

## زمین دمافارشارسنگی سنگ‌های اسیدی منطقه دهسرد (جنوب‌غرب استان کرمان)، با تأکید بر کاربرد شیمی کانی آمفیبول در بررسی ویژگی‌های ماقمای مادر

مهدي ابراهيم زاد<sup>۱\*</sup>، محسن آروين<sup>۲</sup>، سارا درگاهي<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهری باهنر، کرمان

(دریافت مقاله: ۹۹/۷/۲، نسخه نهایی: ۹۹/۱۰/۶)

**چکیده:** توده فلسيك منطقه دهسرد به سن ترياس پسین در جنوب‌غرب کرمان و جنوبي‌ترین بخش پهنه سنندج- سيرجان قرار دارد. اين توده از سنگ‌های اسیدی پلازيوگرانیت که در تماس با توده نفوذی مافیک و دگرگونی قرار دارند، تشکیل شده است. بافت کلی نمونه‌های مورد بررسی دانه‌ای نیمه‌شکل دار است. بر پایه شیمی کانی آمفیبولها و پلازيوكلازهای سنگ‌های فلسيك مورد بررسی، اين آمفیبول‌ها ترکيب مگنتيزیوهرنبلند تا ترمولیت دارند و از نوع آمفیبول‌های منطقه فرورانش هستند و در پهنه اکسایشی تشکیل شده‌اند. پلازيوكلازهای مورد بررسی سدیمی هستند و ترکيب آنها از آلیت ( $Ab_{98.19}An_{1.56}Or_{0.25}$ ) تا آندزین ( $Ab_{63.93}An_{35.84}Or_{0.23}$ ) متغیر است. بر اساس بررسی‌های زمین دمافارشارسنگی بر بلورهای آمفیبول و زوج کانی آمفیبول- پلازيوكلاز، دمای تقریبی میانگین ۵۲۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. گستره فشار نیز ۰/۵ تا ۱ کیلوبار است که معادل با شرایط کم عمق و نزدیک به سطح زمین است.

**واژه‌های کلیدی:** دهسرد؛ پهنه سنندج- سيرجان؛ سنگ‌های اسیدی؛ شیمی کانی؛ آمفیبول.

### مقدمه

شرایط تبلور سامانه ماقمایی در سنگ‌های آذرین است [۱۳، ۱۲] که در گستره دمایی ۴۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ تا ۲۳ کیلوبار در ماقمای‌های آهکی قلیایی حضور دارد. همچنان، استفاده از کانی آمفیبول- پلازيوكلاز همزیست نیز روش دیگری برای بررسی شرایط دما و فشار تبلور سنگ‌هاست [۱۴]. از آنجا که تا کنون شرایط دما و فشار تبلور توده فلسيك دهسرد بررسی نشده است، در اين پژوهش با استفاده از نتایج صحرایی و داده‌های شیمی کانی، دما و فشار تشکیل توده برآورد شدند.

### موقعیت زمین‌شناسی

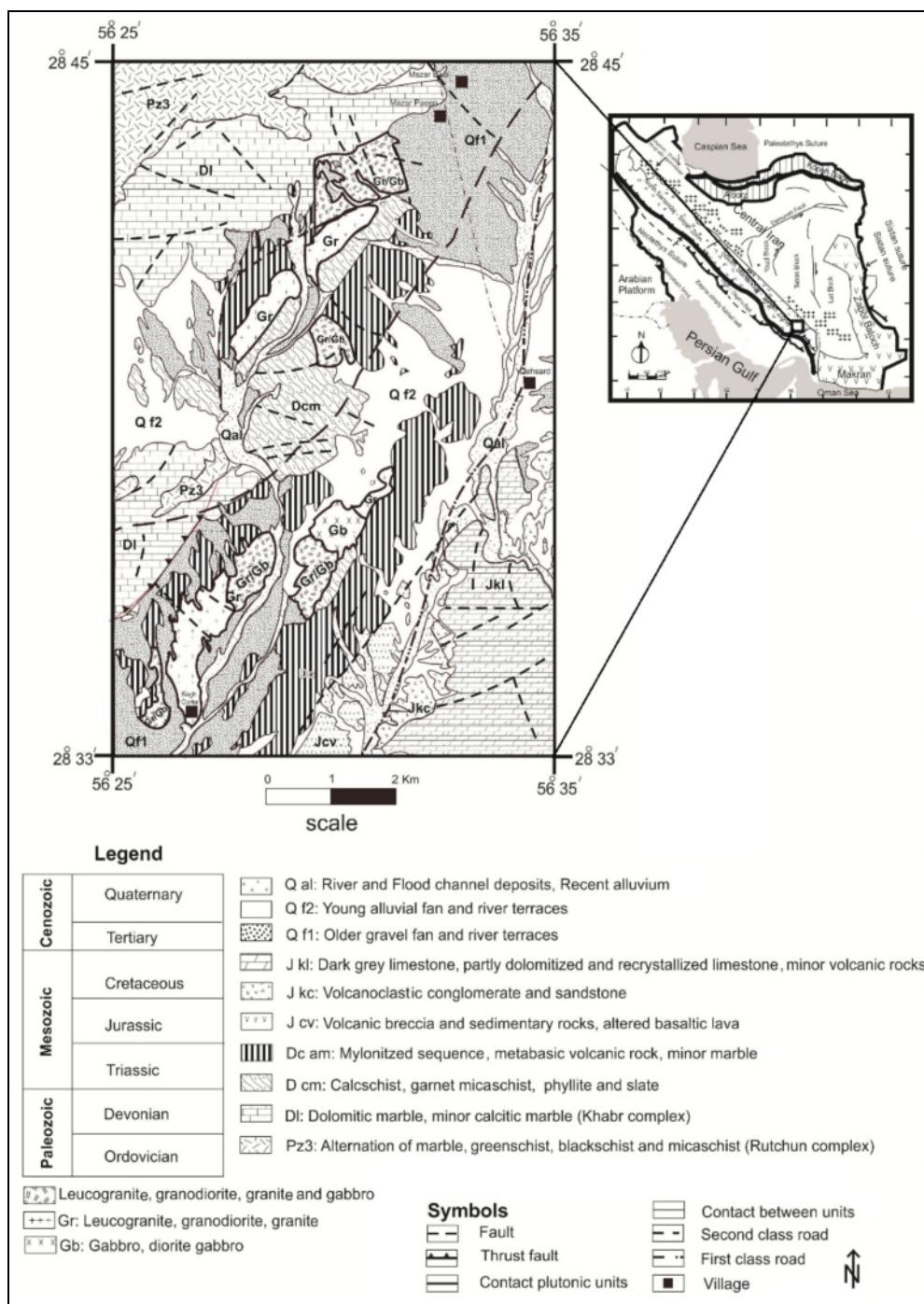
زمین‌شناسی فلات ایران، به عنوان بخشی از کمربند کوه‌زایی آپ-هیمالیا با باز و بسته‌شدن اقیانوس‌های پالئوتیس و نئوتیس در ارتباط است [۱، ۱۵]. فرورانش اقیانوس نئوتیس به زیر خرده قاره ایران مرکزی از ترياس پسین تا اليگوسن، منجر به فعالیت‌های ماقمایی و دگرگونی در دو روند موازی شمال غربی- جنوب شرقی (NW-SE) شده است که اين دو روند شامل مجموعه ماقمایی ارومیه-دختر و سنندج- سيرجان هستند [۴-۱].

