژن	۲۳,۰۱	۲۳,۰۱	۲۳,۰۱	۲۳,۰۳	۲۳,۰۴	۲۳,۰۰	۲۳,۰۱	۲۳,۰۱	۲۳,۰۱	۲۳,۰۶	۲۳,۰۶	۲۳,۰۴	۲۳,۰۳

جدول ۳ آنالیزهای ریزپردازشی الکترونی از آمفیبولهای سنگ‌های کوارتز مونزودیوریتی میشو.

شماره نمونه	A2-41-3	A2-41-3	A2-41-6	A2-41-6	A2-41-6	A2-41-7	A2-41-7	A2-41-7	A2-41-8	A2-41-8	A2-41-8	A2-41-8	هسته داخلی
موقعیت آنالیز	حاشیه	هسته	حاشیه	هسته	میانه	هسته	میانه	حاشیه	هسته داخلی	میانه	میانه	حاشیه	هسته داخلی
SiO <sub>2</sub>	۴۸,۶۱	۴۵,۴۳	۴۵,۰۵	۴۵,۱۴	۴۹,۳۷	۴۶,۲	۴۶,۲	۴۹,۳۹	۴۷,۸۶	۴۸,۰۵	۴۷,۹۶	۴۸,۸۱	۵۰,۴۵
TiO <sub>2</sub>	۱,۰۱	,۸۹	۱,۰۱	,۹۲	,۴۴	,۷۸	,۷۷	,۴۲	۱,۰۳	,۱۲	,۸۰	,۹۳	,۲۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۶,۱۹	۱۰,۲۴	۱۰	۱۰,۱۷	۴,۸۹	۹,۹۳	۸,۸۵	۶,۰۵	۶,۴۳	۶,۴۴	۷,۲۵	۵,۹۳	۴,۷۳
FeO	۱۹,۰۹	۲۰,۳۷	۲۱,۵۵	۲۰,۵۴	۲۲,۵۷	۲۰,۲۷	۲۰,۷۹	۱۹,۰۲	۲۰,۱۲	۱۹,۶۶	۲۰,۵۱	۱۹,۹۲	۲۰,۰۵
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
MnO	,۳۷	,۳۲	,۳۵	,۳۷	,۷۱	,۳۶	,۲۹	,۴۴	,۴۰	,۳۶	,۴۵	,۴۴	,۴۷
MgO	۱۰,۵۰	۷,۹۹	۸,۱۵	۸,۴۳	۱۰,۴۱	۸,۲۴	۸,۸۴	۱۰,۶۱	۱۰,۱۴	۱۰,۲۴	۱۰,۲۱	۱۰,۷۵	۱۱,۴۵
CaO	۱۱,۰۷	۱۱,۱۴	۱۰,۶۳	۱۱,۱۶	۹,۳۴	۱۰,۸۹	۱۱,۰۴	۱۱,۳۷	۱۱,۰۸	۱۱,۱۷	۹,۷۹	۱۰,۳۹	۱۰,۱۲
Na <sub>2</sub> O	,۸۱	۱,۳۱	۱,۲۷	۱,۳۳	,۶۲	۱,۳۵	۱,۲۲	,۸۸	,۹۴	,۹۲	۱,۰۷	,۸۵	,۶۰
K <sub>2</sub> O	,۴۰	,۶۴	,۶۵	,۶۰	,۲۶	,۵۸	,۵۲	,۲۴	,۴۱	,۴۴	,۳۹	,۳۹	,۲۰
total	۹۸,۵۷	۹۸,۳۲	۹۸,۶۶	۹۸,۶۵	۹۸,۶۱	۹۸,۵۸	۹۸,۵۲	۹۸,۴۳	۹۸,۴۱	۹۸,۴۸	۹۸,۴۰	۹۸,۴۰	۹۸,۳۵
TSi	۷,۱۸	۶,۸۱	۶,۷۲	۶,۷۳	۷,۲۳	۶,۸۹	۶,۸۸	۷,۲۷	۷,۱	۷,۱۱	۷,۰۵	۷,۱۸	۷,۳۶
TAI	,۸۲	۱,۱۹	۱,۲۸	۱,۱۷	,۷۳	۱,۱۱	۱,۱۲	,۷۳	,۹۱	,۸۹	,۹۵	,۸۲	,۶۴
TFe <sup>3</sup>	·	·	·	·	,۰۴	·	·	·	·	·	·	·	·
TTi	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Sum_T	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CAI	,۷۵	,۶۲	,۴۸	,۵۲	,۱۲	,۶۳	,۴۴	,۳۲	,۲۲	,۲۴	,۳۱	,۲۱	,۱۷
CCr	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
CFe <sup>3</sup>	,۷۵	,۲۲	,۴۴	,۳۲	,۸۹	,۲۵	,۳۵	,۲۸	,۳۸	,۳۳	,۶۵	,۵۳	,۶۶
CTi	,۱۱	,۱۰	,۱۱	,۱۰	,۰۵	,۰۹	,۰۹	,۰۵	,۱۱	,۱۳	,۰۹	,۱۰	,۰۳
CMg	۲۸۱	۱,۷۷	۱,۸۱	۱,۸۷	۲۲۷	۱,۸۳	۱,۹۶	۲۳۳	۲,۲۴	۲۲۶	۲,۲۴	۲,۳۶	۲,۵
CFe <sup>2</sup>	۲,۰۵	۲,۲۶	۲,۱۳	۲,۱۷	۱,۶۲	۲,۱۸	۲,۱۵	۱,۹۹	۲,۰۲	۲,۰۲	۱,۶۸	۱,۷۷	۱,۶۲
CMn	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۴	,۰۲	,۰۲	,۰۳	,۰۳	,۰۲	,۰۳	,۰۳	,۰۳
CCa	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
Sum_C	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
BMg	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
BFe2	,۰۵۶	,۰۷۹	,۱۲	,۰۸	,۲۱	,۱۰	,۰۹	,۰۷	,۰۹	,۰۸	,۱۹	,۱۴	,۱۷
BMn	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۲	,۰۵	,۰۲	,۰۲	,۰۳	,۰۲	,۰۳	,۰۳	,۰۳	,۰۳
BCa	۱,۸۳	۱,۷۹	۱,۷	۱,۷۸	۱,۴۷	۱,۷۴	۱,۷۶	۱,۷۹	۱,۷۶	۱,۷۷	۱,۵۴	۱,۶۴	۱,۵۸
BNa	,۰۹	,۱۱	,۱۶	,۱۲	,۰۹	,۱۴	,۱۳	,۱۱	,۱۳	,۱۲	,۱۵	,۱۲	,۰۸
Sum_B	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۸۱	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۲,۰۰	۱,۹۱	۱,۹۳	۱,۸۶
ACa	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·	·
ANa	,۱۴۱	,۲۷	,۲۱	,۲۷	,۰۹	,۲۵	,۲۳	,۱۴	,۱۴	,۱۴	,۱۵	,۱۲	,۰۹
AK	,۰۸	,۱۲	,۱۲	,۱۱	,۰۵	,۱۱	,۱۰	,۰۵	,۰۸	,۰۸	,۰۷	,۰۷	,۰۴
Sum_A	,۲۲	,۳۹	,۲۳	,۳۸	,۱۴	,۳۶	,۳۲	,۱۹	,۲۲	,۲۳	,۲۳	,۲۰	,۱۲
مجموع کاتیون	۱۵,۲۰	۱۵,۴۰	۱۵,۳۳	۱۵,۴	۱۴,۹	۱۵,۳۶	۱۵,۳۲	۱۵,۲	۱۵,۲	۱۵,۲۳	۱۵,۱۴	۱۵,۱۲	۱۴,۹۸
مجموع اکسیژن	۲۳,۰۱	۲۳,۰۶	۲۳,۰۲	۲۳,۰۲	۲۳,۰۰	۲۳,۰۹	۲۳,۰۲	۲۳,۰۲	۲۳,۰۰	۲۳,۰۲	۲۳,۰۴	۲۳,۰۳	۲۳,۰۱

جدول ۴ آنالیزهای ریزپردازشی الکترونی از آمفیبولهای سنگ‌های کوارتزمنزوزدیوریتی و دیوریتی میشو.