توده‌های نفوذی در کرانه فعال قاره‌ای مزوژوئیک در جنوب ایران مرکزی به دليل فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر پهنه سنندج- سيرجان تشکیل شده‌اند [۷-۵]. برآورد فشار- دما و گریزندگی اکسیژن در سامانه‌های ماقمایی از نظر به کارگیری آنها در سازوکارهای پیدايش سامانه‌های ماقمایی اهمیت ویژه- ای دارد [۱۰-۸]. در واقع، با به دست آوردن فشار مخازن ماقمایی می‌توان عمق مخزن ماقمایی را محاسبه کرد و از آن در تفسیر چگونگی تبلور بلورها و پیدايش بافت‌های متفاوت استفاده کرد [۱۱]. آمفیبول از کانی‌های معمول برای شناسایی

\*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۳۳۲۵۷۴۳۵، نمبر: ۰۳۴-۳۳۲۵۷۴۳۵، پست الکترونیکی: Ebrahimnejad@sci.uk.ac.ir

تا بالا تشکیل شده است که توده‌های نفوذی فلزیک، مافیک-حدواسط در آنها نفوذ کرده‌اند [۲۰، ۱۹]. سنگ‌های فلزیک تریاس پسین دهسرد از واحدهای نفوذی در جنوبی‌ترین بخش پهنه سندج-سیرجان هستند که در غرب روستای دهسرد و ۲۳۰ کیلومتری جنوب‌غرب کرمان، قرار دارد (شکل ۱) [۲۱].

کوهزایی زاگرس شده است [۳، ۱]. کمربند کوهزایی زاگرس از سه واحد زمین‌ساختی کمان ماقمایی ارومیه-دختر، پهنه سندج-سیرجان و کمربند گسل روراندگی زاگرس با روند NW-SE موازی تشکیل شده است: [۱۷-۱۵] پهنه سندج-سیرجان پیچیده‌ترین منطقه ساختاری ایران است [۱۷، ۱۸]. این پهنه از سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی دما پایین