شماره نمونه	A2-41-9	A2-41-9	A2-41-9	A2-41-10	A2-41-10	A2-41-10	A2-41-10	A2-41-11	A2-43-1-1	A2-43-1-1	A2-43-1-1	A2-43-1-2	A2-43-1-2
موقعیت آنالیز	حاشیه	میانه	هسته بیرونی	هسته	میانه	حاشیه داخلی	حاشیه خارجی	هسته	میانه	حاشیه	میانه	حاشیه	هسته
SiO <sub>2</sub>	۴۷/۴۲	۴۹/۴۱	۴۹/۹	۴۷/۸۶	۴۹/۷۴	۴۶/۷۴	۴۷/۴۳	۴۵/۸۳	۵۱/۶۲	۵۱/۸۴	۵۲/۵۷	۵۳/۶۱	۵۲/۸۹
TiO <sub>2</sub>	.۵۵	.۴۲	.۳۹	.۴۰	.۹۳	.۳۸	.۹۰	.۴۸	.۸۳	.۹۶	.۱۵	.۱۴	.۲۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۹۴	۶/۰۰	۵/۳۵	۷/۰۲	۵	۷/۳۶	۷/۸۵	۱۰/۰۱	۴/۸۵	۴/۹۹	۳/۵۴	۳/۵۱	۳/۷۸
FeO	۲۱/۱	۲۰/۷۱	۲۰/۴۳	۲۱/۷۸	۱۹/۹۲	۲۳/۴۴	۱۹/۵۱	۲۰/۰۶	۱۳/۷	۱۳/۱۴	۱۵/۳۰	۱۴/۵	۱۵/۸۱
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	.	.	.	.	.	.	.	.	.۱۴	.۰۲	.۰۳	.۰۱	.۰۳
MnO	.۴۶	.۵۱	.۴۹	.۵۲	.۴۴	.۶۰	.۳۰	.۳۴	.۱۶	.۱۴	.۲۸	.۲۰	.۳۲
MgO	۹/۷۷	۱۰/۹۷	۱۱/۲۱	۱۰/۰۳	۱۰/۷۵	۹/۷۲	۹/۶۴	۸/۵۹	۱۴/۵۸	۱۵/۱۱	۱۴/۵۷	۱۵/۴۹	۱۴/۵۷
CaO	۹/۸۵	۹/۳۸	۹/۵۷	۹/۵۳	۱۰/۴۰	۷/۸۳	۱۱/۲۶	۱۱/۳۰	۱۱/۷۷	۱۱/۳۷	۱۰/۹۲	۱۰/۷۵	۱۰/۲۲
Na <sub>2</sub> O	۱/۱۹	.۸۱	.۸۲	۱/۰۰	.۸۵	۱/۰۶	.۱۰	۱/۳۲	.۵۶	.۷۶	.۳۳	.۲۸	.۴۲
K <sub>2</sub> O	.۴۲	.۲۶	.۲۴	.۳۲	.۳۹	.۳۳	.۴۹	.۵۲	.۳۶	.۳۷	.۲۵	.۱۹	.۲۲
total	۹۸/۵۰	۹۸/۴۶	۹۸/۴۰	۹۸/۴۵	۹۸/۴۲	۹۸/۴۶	۹۸/۴۳	۹۸/۴۵	۹۸/۵۵	۹۸/۷۰	۹۷/۹۴	۹۸/۶۶	۹۸/۵۵
TSi	۷/۰۰	۷/۲	۷/۲۸	۷/۰۳	۷/۳۳	۶/۹۹	۷/۰۴	۶/۸۳	۷/۴۰	۷/۳۹	۷/۵۵	۷/۵۸	۷/۵۳
TAI	۱/۰۱	.۸۰	.۷۲	.۹۶	.۶۷	۱/۰۹	.۹۶	۱/۱۷	.۶۱	.۶۱	.۴۶	.۴۲	.۴۷
TFe <sup>۳</sup>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
TTi	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum_T	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸	۸
CAI	.۳۶	.۲۴	.۲۰	.۲۵	.۲۰	.۲۶	.۴۱	.۵۹	.۲۱	.۲۳	.۱۴	.۱۶	.۱۶
CCr	.	.	.	.	.	.	.	.	.۰۲	.	.	.	.
CFe <sup>۳</sup>	.۶۹	.۸۱	.۷۵	.۸۱	.۴۶	۱/۱۷	.۲۷	.۲۶	.۲۵	.۳۱	.۵	.۵۶	.۶۳
CTi	.۰۶	.۰۵	.۰۴	.۰۴	.۱۰	.۰۴	.۱۰	.۰۵	.۰۹	.۱۰	.۰۲	.۰۲	.۰۳
CMg	۲/۱۵	۲/۳۸	۲/۴۴	۲/۲	۲/۳۶	۲/۱۲	۲/۱۳	۱/۹۱	۳/۱۱	۳/۲۱	۳/۱۲	۳/۲۶	۳/۰۹
CFe <sup>۲</sup>	۱/۷۱	۱/۵۰	۱/۵۴	۱/۶۷	۱/۸۵	۱/۳۷	۲/۰۷	۲/۱۷	۱/۳۱	۱/۱۵	۱/۲۰	.۹۹	۱/۰۷
CMn	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۴	.۰۲	.۰۲	.۰۱	.۰۱	.۰۲	.۰۱	.۰۲
CCa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Sum_C	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵	۵
BMg	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
BFe <sup>۲</sup>	.۲	.۲۲	.۲۱	.۲۰	.۱۴	.۳۳	.۰۸	.۰۷	.۰۸	.۱۲	.۱۳	.۱۶	.۱۸
BMn	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۳	.۰۴	.۰۲	.۰۲	.۰۱	.۰۱	.۰۲	.۰۱	.۰۲
BCa	۱/۵۲	۱/۴۷	۱/۵۰	۱/۵۰	۱/۶۴	۱/۲۳	۱/۷۹	۱/۸۰	۱/۸۱	۱/۷۴	۱/۶۸	۱/۶۳	۱/۵۷
BNa	.۱۷	.۱۱	.۱۱	.۱۴	.۱۲	.۱۵	.۱۱	.۱۰	.۰۸	.۱۰	.۰۵	.۰۴	.۰۶
Sum_B	۱/۹۲	۱/۸۳	۱/۸۵	۱/۸۸	۱/۹۳	۱/۷۴	۲/۰۰	۲/۰۰	۱/۹۷	۱/۹۶	۱/۸۸	۱/۸۴	۱/۸۳
ACa	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
ANa	.۱۷	.۱۲	.۱۲	.۱۵	.۱۲	.۱۵	.۱۷	.۲۸	.۰۸	.۱۱	.۰۵	.۰۴	.۰۶
AK	.۰۸	.۰۵	.۰۵	.۰۶	.۰۷	.۰۶	.۰۹	.۱۰	.۰۷	.۰۷	.۰۵	.۰۳	.۰۴
Sum_A	.۲۵	.۱۷	.۱۶	.۲۰	.۲۰	.۲۲	.۲۷	.۳۸	.۱۴	.۱۷	.۰۹	.۰۷	.۱۰
مجموع کاتیون	۱۵/۱۷	۱۵	۱۵/۰۱	۱۵/۰۸	۱۵/۱۳	۱۴/۹۶	۱۵/۲۷	۱۵/۳۸	۱۵/۱۲	۱۵/۱۴	۱۴/۹۷	۱۴/۹۱	۱۴/۹۳
مجموع اکسیجن	۲۳/۰۴	۲۳/۰۳	۲۳/۰۳	۲۳/۰۰	۲۳/۰۶	۲۳/۰۳	۲۳/۰۴	۲۳/۰۳	۲۳/۰۳	۲۳/۰۶	۲۳/۰۱	۲۳/۰۲	۲۳/۰۴

جدول ۵ آنالیزهای ریزپردازشی الکترونی از کلینوپیروکسن‌های سنگ‌های دیوریتی میشو:

## سنگنگاری گرانودیبوریت‌ها

غالب در نمونه‌های دیوریتی هستند. کانی‌های فرعی موجود در این مجموعه شامل ارتوکلاز (۵-۶٪)، کوارتز (۴-۵٪)، زیرکن و کانی‌های کدر (ایلمنیت) هستند که بیانگر محتوای بالای زیرکن ماگما حین تبلور کلینوپیروکسن است.

بافت کوارتز مونزوودیبوریت‌ها پورفیری بوده و پلاژیوکلاز (۴۵-۴۷٪)، آمفیبول (۱۰-۱۵٪)، بیوتیت (۹-۱۰٪)، کوارتز (۱۴-۱۵٪) و ارتوکلاز (۱۰-۱۲٪) کانی‌های اصلی آنها را تشکیل می‌دهند. کلسیت، سریسیت، اکسیدهای آهن، کلریت و گاه بیوتیت (بر اثر عملکرد دگرنهادی پتانسی بر آمفیبول‌ها به وجود آمده‌اند (بیوتیت‌زایی) نیز به صورت کانی‌های ثانویه در آنها دیده می‌شوند. در بیشتر مقاطع کوارتز‌مونزوودیبوریت‌ها، فراوانی آمفیبول‌ها بیشتر از بیوتیت‌های اولیه بوده و دارای منطقه‌بندی شیمیایی هستند.

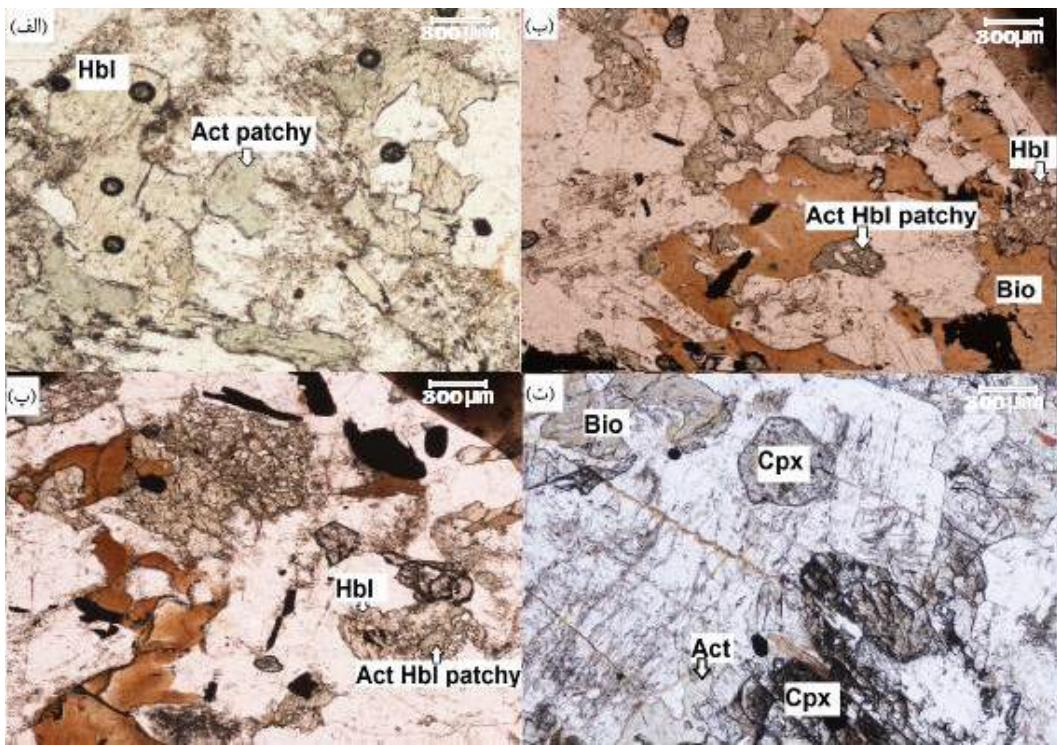
آمفیبول‌ها را می‌توان از روی سیستم رخ، زاویه‌ی خاموشی، رنگ و چندرنگی آنها از دیگر کانی‌ها شناسایی کرد. هورنبلند دارای چندرنگی سبزتیره تا سبززیتونی یا سبز متمایل به قهوه‌ای است. آکتینولیت دارای چندرنگی سبز کمرنگ یا فاقد رنگ بوده و آکتینولیت هورنبلند دارای چندرنگی سبز-آبی کمرنگ تا سبز است [۶]. این گروه‌های شیمیایی متفاوت، دارای ترکیب شیمیایی متفاوتند. همچنین بین درصد وزنی Al Act: ۰.۵-۳.۵٪، Hbl: ۳.۷-۴.۷٪، Hbl: ۵-۱۰٪ با نوع آمفیبول ارتباط وجود دارد [۶]:

Hbl: 3.7-4.7%, Hbl: 5-10%  
در گرانودیبوریت‌ها با بافت پورفیری مرکز نیمه شکلدار مگنزیوهرنبلند در تماس با انبوهای سبزکم رنگ آکتینولیتند (شکل ۲-الف). حواشی آکتینولیت همگن است، به استثنای آنهایی که یک منطقه بندی ضعیف به سمت مقادیر Mg بالاتر به سمت حواشی انبوهای شکلدار مگنزیوهرنبلند دارای کمی از بلورها، منشورهای شکلدار مگنزیوهرنبلند دارای حواشی همگن آکتینولیت هورنبلند بوده که به انبوهای آکتینولیت (نمونه‌ی شماره ۰۱۸-۶) یا حواشی از مگنزیوهرنبلند (نمونه شماره ۰۱۸-۱) ختم می‌شوند. بلورهای آمفیبول در این سنگ‌ها به صورت قطعه قطعه همراه با بیوتیت‌های ثانویه در راستای شکستگی‌ها بوده، ولی هیچ فعالیتی در طول این شکستگی‌ها دیده نمی‌شود.

نمونه‌ی دستی این سنگ‌ها به صورت درشت بلور با ساخت توده‌ایست. بافت غالب این سنگ‌ها بیشتر دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار است ولی گاهی بافت‌های میکرو نگاشتی و میکروپریتیت نیز نشان می‌دهند. از نظر کانی شناسی اصلی، این سنگ‌ها از کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز، بیوتیت و آمفیبول تشکیل شده‌اند. کوارتز (۳۰-۳۵٪) به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار با خاموشی موجی، حاشیه مضرس و شکستگی‌های فراوان دیده می‌شود. پلاژیوکلاز (۲۰-۲۵٪) به صورت نیمه‌شکل‌دار همراه با منطقه‌بندی و ماکل پلی‌سینتیک، بیشترین سهم کانی‌ای را به خود اختصاص داده و غالباً دستخوش دگرسانی شده است که گاهی دگرسانی در بخش‌های مرکزی بلور با شدت بیشتری صورت گرفته است و مجموعه کانی‌های سریسیت و اپیدوت از این تجزیه حاصل شده‌اند. بلورهای ارتوکلاز (۱۸-۱۹٪) که برخی از آنها دگرشکل شده و ضمن دگرشکلی به میکروکلین تغییر یافته‌اند، دارای ماکل کارلسbadند. در برخی از نمونه‌ها، ارتوکلاز به صورت هاله‌ای پلاژیوکلازها را احاطه کرده و بافت آنتی راپاکیوی را ایجاد کرده‌است. بیوتیت و آمفیبول با فراوانی ۱۰-۱۵٪ مهمترین کانی‌های مافیک تشکیل دهنده‌ی این واحدند که به دو صورت درشت‌دانه و انواع ریزدانه همراه با بلورهای پلاژیوکلاز مشاهده می‌شوند. ایلمنیت، زیرکن، آپاتیت، اسفن و مقادیر ناچیزی تورمالین کانی‌های فرعی این واحد را تشکیل می‌دهند.

## دیبوریت‌ها و کوارتز مونزوودیبوریت‌ها

دیبوریت‌ها همراه با کوارتز‌مونزوودیبوریت‌ها در حاشیه‌ی شرقی توده‌ی بروند داشته و کمتر از ۱۰ درصد حجم توده را تشکیل می‌دهند. دیبوریت‌ها دارای بافت پورفیری بوده و کانی‌های اصلی آن عبارتند از پلاژیوکلاز (۴۸-۵۰٪)، پیروکسن (دیوپسید) (۲۵-۳۰٪) و آمفیبول (۸-۱۰٪). پلاژیوکلاز مهمترین کانی فلزیک آنهاست و دارای ماکل پلی‌سینتیک، خاموشی موجی و منطقه‌بندی ترکیبی بوده و نیمه شکل دارند که در اثر دگرسانی به کلسیت و گاه سریسیت و سوسوریت تجزیه شده‌اند. پیروکسن و آمفیبول فراوانترین کانی‌های مافیک



شکل ۲ تصاویر میکروسکوپی سنگهای حدواسط گرانیتوئید میشو. (الف) فنوکریستهای هورنبلندهای همراه لخته‌های آکتینولیت در گرانودیوریت‌ها (P.P.L)، (ب و ب') بلورهای هورنبلندهای سبز و لخته‌های آکتینولیت هورنبلندهای کوارتز مونزو-دیوریت‌ها (P.P.L)، (ت) تجزیه کلینوپیروکسن به آکتینولیت در دیوریت‌ها (P.P.L). علائم اختصاری به کار برده شده در تصاویر میکروسکوپی به این شرح‌اند: Hbl = هورنبلندهای سبز، Act Hbl = آکتینولیت هورنبلندهای سبز، Bio = بیوتیت، Cpx = کلینوپیروکسن، Act = آکتینولیت، Cpx = کلینوپیروکسن، Hbl = هورنبلندهای سبز.

در دیوریت‌های با بافت پورفیری، کلینوپیروکسن‌ها دارای ترکیب دیوپسید بوده (شکل ۴-الف) و به صورت فنوکریست دیده‌می‌شوند. این فنوکریست‌ها با یک تغییر سیستماتیک به صورت هسته‌هایی از کلینوپیروکسن با مرزهای تندری با حواشی آکتینولیت (شکل ۲-ت) و یا آکتینولیت هورنبلندهای دیده می‌شوند. کلینوپیروکسن‌ها در هسته‌ها، منشورهایی شکل دار تا نیمه‌شکل دار تشکیل داده‌اند.