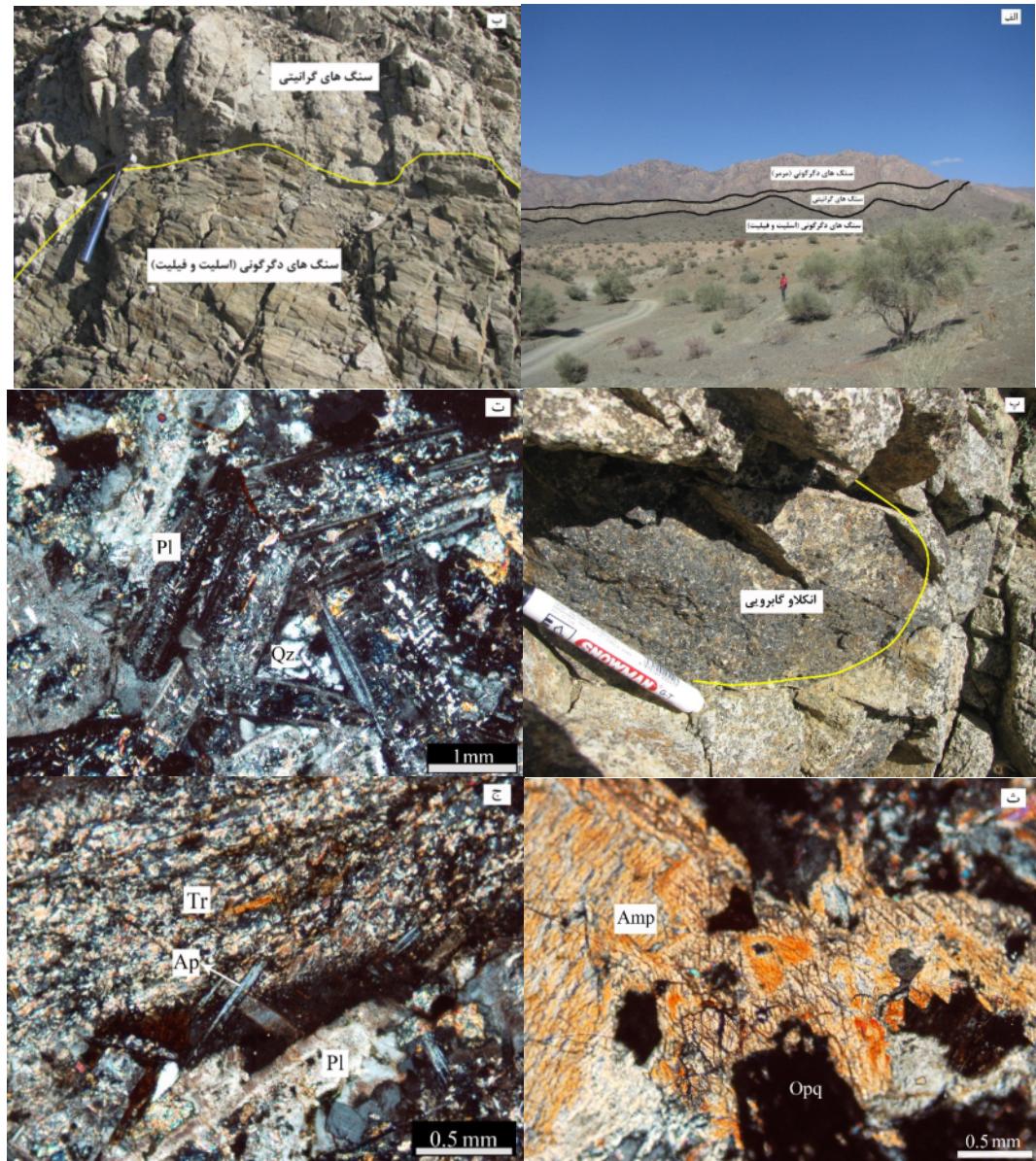


شکل ۱ نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی [۲۱].

تماس آشکار است (شکل ۲ ب). سنگ‌های فلسيك، گرانايت‌هاي روشن تا تمام روشن، توسط دايک‌های مومنزنيتی و ديوريتی دگرسان شده ريزدانه، که داراي روند و اندازه مختلف ۱-۵ متر عرض و چند متر طول) هستند، قطع شده‌اند. به طور کلی، سنگ‌های فلسيك دهسرد دانه‌متوسط هستند و در بخش‌هایی از آن برونبوم‌هایی از جنس گابرو دیده می‌شود (شکل ۲ پ).