همه‌ی آمفیبولهای آنالیز شده دارای مرکزی با غنی‌شدگی ناچیز از Al و Na (مگنزیو-هورنبلندهای و آکتینولیت هورنبلندهای) هستند که در حاشیه‌ی بعضی نمونه‌ها این غنی‌شدگی باز تکرار می‌شود (شکل ۳). در بسیاری موارد، فنوکریست‌ها هسته‌هایی با مرزهای مشخص، با حواشی با ترکیب متفاوت دارند. حواشی با ترکیب متفاوت در فنوکریست‌ها نشان‌دهنده‌ی یک ارتباط واکنشی با مagma است. نتایج بررسی‌های بافتی نشان می‌دهد، کلینوپیروکسن، مگنزیو-هورنبلندهای و گاهی اوقات آکتینولیت هورنبلندهای دارای شکل بلوری مشخص بوده و هسته‌هایی

در کوارتز-مونزو-دیوریت‌ها با بافت پورفیری، فنوکریست‌های آمفیبول یک بافت تکه تکه داشته و شامل مگنزیو-هورنبلندهای نیمه شکل دار با انبوه‌هایی از آکتینولیت هورنبلندهای (شکل ۲-ب و ۲-پ) که مشابه با محدوده‌های تشریح شده توسط [۷] هستند. در برخی نمونه‌ها منطقه بندی ترکیبی با هسته‌هایی از مگنزیو-هورنبلندهای در مرکز شروع شده، و با آکتینولیت هورنبلندهای داده باز به مگنزیو-هورنبلندهای ختم می‌شود (نمونه‌ی شماره A2-41-10). در نمونه‌های دیگر هسته‌هایی با ترکیب آکتینولیت هورنبلندهای با حاشیه‌هایی با ترکیب مگنزیو-هورنبلندهای در برگرفته می‌شوند (نمونه‌ی شماره A2-41-9). از طرف دیگر در بعضی نمونه‌ها آکتینولیت هورنبلندها تشکیل انبوه‌هایی از میکروفنوکریست‌های نیمه شکل دار داده و فضای بین بلورهای مگنزیو-هورنبلندهای را پر کرده‌اند. انبوه‌های موجود در حاشیه‌ی آمفیبولهای نتیجه‌های از واکنش‌های نیمه جامد در حضور شاره‌های وارد شده‌است [۸].

وجهی و A با جانشینی  $\text{Al}^{IV}$  متعادل نمی‌شود. این ظرفیت اضافی ممکن است با جانشینی Na به جای Ca در مکان‌های M4 جبران شود [۱۲]. روند خطی مشاهده شده در نمودار  $\text{Al}^{IV}$  نسبت به Sum-A- $\text{Na}_B$  نشانه‌ی جانشینی نوع ادنیت در نمونه‌های مورد بررسی است (شکل ۵-الف). در نمودار سه تایی  $\text{Al}^{VI}$  و Sum-A  $\text{Al}^{IV}$  هر دو نوع جانشینی ادنیت و چرمک در مقابل هم ترسیم شده‌اند (شکل ۵-ب). چنانکه ملاحظه می‌شود آمفیبول‌های کلسیک آنالیز شده همبستگی عمومی از افزایش متشكله چرمک و ادنیت نشان می‌دهند [۱] و نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آمفیبول‌های بررسی شده توسط [۱] قرار گرفته‌اند. علاوه بر این نسبت‌های  $\text{Na}^A/\text{Al}^{IV}$  و  $\text{Ca} + \text{Na}_B > 1.3$ ,  $(\text{Ca} + \text{Na})_B \geq 1$  بررسی رابطه‌ی [۶] برقرار است، بنابراین تمامی آمفیبول‌های آنالیز شده از سنگ‌های گرانیتوئیدی جزء آمفیبول‌های کلسیک هستند. در رده‌بندی آمفیبول‌های کلسیک بر مبنای نمودار  $\text{Al}^{IV}$  نسبت به Sum-A [۱۰] نقاط آنالیز شده در گستره‌های  $\text{Al}^{IV}/\text{Al}^{VI}$  در آمفیبول‌های چرمکیت  $\text{AlAlSi}_{1.1}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_{0.1}$ ,  $\text{NaAlCa}_{1.1}(\text{Mg}, \text{Fe})$  و گلوكوفان  $\text{NaAlSi}_{1.1}(\text{Mg}, \text{Fe})$  ادنیت [۱۳] در آمفیبول‌های کلسیک مورد بررسی هستند [۱]. در آمفیبول‌های کلسیک موردنامودار تغییرات  $\text{Al}^{IV}$  نسبت به Ti تمام آمفیبول‌ها کاهش گردد [۴-ب]. این تغییرات در فرمول ساختاری خود دارند (شکل ۵-پ) بطوری که با کاهش میزان  $\text{Al}^{IV}$  مقدار Ti در آمفیبول‌ها کاهش می‌یابد که این کاهش ناشی از افزایش Si در ساختار بلور است. در نمودار  $\text{Mg}/\text{Fe}^T + \text{Mg}$  نسبت به  $\text{Al}^{IV}$  آمفیبول‌های مورده بررسی یک ارتباط خطی منفی بین Mg و  $\text{Al}^{IV}$  برای مگنزیوهوربنلند، اکتینولیت هوربنلند و اکتینولیت نشان می‌دهند (شکل ۵-ت) و در برخی بلورها افزایشی از دهنده (شکل ۵-ت) نیز نشان می‌دهد که گریزندگی اکسیژن همزمان با افزایش سیلیس ماقماست [۱۴, ۷]. این نشان می‌دهد که گریزندگی اکسیژن حین تبلور آمفیبول افزایش یافته است، بطوری که آمفیبول‌های نیمه جامد دارای Mg بالاتری هستند. بر اساس نمودار  $\text{Si}$  نسبت به  $(\text{Na} + \text{Ca} + \text{K})$  [۱۵] بیشتر نقاط آنالیز شده از آمفیبول‌های موردنامودار در گستره‌ی آمفیبول‌های ماگمایی (آذرین) و درصد کمی از آنها که به احتمال زیاد به واکنش‌های شبه جامد وابسته اند، در گستره‌ی آمفیبول‌های دگرگون قرار می‌گیرند (شکل ۶-الف). با استناد به [۱۶]، حضور آمفیبول‌های ماگمایی نشان می‌دهد که ماگما باقیتی دارای  $\text{Al}^T$  مقدار زیادی آب بوده باشد. ارتباط منفی شدید بین Mg و  $\text{Al}^T$  در نمونه‌های موردنامودار بررسی، و نیز ارتباط خطی مثبت بین Mg و Si و ارتباط منفی بین Mg و  $(\text{Na} + \text{K})_A$  نشان می‌دهد که این

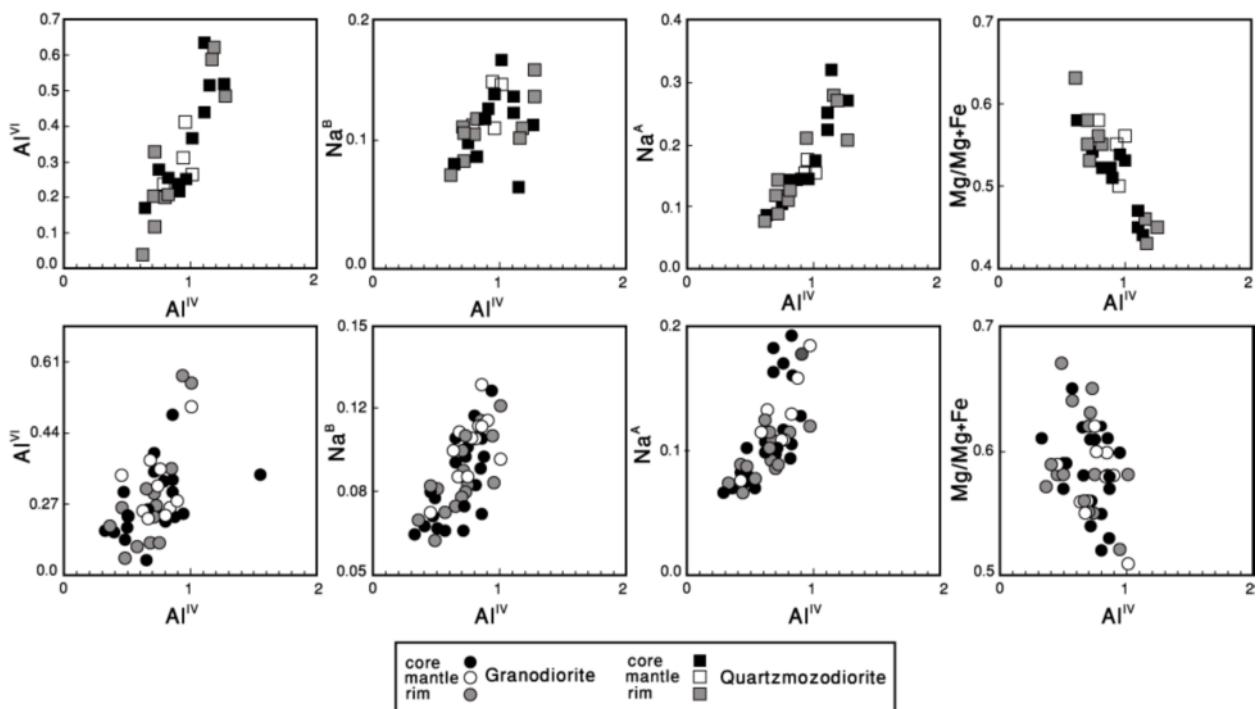
بلوری را به خود اختصاص داده‌اند، فازهای اولیه تبلور یافته بوده و هسته‌های فنوکریست‌ها را با حواشی از آکتینولیت هوربنلند، آکتینولیت و مگنزیوهوربنلند تشکیل داده‌اند. آکتینولیت و آکتینولیت هوربنلند به شکل انبوهه یا به صورت بین بلوری همراه با این کانی‌ها یافت می‌شوند. بر پایه‌ی شواهد بافتی می‌توان گفت که مگنزیوهوربنلندها خاستگاه آذرین دارند، زیرا به صورت بلورهایی با شکل بلوری مشخص دیده می‌شوند.