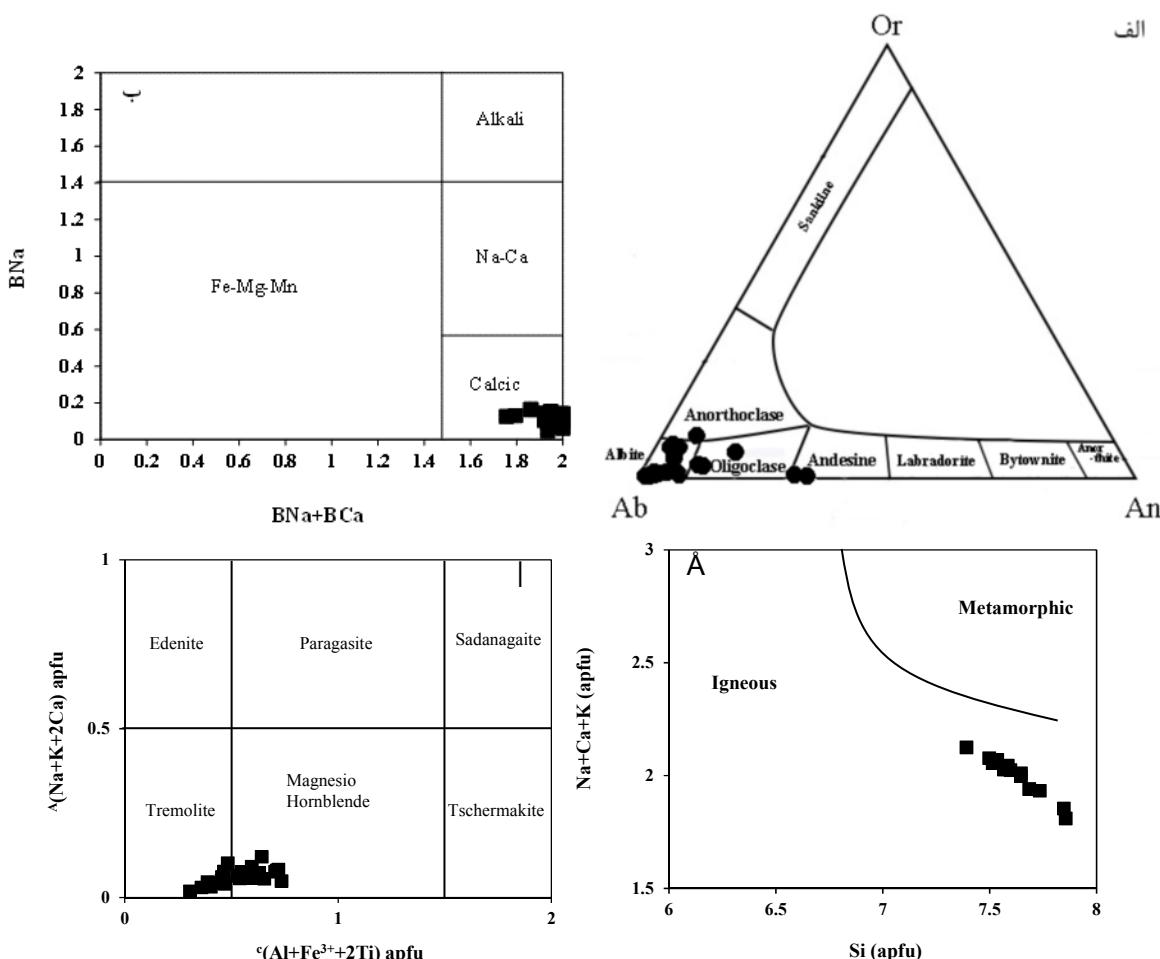
### شواهد صحراي

سنگ‌های فلسيك دهسرد به همراه سایر توده‌های نفوذی در سنگ مرمر، شیست، سبز شیست آهکی و میکاشست مجموعه دگرگونی خبر و روچون رخنمون دارند (شکل ۲ الف). تماس سنگ‌های فلسيك دهسرد با سنگ‌های دگرگونی و مافيک در بيشتر قسمت‌ها پوشیده شده، اما در صورت مشاهده، سطح



شکل ۲ (الف) نمایی از رخنمون سنگ‌های فلسيك دهسرد در مجموعه دگرگونی خبر و روچون، (ب) نمایی آشکار از سطح تماس سنگ‌های فلسيك دهسرد با سنگ‌های دگرگونی، (پ) حضور برونبوم گابرویی در نمونه‌های مورد بررسی، (ت) نمایی از بافت نیمه‌شكل‌دار دانه‌ای و پلازيوكلازهای سريسیتی شده در نمونه‌های مورد بررسی، (ث) نمایی از رخ موجود در آمفیبول‌های اولیه موجود در پلازيوگرانیت‌های مورد بررسی، (ج) حضور ترمولیت ثانویه و کانی فرعی آپاتیت در پلازيوگرانیت‌های منطقه دهسرد. (Pl: پلازيوكلاز، QZ: کوارتز، Amp: آمفیبول، Tr: ترمولیت، Ap: آپاتیت، Opq: کانی‌های اپک [۲۲]).





شکل ۳ الف) رده‌بندی پلاژیوکلارهای موجود در پلاژیوگرانیت‌های دهسرد، ب) رده‌بندی آمفیبول‌های پلاژیوگرانیت‌های دهسرد بر اساس ترکیب شیمیایی آن‌ها، پ) ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های مورد بررسی بر اساس نمودار مرجع [۲۳]، ت) جداسازی آمفیبول‌های ناشی از فرایندهای آذرین و آمفیبول‌های برآمده از دگرگونی بهروش شاری [۲۴].

تشخیص دما- فشار و خاستگاه سنگ‌های مورد بررسی از آمفیبول‌های مگنزیو-هورنبلند که برآمده از تبلور مستقیم از ماقما هستند، استفاده شد.

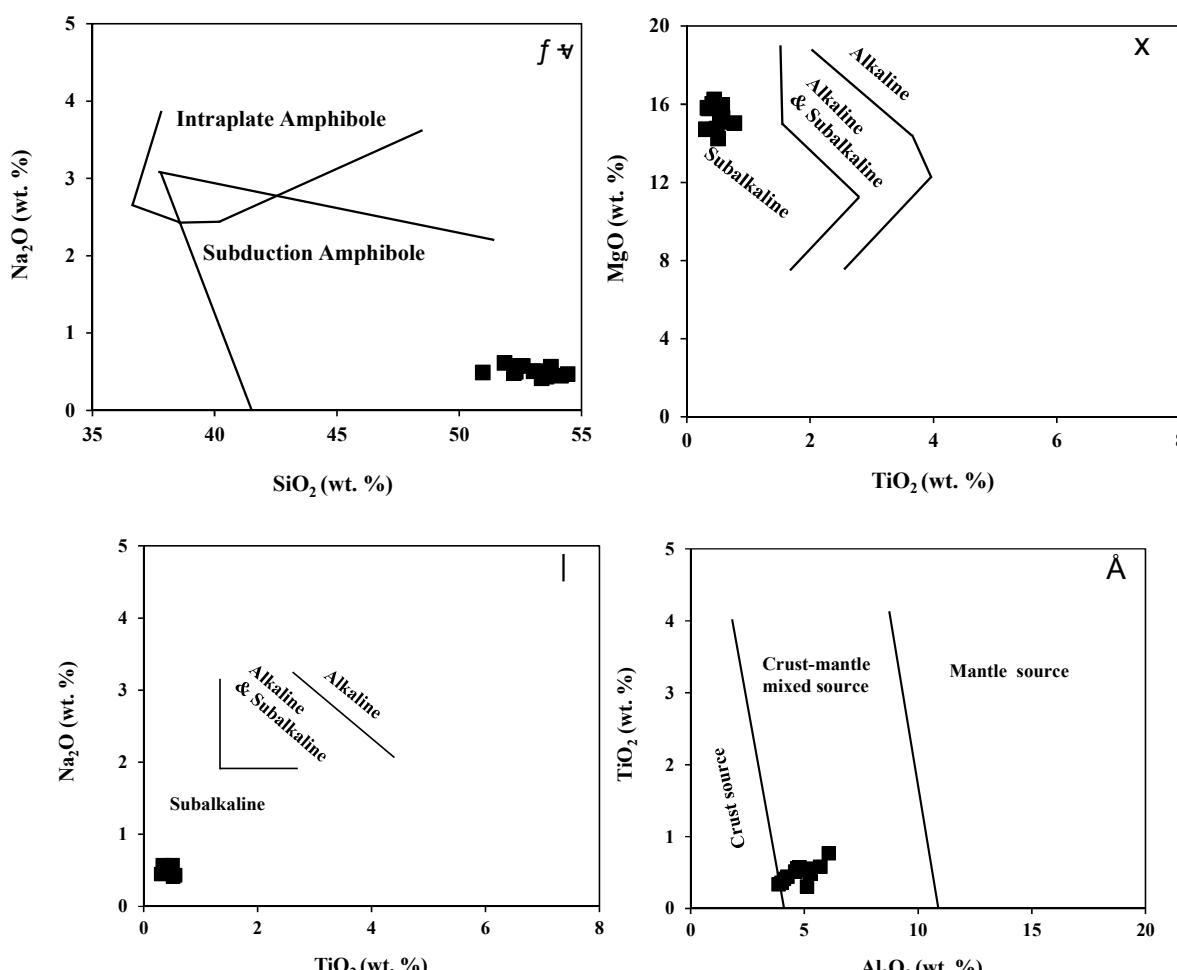
**تشخیص آمفیبول‌های آذرین از آمفیبول‌های دگرگون**  
با توجه به مقدار Si در نمونه‌ها، آمفیبول‌های مورد بررسی از نوع ماقمایی هستند (شکل) به عقیده لیک و همکاران [۲۵]، آمفیبول‌ها با سیلیس کمتر از  $7/3$  amu آmfیبول‌های با سیلیس بیش از این مقدار  $7/3$  براثر فرایند زیر انجامد شکل گرفته‌اند [۲۷، ۲۶] (جدول ۱). در رده‌بندی آمفیبول‌ها بر اساس مجموع کاتیون‌های  $\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}$  نسبت به Si که آمفیبول‌های آذرین و دگرگونی از هم تفکیک می‌شوند [۲۴]، نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی آمفیبول‌های برآمده از تبلور ماقما قرار دارند (شکل ۳ ت). با کاهش  $\text{Al}^{IV}$ ، مقدار Ti در آمفیبول‌ها کاهش می‌یابد، که ناشی از افزایش Si در