### ترکیب شیمیایی آمفیبول و پیروکسن

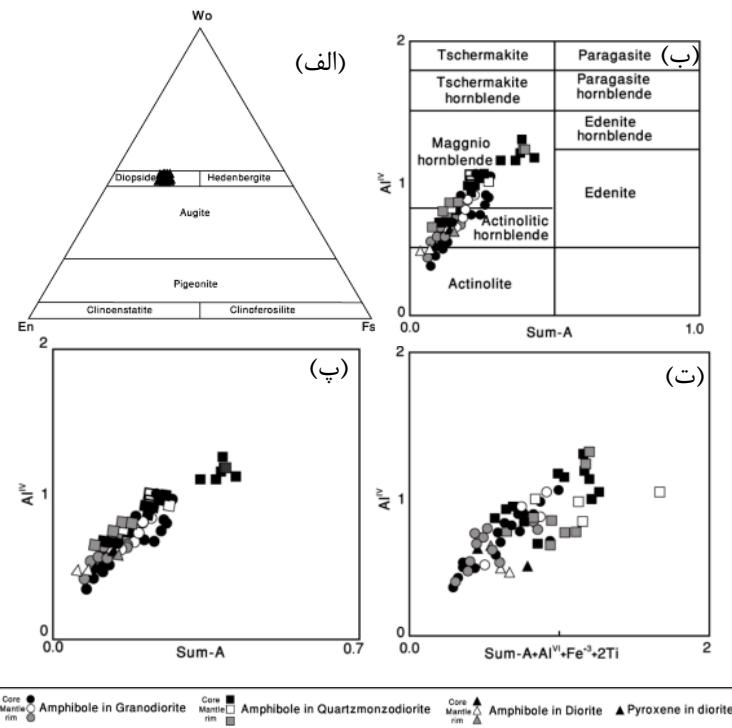
فرمول ساختاری آمفیبول بر اساس CNK-13-15-NK محاسبه شده است [۹]. از آنجا که در تمامی آمفیبول‌های موردنامودار بررسی رابطه‌ی  $\text{Na}_B < 0.5$  و  $\text{Ca} + \text{Na}_B > 1.3$ ,  $(\text{Ca} + \text{Na})_B \geq 1$  برقرار است، بنابراین تمامی آمفیبول‌های آنالیز شده از سنگ‌های گرانیتوئیدی جزء آمفیبول‌های کلسیک هستند. در رده‌بندی آمفیبول‌های کلسیک بر مبنای نمودار  $\text{Al}^{IV}$  نسبت به  $\text{Al}^{IV}/\text{Al}^{VI}$  [۱۰] نقاط آنالیز شده در گستره‌های مگنزیوهوربنلند، آکتینولیت هوربنلند و آکتینولیت قرار می‌گیرند (شکل ۴-ب). این تنوع شیمیایی نشان‌دهنده‌ی چندین جانشینی در آمفیبول‌های کلسیک است که در نمودارهای دوتایی و سه تایی نمایش داده شده‌اند. در نمودار شکل ۴-پ تغییرات Sum-A به  $\text{Al}^{IV}$  همه‌ی آمفیبول‌ها بیانگر جانشینی کاتیون‌های مکان A در موضع مکان T1 هستند [۱]. این نمودار نشان‌دهنده‌ی جانشینی همزمان درون مکان T1 و  $\text{Na} + \text{K}$  در درون مکان A است. بررسیهای انجام شده توسط [۱۱] نشان داد که مقدار کاتیون‌های  $\text{Fe}^{+3}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Na}_A$  و  $\text{K}_A$  در شبکه‌ی آمفیبول و جانشینی آنها به جای یکدیگر وابسته به مقدار Al موجود در موقعیت چهاروجهی ساختار بلور است. در حالت ایده‌آل که تفاوت ترکیبی آمفیبول‌ها وابسته به این  $2\text{Ti} + \text{Al}^{VI} + \text{Fe}^{+3}$  جایگزینی است، می‌بایست مجموعه کاتیونی  $\text{Na}_A + \text{K}_A$  و نیز کاتیون‌های موجود در مکان A که شامل Al هستند رابطه‌ی خطی مستقیم با مقدار کاتیون‌های  $\text{Al}^{IV}$  هستند. چهاروجهی داشته باشند. در شکل ۴-ت تغییرات  $\text{Al}^{IV}$  نسبت به  $\text{Na} + \text{K}$  به نمایش گذاشته شده است. جانشینی  $\text{Al}^{IV}$  به جای Si در مکان‌های چار وجهی در هر سه نوع آمفیبول با جانشینی  $\text{Al}^{VI}$ ,  $\text{Fe}^{+3}$  و  $\text{Ti}$  در مکان‌های هشت وجهی و  $\text{Na} + \text{K}$  در مکان A متعادل می‌شود که با رابطه‌ی خطی مستقیم در شکل ۴-ت نمایش داده شد [۱۲]. در صورت کمود ناچیز در مقدار  $\text{Al}^{IV}$  ظرفیت اضافی مکان‌های هشت

Fe از یک ماقمای به شدت جدایشی متبلور شده‌اند [۱۷]. با توجه به این نکته می‌توان گفت که پیروکسن‌های منطقه با  $Mg\# = ۶۹-۷۳$ ، احتمالاً از یک ماقمای اولیه در دمای بالا متبلور شده‌اند. توزیع Si و Al در پیروکسن‌های مورد بررسی به گونه‌ای است که همه‌ی نمونه‌ها در نمودار  $Si$  نسبت به Al کل در بالای خط اشباع جایگاه تترائدری ( $Si+Al=۲$ ) مذبور قرار می‌گیرند (شکل ۶-ب). حضور نمونه‌ها در بالای خط اشباع، معرف کلینوپیروکسن‌هایی است که موقعیت چاروجه‌ی ساختار آنها تماماً با کاتیون‌های Si و Al موجود در ترکیب پیروکسن پر شده‌است و به همین دلیل دیگر نمی‌تواند پذیرای Ti باشد. همچنین در نمودار  $Ti$  نسبت به  $Al^{IV}$  نمونه‌های دیوریتی تهی‌شدگی از Ti نشان می‌دهند [۱۸] (شکل ۶-پ). ویژگی‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهد اولین کانی‌های تبلور یافته کلینوپیروکسن و مگنزیوهرنبلند بوده‌اند. با پیشرفت فرایند تبلور کلینوپیروکسن ناپایدار شده و به وسیله‌ی آکتینولیت جایگزین شده‌است. آکتینولیت هورنبلندهای همگن موجود در مراکز یا حواشی بلورها نشان‌دهنده‌ی خاستگاه آذرین این بلورها و یا واکنش بلور با ماقما (جدایش در جای ماقما) است [۱۹]. اما انبوه‌های آکتینولیت احتمالاً نتیجه‌ای از واکنش‌های نیمه جامد در حضور شاره‌های تراوش یافته‌اند.