آمفیبول: آمفیبول‌ها، از مهم‌ترین کانی‌های فرومیزین موجود در پلاژیوگرانیت‌های مورد بررسی هستند. فرمول ساختاری آن‌ها بر پایه‌ی ۲۳ اکسیژن و ۱۳ کاتیون در جایگاه‌های چار وجهی و هشتوجهی در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار Si آمفیبول نمونه‌های مورد بررسی،  $7/39-7/85$  اتم در واحد فرمولی و مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  آن‌ها  $0/17-0/61$  درصد وزنی است (جدول ۲). با توجه به مقدار کلسیم موجود در جایگاه B ( $\text{BCa}=1/62-1/93$ ) و مقدار سدیم در این جایگاه ( $\text{BNa}=0/04-0/16$ )، آمفیبول‌ها از نوع کلسیمی تشخیص داده شدند، که این امر با نمودار مرجع [۲۵] تایید می‌شود (شکل ۳ ب). کلسیمی بودن آمفیبول‌ها در پلاژیوگرانیت‌های مورد بررسی نشان‌دهنده I بودن این سنگ‌هاست [۲۷، ۲۶]. آمفیبول‌ها در رده‌بندی مرجع [۲۷] در جایگاه مگنزیو-هورنبلند و ترمولیت قرار دارند (شکل ۳ پ). در این پژوهش، برای



MgO و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  نسبت به  $\text{TiO}_2$  [۳۰] ماهیت آمفیبول‌های مورد بررسی از نظر قلیایی یا شبه قلیایی بودن قابل تشخیص است. آمفیبول‌های شبه قلیایی دارای K, Ti و Na پایین‌تری نسبت به قلیایی‌ها هستند که با توجه به این امر، آمفیبول‌های پلازیوگرانیت‌های مورد بررسی سرنشیت شبه قلیایی دارند (شکل‌های ۴ ب و پ). این امر با نتایج پژوهش‌های پیشین پیرامون شیمی سنگ کل این نمونه‌ها که ویژگی آهکی-قلیایی را برای این پلازیوگرانیت‌ها در نظر گرفته است (در اینجا ارائه نشده است)، همخوانی دارد. نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -نسبت به  $\text{TiO}_2$  (بر حسب درصد اکسید) [۳۱] برای آمفیبول‌های مورد بررسی حضور مآگمای گوشه‌هایی و ترکیب‌های پوسته‌ای را در تشکیل آمفیبول‌ها نشان می‌دهد (شکل ۴ ت).

زمین‌ساخت و خاستگاه پلازیوگرانیت‌های دهسرد برپایه ترکیب آمفیبول برای تشخیص محیط‌های زمین‌ساختی مختلف و تفکیک محیط‌های درون صفحه‌ای از محیط‌های فروراش، می‌توان از ترکیب شیمیایی آمفیبول‌ها که با توجه به بررسی قطعه‌های بیگانه سنگ‌های گوشه‌ای به دست آمده‌اند، استفاده کرد [۲۹]. آمفیبول‌های وابسته به محیط فروراش مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{TiO}_2$  پایین‌تری نسبت به آمفیبول‌های وابسته به محیط‌های درون صفحه‌ای دارند [۳۰]. از این‌رو، با توجه به مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  آmfیبول‌های سنگ‌های مورد بررسی (به طور متوسط ۰,۵wt.%)، ارتباط این کانی با محیط زمین‌ساختی فروراشی مشخص می‌شود (شکل ۴ الف). در نمودارهای مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  مشخص می‌شود (شکل ۴ الف). در نمودارهای مقدار  $\text{Na}_2\text{O}$  (wt. %)