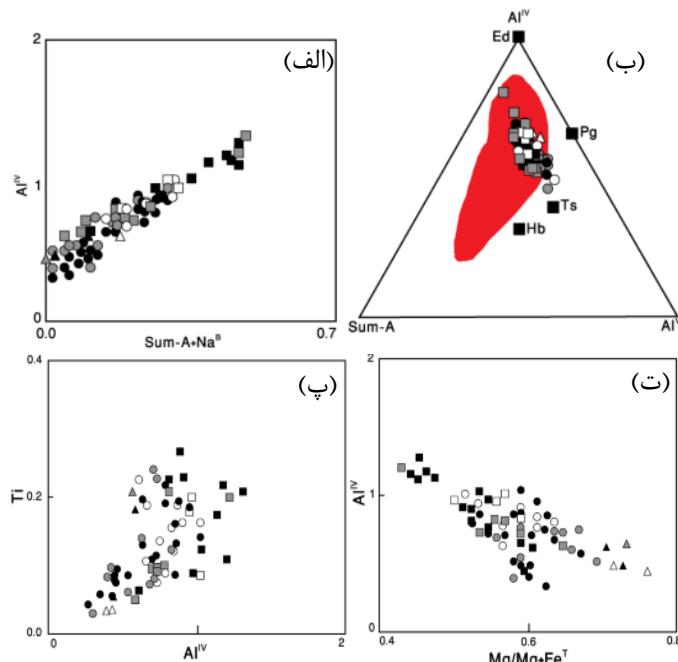
تغییر شیمیایی با افزایش Si، کاهش کاتیون‌های اشغال کننده مکان A همراه است، و به طور کلی بیان کننده‌ی تغییرات ترکیبی سریع در آمفیبولهای مورد بررسی است. به طور کلی همه‌ی روندها نشان می‌دهند که تغییر ترکیب در آمفیبولهای کلسیک نشان‌دهنده‌ی تغییر در شرایط فیزیک‌شیمیایی ماقما (مانند کاهش دما) هستند [۹]. بیشتر بلورهای آمفیبول شامل انبوه‌هایی با طیف ترکیبی از آکتینولیت هورنبلند تا آکتینولیت هستند، ولی با گرایش عمومی در افزایش مقدار Si و Mg، که می‌تواند بیانگر پیشرفت فرایند تبلور باشد. پیروکسن یکی از مهمترین فنوکریسته‌های موجود در سنگ‌های دیوریتی توهدی گرانیت‌توئیدی می‌شود (جدول ۵). پیروکسن‌های موجود در این سنگ‌ها از نوع کلینوپیروکسن هستند. بررسی ترکیب کلینوپیروکسن‌ها در نمودار Wo-En-Fs نشان می‌دهد، نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی دیوپسید قرار می‌گیرند (شکل ۴-الف). ترکیب پیروکسن‌ها در سنگ‌های دیوریتی دربرگردانی طیفی از Wo<sub>47.8</sub>-En<sub>36.0</sub>-Fs<sub>16.3</sub> تا Wo<sub>45.9</sub>-En<sub>36.4</sub>-Fs<sub>17.7</sub> با عدد منیزیم (Mg/[Mg+Fe]) در حدود ۶۹-۷۳ هستند. پژوهشگران بالا باورند که کلینوپیروکسن‌هایی با عدد منیزیم بالا (Mg/[Mg+Fe]>۰.۷۰) از یک ماقمای اولیه و کلینوپیروکسن‌های غنی از



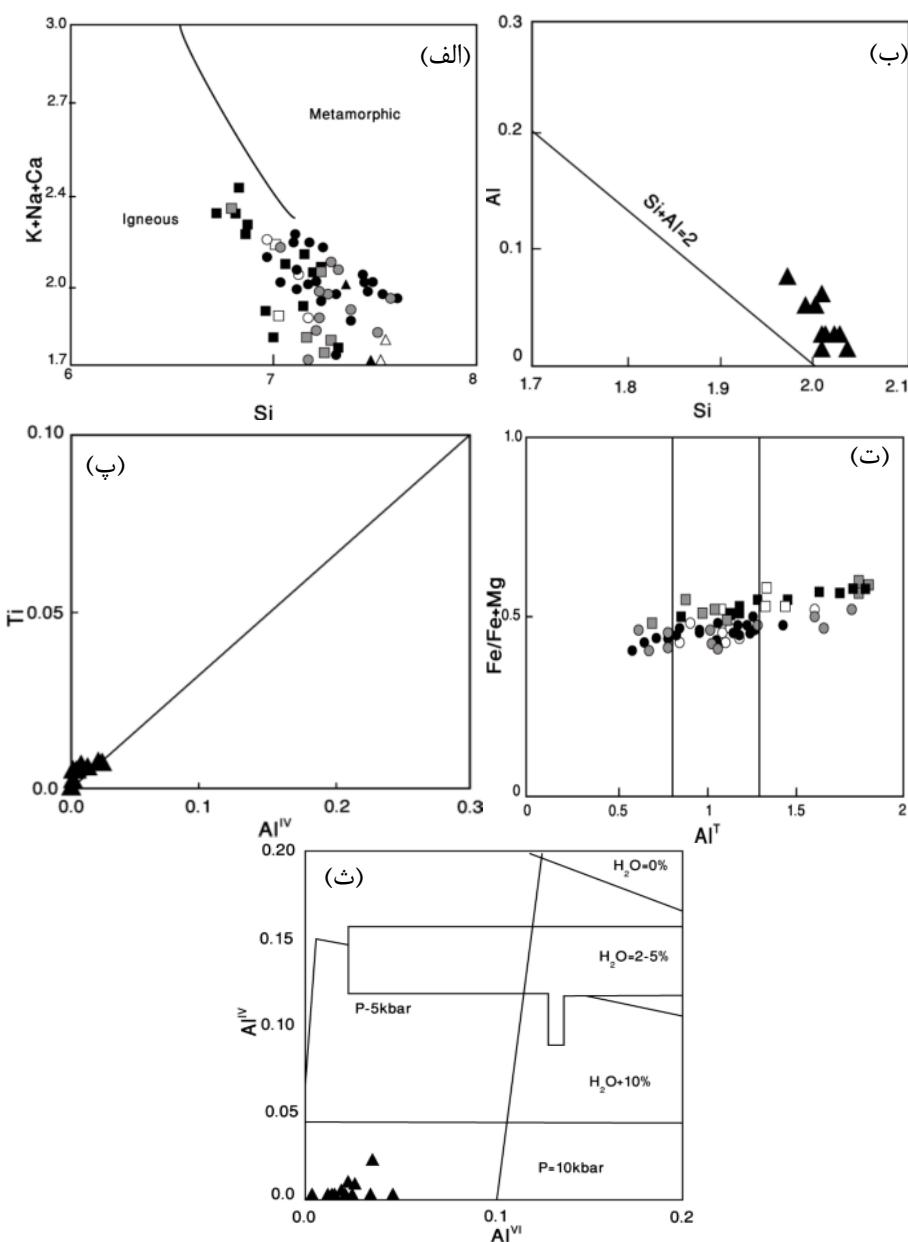
شکل ۳ تغییر ترکیب شیمیایی آمفیبول از مرکز به حاشیه در آمفیبولهای بررسی.



شکل ۴ (الف) ترکیب کلینوبیروکسن‌های منطقه روی نمودار مثلثی ولاستونیت (Wo)، انساتیت (Fs)، بر اساس ترکیب شیمیایی آنها [۶]، (پ، ت) نمودار تغییرات Al چهار وجهی نسبت به مکان A [۱۰]، در برابر تغییرات  $\text{Sum-A} + \text{Al}^{\text{VI}} + \text{Fe}^{3+} + 2\text{Ti}$  [۱۲]. (چنانکه در این نمودارها مشاهده می‌شود تغییرات در ترکیب با جانشینی‌های چرماتیت-ادنیت و جانشینی Na+K در درون مکان A کنترل می‌شوند).



شکل ۵ (الف) تغییرات Al چاروجهی نسبت به تغییرات  $\text{Na}^{\text{B}} + \text{Sum-A}$  [۱۲]، (ب) نمودار سه تایی Al چاروجهی نسبت به مکان A هست و چهی که بیانگر جانشینی‌های صورت گرفته در ساختار آمفیبول است [۱۰] (گستره‌ی هاشورزده شامل آمفیبول‌های بررسی شده توسط [۱] است). (پ) نمودار تغییرات Ti نسبت به  $\text{Al}^{\text{IV}}$  در آمفیبول [۱۲]، (ت) نمودار تغییرات  $\text{Al}^{\text{IV}}$  به  $\text{Mg}/\text{Mg} + \text{Fe}^{\text{T}}$  که نشان‌دهنده‌ی یک ارتباط خطی منفی بین عدد Mg و Al چاروجهی است [۱۲] (در آمفیبول‌ها یک افزایش کلی در Si و Mg و کاهش در  $\text{Na} + \text{K}_A$  به سمت حاشیه دیده می‌شود که این تغییر با یک افزایش غیرخطی در  $\text{XMg}$  و کاهش در اسغال مکان A مشخص می‌شود). علائم مشابه شکل ۴ انتخاب شدند.



شکل ۶ (الف) نمودار تغییرات  $Si$  نسبت به  $Na+Ca+K$  که دو محدوده آمفیبولهای حاصل از فرایند دگرگونی و آمفیبولهای حاصل از فرایند تبلور ماغما را از هم جدا کرده است اقتباس از [۱۵]، (ب) نمودار تعیین میزان اشباع جایگاه چهاروجهی در کلینوبیروکسن‌ها (نسبت به  $Al$ ) که موقعیت چهاروجهی آنها، تماماً باکاتیون‌های  $Si$  و  $Al$  پرشده است. (پ) نمودار  $Ti$  نسبت به  $Al^{IV}$  که نشانگر تهی‌شدگی پیروکسن‌ها از  $Ti$  است [۱۸]، (ت) نمودار تغییرات  $Al^T$  نسبت به  $Fe/(Fe+Mg)$  که بر پایه‌ی آن می‌توان گستره فشار تبلور آمفیبول را برآورد کرد [۲۲] (همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود نمونه‌هایی با ترکیب همگن دارای فشاری بین ۱/۲ تا ۲/۹۸ کیلوبارند در حالی که حواشی با ترکیب آکتینولیت و آکتینولیت هورنبلند طیف فشاری از ۰/۸ تا ۴ کیلوبار را نشان می‌دهند)، (ث) توزیع آلومینیوم چاروجهی و هشت وجهی در کلینوبیروکسن‌ها به تناسب فشار و مقدار آب ماغما که بیانگر فشار در حدود ۵ کیلو بار در زمان تبلور کلینوبیروکسن‌هاست [۲۶]. علائم مشابه شکل ۴ انتخاب شده‌اند.

های کلسیک با افزایش در نسبت  $Mg/(Mg+Fe)$  و مقادیر  $K$  total  $Fe+Mg+Mn+Ca$  و  $Al$  و  $Ti$  و کاهش در  $Si$  همراهند [۲۱]. برای محاسبه‌ی شرایط فشار تبلور، بسیاری از پژوهشگران از فشارسنج  $Al$  در آمفیبول بهره جسته‌اند [۲۲] و

#### ارزیابی فشار تبلور سنگ‌ها

بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند که ترکیب آمفیبول علاوه بر فشار به دما، گریزندگی اکسیژن، ترکیب کل و فازهای همزیست بستگی دارد [۲۰]. بطوری که با افزایش دما و فشار آمفیبول-

کلینوپیروکسن‌ها بدست آمده و محتوای آب کمتر از ۱۰٪ برآورد شده است (شکل ۶-ت). با توجه به فشار محاسبه شده در توده‌های گرانودیوریتی و کوارتزمونزودیوریتی بر اساس محتوای Al در شبکه‌ی آمفیبول و فشار محاسبه شده برای تبلور کلینوپیروکسن در دیوریت‌ها (کمتر از ۵ کیلوبار) بنظر می‌رسد شروع تبلور کلینوپیروکسن‌ها در توده‌ی دیوریتی در عمق بیشتری نسبت به تبلور آمفیبول در توده‌های گرانودیوریتی و کوارتزمونزودیوریتی صورت گرفته است، ولی با توجه به همیافتنی نزدیک این توده‌ها، جایگیری آنها در عمق یکسانی انجام شده است.

### گریزندگی اکسیژن

تغییر ترکیب آمفیبول‌ها، ناشی از تغییر در گریزندگی اکسیژن و فعالیت سیلیس ماقمایی است [۲۷]. کاهش مقدار Mg در مگنزیوهرنبلند نشان‌دهنده‌ی کاهش گریزندگی اکسیژن در طول مرحله‌ی اولیه تبلور است [۲۷]. بهر حال، در مراحل نهایی تبلور شواهدی از افزایش گریزندگی اکسیژن دیده می‌شود. بطوری‌که افزایشی در نسبت  $Mg/Mg+Fe$  از ۰.۶ تا ۰.۵۹ است) در آمفیبول‌ها و حضور همزمان اسفن+کوارتز [۲۸] همراه با کلینوپیروکسن یا آمفیبول در گرانیتوئیدهای مورد بررسی حاکی از بالا بودن گریزندگی اکسیژن ماقمایی سازنده‌ی آنهاست [۲۸]. در حقیقت هر چه گریزندگی اکسیژن کمتر باشد  $Fe^{+2}/Fe_{tot}+Mg < 0.6$  (در نمونه‌های مورد بررسی بین ۰/۴۱ تا ۰/۴۳ است) در آمفیبول‌ها و حضور همزمان اسفن+کوارتز [۲۸] همراه با کلینوپیروکسن یا آمفیبول در گرانیتوئیدهای میانگین فشارهای به دست آمده از روش‌های مختلف با توجه به چگالی میانگین سنگ‌های پوسته زمین با عمق تقریبی ۶/۱ تا ۱۱/۴ کیلومتر همواری در حدود ۲/۹۸ کیلوبار را برای تبلور آمفیبول‌های ماقمایی در این توده‌ی نفوذی برآورد کرد [۲۲].

### برداشت

سنگ‌های حدوات موجود در توده گرانیتوئیدی می‌شوند که کلینوپیروکسن (دیوپسید)، آمفیبول، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز و کوارتز تشکیل شده‌اند. نتایج حاصل از ریز پردازندگی الکترونی نشان می‌دهد که آمفیبول‌های موجود در این سنگ‌ها از نوع کلسیک بوده و دارای ترکیب مگنزیوهرنبلند، اکتینولیت و هرنبلند و آکتینولیت است. این بلورها در گرانودیوریت‌ها و کوارتزمونزودیوریت‌ها چند گونه‌های شیمیایی از مرکز به سمت حاشیه نشان می‌دهند. به طوری‌که در گرانودیوریت‌ها منطقه‌ی بندی ترکیبی با هسته‌هایی از مگنزیوهرنبلند شروع شده، با

[۲۳]. از آنجا که بلورهای آمفیبول از توده گرانیتوئیدی مورد بررسی همراه با کوارتز، فلدسپار پاتاسیم، پلاژیوکلاز و بیوتیت هستند، زمین فشارسنگی بر مبنای محتوای Al در آمفیبول (هرنبلند) قابل کاربرد بوده [۲۴] و از قابلیت اطمینان بالایی برخودار است. با در نظر گرفتن این پارامترها، و به ویژه میزان  $Al_{total}$  آمفیبول، فرمول‌های زیادی تا کنون توسط پژوهشگران برای محاسبه فشار جایگیری سنگ‌های آذرین ارائه شده‌اند که قابل قبولترین آنها مدل [۲۲] است، زیرا با داده‌های ژئوشیمیایی و سنگ نگاری (مانند توده‌ی گرانیتی آهکی-قلیایی پتانسی [۵])، حضور آمفیبول‌های کلسیک مانند مگنزیوهرنبلند و اکتینولیت هرنبلند و ...) همخوانی خوبی دارد. در محاسبات انجام شده از آمفیبول‌هایی که ترکیب اکتینولیتی یا حاشیه‌ی اکتینولیتی و آکتینولیت هرنبلندی داشته‌اند چشم پوشی کرده‌ایم، زیرا اختلال دارد اکتینولیت یا حواشی آکتینولیت هرنبلند در فاز زیر نقطه انجامد در اثر دگرسانی، پیروکسن و هرنبلند ایجاد شده باشدند [۲۴].

بر پایه این زمین - فشار سنگی و ترکیب آلومینیوم کل آمفیبول‌ها، میزان فشار در زمان تبلور کانی آمفیبول در گرانودیوریت‌ها و کوارتز مونزودیوریت‌ها، ۱/۲ تا ۲/۹۸ کیلوبار برآورد شده است. همچنین با توجه به نمودار شکل ۶-ت که براساس مقادیر  $Fe/Fe+Mg$  نسبت به  $Al^T$  رسم شده است می‌توان گستره فشاری در حدود ۱/۲ تا ۳/۲ کیلوبار را برای تبلور آمفیبول‌های ماقمایی در این توده‌ی نفوذی برآورد کرد [۲۲]. میانگین فشارهای به دست آمده از روش‌های مختلف با توجه به چگالی میانگین سنگ‌های پوسته زمین با عمق تقریبی ۶/۱ تا ۱۱/۴ کیلومتر همواری در حدود ۲/۹۸ کیلوبار (معادل با عمق کوارتزمونزودیوریت حدود ۱۱/۴ کیلومتر) و آکتینولیت هرنبلند در گرانودیوریت ۱/۲ کیلوبار (معادل با عمق ۶/۱ کیلومتر) ارزیابی شده است. همچنین برخی از پژوهشگران نظیر [۲۵] معتقدند که نسبت  $Al^{VI}/Al^{IV}$  با فشار در زمان تبلور کلینوپیروکسن تبلور مگنزیوهرنبلند در کوارتزمونزودیوریت حدود ۲/۹۸ کیلوبار (معادل با عمق ۱۱/۴ کیلومتر) و آکتینولیت هرنبلند در گرانودیوریت ۱/۲ کیلوبار (معادل با عمق ۶/۱ کیلومتر) ارزیابی شده است. همچنین با تأکید کرده‌اند که توزیع آلومینیوم در موقعیت‌های چهاروجهی و هشت وجهی کلینوپیروکسن‌ها می‌باشد برای براورد مقدار آب ماقمایی و میزان فشار حاکم بر محیط تشکیل سنگ‌های آذرین است. با استفاده از این روش فشاری معادل ۵ کیلوبار برای تبلور