شکل ۴ (الف) نمودار  $\text{Na}_2\text{O}$  نسبت به  $\text{SiO}_2$  [۲۹] که نشان دهنده ارتباط آmfیبول‌های مورد بررسی با محیط زمین‌ساختی فروراشی است. ب و پ) تعیین ماهیت پلازیوگرانیت‌های دهسرد با استفاده از ترکیب شیمی آmfیبول‌ها [۳۰]. ت) نمودار  $\text{TiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  که نشان دهنده ترکیب مآگمای گوشه‌هایی با مواد پوسته‌ای در تشکیل هورنبلندهاست [۳۱].

چنان که بیان شد،  $Al^t$  ارتباط مستقیم با فشار دارد. با توجه به این امر، اشمیت [۱۲] رابطه‌ای برای تشخیص فشار تبلور بر اساس مقدار  $Al^t$  برای سنگ‌های گرانیتوئیدی مطرح کرد:

$$P (\pm 0.6 \text{ kbar}) = -3.01 + 4.76 Al^t \quad r_2 = 0.99 \quad (1)$$

$Al^t$  مقدار آلومینیم کل ( $Al^{IV} + Al^{VI}$ ) در ترکیب آمفیبول است. بر این اساس میانگین فشار برای تبلور هورنبلندهای نمونه‌های مورد بررسی  $11/11.85$  کیلوبار به دست آمد. اندرسن و اشمیت [۱۳] سه رابطه مراجع [۱۴، ۱۲] و رابطه دما‌سنجی مرجع [۳۹] را با هم ترکیب کرده و به رابطه دست یافتند که نسبت به روش‌های دیگر خطای کمتری دارد. در این رابطه، اثر دما و فشار بر مقدار  $Al^t$  به خوبی مشخص است.

$$P (0.6 \text{ kbar}) = -3.01 + 4.76 \{ (T[C^{\circ}] - 675) / 85 \} \times \{ Al^t 0.53 + 0.005294 \times (T[C^{\circ}] - 675) \} \quad (2)$$

بر این اساس، فشار تبلور هورنبلندهای مورد بررسی حدود  $0.5$  کیلوبار برآورد شد.

بر اساس نمودار [۱۲]، آمفیبول‌های مورد بررسی در گستره فشار بیش از  $0.5$  تا  $1$  کیلوبار (میانگین عمق حدود  $2$  کیلومتر) متبلور شده‌اند (شکل ۵ الف) که با دماهای به دست آمده از روش‌های بیان شده همخوانی دارد.

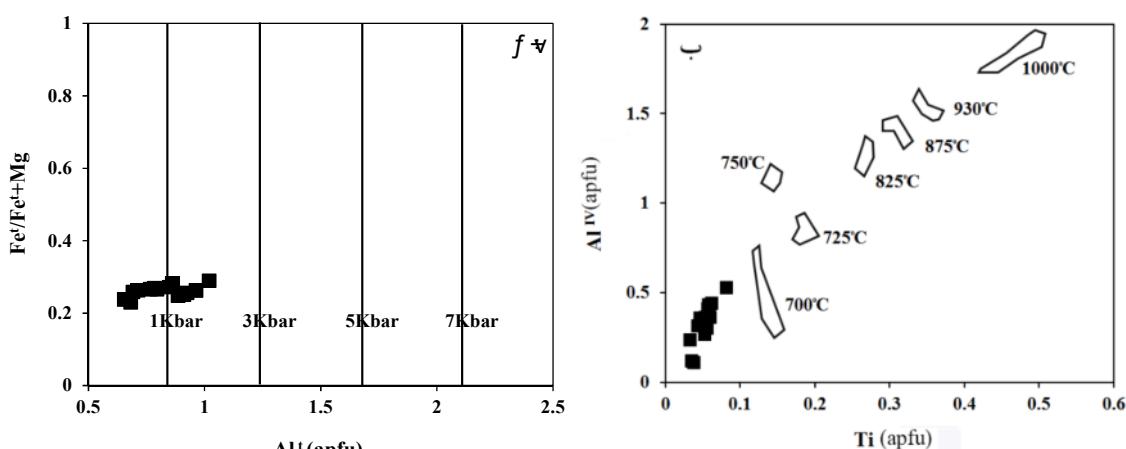
برای محاسبه دمای تبلور آمفیبول روش‌های متفاوتی ارائه شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. افزایش دما رابطه مستقیم با مقدار تیتانیم هورنبلندهای دارد [۱۳]. از آنجا که مقدار تیتانیم وابسته با مقدار آلومینیم در واحد فرمولی آمفیبول‌هاست [۳۵]، با استفاده از ویژگی می‌توان دمای تشکیل این کانی‌ها را محاسبه کرد (شکل ۵ ب) [۴۰]. دما‌سنجی بر پایه زوج کانی پلازیوکلاز-هورنبلند، از دیگر روش‌های متداول دما‌سنجی برای توده‌های آهکی-قلیایی است [۱۴، ۳۸]. هلند و همکارش [۴۱] دما‌سنجی بر اساس واکنش ادنیت-ریشتربیت را پیشنهاد دادند که برای سنگ‌های آذرین و دگرگونی کوارتزدار و بدون کوارتز کاربرد دارد:

$$T [\text{K}] = \{ 78.44 + Y_{ab} - an - 33.6 X_{\text{NaM4}} - (66.8 - 2.92 P[\text{kbar}]) X_{\text{AlM2}} + 78.5 X_{\text{AlT1}} + Ln 0.0721 \cdot R \{ 9.4 X_{\text{NaA}} \} / [(27 X_{\text{NaM4}} X_{\text{SiT1}} X_{\text{Anplg}}) / (64 X_{\text{CaM4}} X_{\text{AlT1XA}} \{ bplg \})] \quad (3)$$

عدد منیزیم (Mg#) هورنبلندها نیز در تشخیص خاستگاه ماگمایی نقش موثری دارد [۳۲، ۳۳]. عدد منیزیم آمفیبول‌های با خاستگاه گوشه‌ای بیش از  $70\%$  و برای آمفیبول‌های با خاستگاه پوسته‌ای کمتر از  $50\%$  است. مقادیر بین  $70\%$  و  $50\%$  نیز بیانگر سهیم بودن هر دو خاستگاه پوسته‌ای و گوشه‌ای در تشکیل ماگمات است [۳۲، ۳۳]. عدد منیزیم هورنبلندهای مورد بررسی  $0.720/0.79$  بوده، که نشان‌دهنده گوشه‌ای بودن خاستگاه آمفیبول‌های مورد بررسی است.

جینگ و همکاران [۳۴] معتقدند که مقدار  $Al^{IV}=1/5$  را می‌توان به عنوان مرز جدایش محیط زمین‌ساختی آمفیبول‌ها در نظر گرفت. به این ترتیب که مقادیر  $Al^{IV}$  بیش از  $1/5$  نشان‌دهنده آمفیبول‌های فشار بالا (در حدود  $10$  کیلوبار) هستند که در محیط‌های جزایر قوسی شکل گرفته‌اند و مقادیر کمتر از  $1/5$  مربوط به آمفیبول‌های کرانه فعال قاره‌ای هستند. با توجه به این موضوع و مقادیر  $Al^{IV}$  (جدول ۱)، آمفیبول‌های منطقه مورد بررسی ( $Al^{IV}=0.10/0.52$ ) در گستره کرانه فعال وابسته به فرورانش قرار دارند.

دما-فشار سنجی با استفاده از کانی آمفیبول آمفیبول از مفیدترین کانی‌ها برای دما-فشار سنجی سنگ‌های آهکی-قلیایی است که با توجه به تنوع ساختاری و ترکیب شیمیایی، در گستره‌ای از دما و فشار از  $1$  تا  $23$  کیلوبار و  $400$  تا  $1150$  درجه سانتی‌گراد پایدار است [۱۴]. یکی از روش‌های محاسبه فشار، استفاده از مقادیر  $Al^{VI}$  و  $Al^t$  موجود در آمفیبول‌هاست [۱۲، ۳۵]. مقدار  $Al^t$  آمفیبول‌ها ارتباط مستقیمی با عمق جایگیری توده‌ها دارد. در واقع، هرچه مقدار  $Al$  موجود در آمفیبول بیشتر باشد عمق نیز بیشتر است. مقدار  $Al^{VI}$  آمفیبول‌ها نیز با دما که وابسته به مقدار آب ماقم است رابطه مستقیم دارد [۳۶]. فشار نیز بر مقدار  $Al^{VI}$  اثر می‌گذارد. به عقیده ونز [۳۷]، با اینکه ترکیب شیمیایی سنگ اثری بر مقدار  $Al^{VI}$  آمفیبول ندارد، ولی همزیستی کانی‌های هورنبلند، پلازیوکلاز، فلدسپار پتاسیم، کوارتز، بیوکیت، مگنتیت یا ایلمنیت برای استفاده از ترکیب آمفیبول به عنوان معیاری برای ارزیابی فشار و دما در سنگ مورد بررسی ضروری است [۳۸].



شکل ۵ (الف) نمودار  $\text{Al}^t / (\text{Fe}^t + \text{Mg})$  نسبت به  $\text{Al}^t$  برای تعیین گستره‌ی فشار تشکیل پلاژیوگرانیت‌های دهسرد [۱۳]. (ب) محاسبه‌ی تقریبی دمای تشکیل آمفیبول‌های پلاژیوگرانیت‌های دهسرد [۴۰].

اکسیژن و فعالیت سیلیسیس ماقمایی موجب تغییر ترکیب آمفیبول می‌شود،  $\text{Fe}^{2+}$  با کاهش گریزندگی اکسیژن به مقدار بیشتر و  $\text{Fe}^{3+}$  به مقدار کمتر در شبکه هورنبلند جایگزین می‌شوند. از این رو، بالا بودن نسبت  $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$  که نشان‌دهنده شرایط اکسایشی ماقماست، باعث جانشینی بیشتر منیزیم با آلومینیم می‌شود [۳۸]. نتایج تجزیه‌های نقطه‌ای آمفیبول‌ها (جدول ۱) گویای وجود آمفیبول‌های غنی از منیزیم در این سنگ‌هاست، که نشان می‌دهد ماقمای تشکیل دهنده آن‌ها به نسبت اکسایشی بوده است.

استفاده از ترکیب آمفیبول‌های با  $\text{Al}^t / (\text{Fe}^t + \text{Mg}) > 0.75$  و  $\text{Fe}^t / (\text{Fe}^t + \text{Mg}) > 0.75$  از روش‌های مناسب برای سنجش مقدار گریزندگی اکسیژن در سنگ‌های نفوذی است [۱۳]. اگر این نسبت بین صفر تا ۰.۶ باشد، نشان از گریزندگی بالای اکسیژن دارد، ۰.۶-۰.۸ حد واسط بودن گریزندگی اکسیژن و ۰.۸ تا ۱ پایین بودن گریزندگی اکسیژن را نشان می‌دهد. آمفیبول‌های بررسی شده با  $\text{Fe}^{\#} = 0.22-0.28$ ، بالا بودن گریزندگی اکسیژن را بخوبی نشان می‌دهند (شکل ۶).