- [۳] نبوی م.ح، "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۵۵).
- [۴] مؤید م، حسین زاده ق، "سنگ نگاری و سنگ شناسی گرانیت‌وئیدهای A-type شرق کوههای میشو با نگرشی بر اهمیت رُزودینامیکی آنها"، مجله بلور شناسی و کانی شناسی ایران، شماره ۳ (۱۳۹۰) ص ۵۲۹-۵۴۴.
- [۵] شاهزادی م، مؤید م، آرایی ش، پیرنیا ت، احمدیان ج، "زمین شناسی و زمین شیمی توده گرانیت‌وئیدی S-type میشو، شمال غرب ایران"، مجله پetroلولوژی دانشگاه اصفهان، ص ۱۱۱-۱۲۶ (۱۳۹۱).
- [۶] Leake B.E., "Nomenclature of amphiboles", Mineralogical Magazine 42 (1978) 533-563.
- [۷] Czamanske G.K., and Wones, D.R., "Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarka Complex, Oslo area", Norway: Part 2, the mafic silicates, Journal of Petrology 14 (1973) 349-38.
- [۸] Chivas A.R., "Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization. Part I. Mafic silicates from the Koloula Igneous Complex", Contributions to Mineralogy and Petrology 78 (1981) 389-403.
- [۹] Robinson P, Spear FS, Schumacher JC, Laird J, Klein C, Evans BW, Doolan BL., "Phase relations of metamorphic amphiboles: natural occurrences and theory". In: Veblen D, Ribbe P(eds) Amphiboles: petrology and experimental phase relations, Reviews in mineralogy 9B Mineralogical Society of America (1982).
- [۱۰] Leake B.E., Woolly A.R., Arps C.E.S., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., Hawthorne F.C., Katoa., Kisch H.J., Krivovichev V.G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W.V., Nickel E.h., Rock N.M.S., Schmucher J.C., Smith D.C., Stephenson N.C.N, Unungaretti L., Whittaker E.J.W., Youzhi G., "Nomenclature of Amphiboles. Report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals Names", European Journal of Mineralogy 9 (1997) 623-651.
- [۱۱] Spear F.S., "Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths" Mineralogical Society of America, Washington. (1993) 799.
- [۱۲] Pe-Piper G., "Calcic Amphiboles of mafic rocks of the Jeffers Brook plutonic complex, Nova Scotia, Canada", American Mineralogist 73 (1988) 993-1006.

آکتینولیت هورنبلند ادامه یافته و در حاشیه باز به مگنزیوهومنبلند ختم می‌شود. در کوارتز مونزوندویوریت‌ها منطقه بندی ترکیبی با هسته‌هایی از مگنزیوهومنبلند در مرکز شروع شده، با آکتینولیت هورنبلند ادامه یافته و در حاشیه باز به مگنزیوهومنبلند ختم می‌شود. در دیوریت‌ها کلینوپیروکسن با ترکیب دیوپسید هسته‌های بلوری را به خود اختصاص داده و ترکیب آنها در حاشیه به آکتینولیت و آکتینولیت هورنبلند تبدیل می‌شود. ویژگی‌های کانی‌شناسی نشان می‌دهد اولین کانی‌های تبلور یافته کلینوپیروکسن و مگنزیوهومنبلند بوده‌اند. آکتینولیت و آکتینولیت هورنبلندها تحت شرایط نیمه جامد از کلینوپیروکسن و هورنبلند تشکیل شده‌اند. در برخی نمونه‌ها انبوههای بلوری آکتینولیت و آکتینولیت هورنبلند نتیجه ای از واکنش‌های نیمه جامد در حضور شاره‌های نهایی هستند. کانی‌های اولیه تشکیل شده در شرایط گریزندگی پایین اکسیژن و کانی‌های نهایی در شرایط افزایشی گریزندگی اکسیژن متبلور شده‌اند. از نظر شیمیایی می‌توان حواشی آکتینولیت هورنبلند با خاستگاه آذربین را از آکتینولیت هورنبلندهای نیمه جامد تشخیص داد. آکتینولیت هورنبلندها با خاستگاه آذربین دارای  $\text{Si} < 7.3$  و انواع نیمه جامد دارای  $7.3 < \text{Si} < 7.6$  هستند. زمین فشارسنجی گرانوودیوریت‌ها، کوارتز‌مونزوندویوریت‌ها و دیوریت‌ها به ترتیب با استفاده از آلومینیوم کل آمفیبول و با استفاده از پیروکسن، نشان‌دهنده‌ی میانگین فشار بین ۱/۲ تا ۲/۹۸ کیلوبار برای آمفیبول‌ها (معادل عمق‌های حدود ۶/۱ تا ۱۱/۴ کیلومتری پوسته) و کمتر از ۵ کیلوبار برای پیروکسن‌هاست.

#### قدردانی

در این کار پژوهشی از راهنمایی‌ها و کمک‌های بی دریغ دانشمندان زیادی بهره مند بوده‌ایم که لازم است از همه آنها تشکر و قدردانی نماییم. همچنین از داوران محترم نیز به دلیل تذکر نکات سودمند و ارزنده آنها نیز سپاسگزاریم.

#### مراجع

- [۱] Blundy J.D., Holland T.J. B., "Calcicamphibole equilibria and a new amphibole plagioclase geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology, 104 (1990) 208-224.
- [۲] مجلل م، حاج‌علیلو ب، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مرند، سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۴).

- alkaline magmas: Evidence from the Motru Dike Swarm (Southern Carpathians, Romania)", American Mineralogist 91(2006) 73-81.*
- [22] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure an experimental calibration of the Al-hornblende barometer". Contribution to Mineralogy and Petrology 110 (1992) 304-310.
- [23] Blundy J.D., Holland T.J. B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphiboleplagioclase geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology 104 (1990) 208-224.
- [24] Helmy H. M., Ahmed A. F., El Mahallawi M. M., Ali S. M., "Pressure, temperature and oxygen fugacity conditions of calc-alkaline granitoids, Eastern Desert of Egypt, and tectonic implications", Journal of African Earth Sciences 38 (2004) 255-268.
- [25] Wass S.Y., "Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks", Lithos 12 (1979) 115-132.
- [26] Helz R.T., "Phase relations of basalts in their melting range at  $\text{PH}_2\text{O} = 5 \text{ kb}$  as a function of oxygen fugacity", Journal of Petrology 17 (1973) 139-193.
- [27] Stein E., Dietl E., "Hornblende thermo barometry of granitoids from the central Odenwald (Germany) and their implication for the geotectonic development of the Odenwald", Mineralogy and Petrology 72 (2001) 185-207.
- [28] Wones D.R., Burns R.G., Carroll B.M., "Stability and properties of synthetic annite", American Geophysics, Union Trans 52 (1971) 369.
- [13] Okamoto A., Toriumi M., "Optimal mixing properties of calcic and subcalcic amphiboles: application of Gibbs' method to the Sanbagawa schists, SW Japan", Contributions to Mineralogy and Petrology 146 (2004) 529-545.
- [14] Yamaguchi Y., "Hornblende-cummingtonite and hornblende-aclinolite intergrowths from the Koyama calc-alkaline intrusion, Susa, southwest Japan", American Mineralogist 70 (1985) 980-986.
- [15] Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Jeronimo M., Cruz M., "Amphibol-rich clots in calc-alkaline granitoids in the Borborema province northeastern Brazil", Journal of South American Earth Science 11(1998) 457-471.
- [16] Otten M. T., "The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites", Contribution to Mineralogy and Petrology 86 (1984) 189-199.
- [17] Deer W.A., Howie R.A., and Zussman J., "Rock forming minerals, (2nd ed), Single-Chain Silicates", Longman London (1987) 668.
- [18] Sgarbi B.A., Gaspar J.C., and Valenca J.C., "Clinopyroxene from Brazilian kamafugites", Lithos, 53 (2000) 101-116
- [19] Salmon S., "Amphiboles from the igneous complex at Sorel Point, Jersey", C.I. - Reflectors of acid-basic magma interaction. Proceedings of the Ussher Society 7(1991), 333-337.
- [20] Hammarstrom J.M., Zen E-An., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", American Mineralogist 71(1989) 1297-1313.
- [21] Féménias O., Mercier G.C., Nkono C., Diot H., Berza T., Tatou M., Demaiffe D., "Calcic amphibole growth and compositions in calc-