ونز [۳۷] برای محاسبه گریزندگی اکسیژن، رابطه زیر را ارائه کرد:

$$\log f_{\text{O}_2} \text{ (bars)} = -30930/T(k) + 14.98 + 0.142(P/\text{bars}) - 1/T(k)$$

بر این اساس، مقدار گریزندگی اکسیژن پلاژیوگرانیت‌های دهسرد  $\log f_{\text{O}_2} = -26.97$  اکسایشی بودن ماقمای تشکیل دهنده‌ی این سنگ‌ها را نشان می‌دهد که با نتایج به دست آمده همخوانی دارد.

دمای تعادل آمفیبول پلاژیوکلاز در پلاژیوگرانیت‌های مورد بررسی ۴۴۱-۵۹۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد.

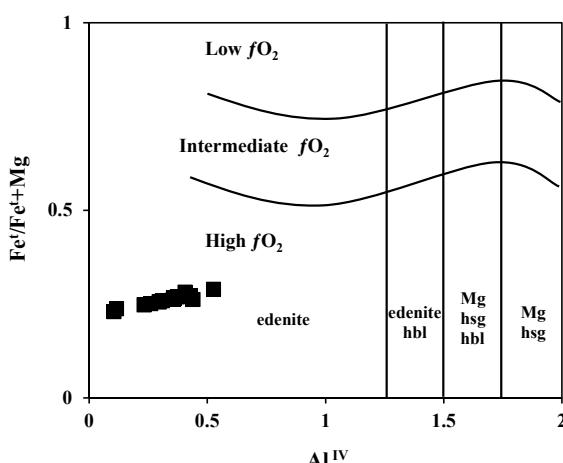
روش دیگری توسط وینهال و همکاران [۳۹] برای تعیین دمای تعادل هورنبلند همزیست با پلاژیوکلاز در فشار ۱-۲۰ کیلوبار و گریزندگی هماتیت، مگنتیت-کوارتز، فورستریت، مگنتیت (HM-QFM) ارائه شد:

$$T [\text{°C}] = 654.9 + 25.3P$$

بر این اساس، میانگین دمای پلاژیوگرانیت‌های مورد بررسی ۶۷۳ درجه سانتی‌گراد به دست آمد، که به نتایج دماسنگی مرجع [۳۹] نزدیک است.

#### برآورده گریزندگی اکسیژن

مقدار گریزندگی اکسیژن ماقما به جنس مواد در منبع ماقما و جایگاه زمین ساختی آن بستگی دارد [۴۲]. با استفاده از کانی‌های فرعی چون مگنتیت، ایلمنیت و مجموعه کانی‌های سنگ و شیمی‌کانی‌ها می‌توان به میزان گریزندگی اکسیژن اولیه ماقماها پی‌برد [۴۲]. ماقماهای گرانیت‌های نوع I به نسبت اکسایشی و ماقماهای گرانیتی نوع S بیشتر کاهشی هستند [۳۷]. ماقماهای با اکسایش بالا در مرز ورقه‌های همکرا تشکیل شده‌اند [۴۲] و ماقمای فلزیک برآمده از جدایش ماقمای گوشته‌ای مناطق کافت، احیایی هستند [۴۳]، وجود کانی‌های تیتانیت و مگنتیت خودشکل به عنوان فازهای تبلور یافته در سنگ‌های فلزیک نشان‌دهنده اکسایشی بودن ماقماست. همچنان، آمفیبول‌های غنی از منیزیم نیز نشان‌گر ماقماهای به نسبت اکسایشی هستند [۴۲]. از آنجا که تغییر در گریزندگی



شکل ۶ نمودار تعیین گریزندگی اکسیژن بر پایهٔ ترکیب آمفیبول [۱۳].

[2] Berberian F., Berberian M., “*Tectono-plutonic episodes in Iran*”, Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution (1981) 5-32.

[3] Mohajjal M., Fergusson C., Sahandi M., “*Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone, western Iran*”, Journal of Asian Earth Sciences 21 (2003) 397-412.

[4] Sedighian S., Dargahi S., Arvin M., “*Petrochemistry of Khunrang intrusive complex, southeast of Kerman, Iran: Implications for magmatic evolution of Sanandaj-Sirjan zone in the Mesozoic time*”, Journal of African Earth Sciences 134 (2017) 149-165.

[5] Azizi H., Asahara Y., Tsuboi M., “*Quaternary high-Nb basalts: existence of young oceanic crust under the Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran*”, International Geology Review 56 (2014) 167-186.

[6] Azizi H., Asahara Y., Mehrabi B., “*Chung SL. Geochronological and geochemical constraints on the petrogenesis of high-K granite from the Suffi abad area, Sanandaj-Sirjan Zone, NW Iran*”, Geochemistry 71 (2011) 363-376.

[7] Shahbazi H., Siebel W., Pourmoafee M., Ghorbani M., Sepahi A., Shang C., Abedini, M.V., “*Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj-Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism*”, Journal of Asian Earth Sciences 39 (2010) 668-683.

[8] Zamanian H., Sameti M., Pazoki A., Barani N., Ahmadnejad F., “*Thermobarometry in the Sarvian Fe-skarn deposit (Central Iran) based on garnet-*

#### برداشت

پلازیوگرانیت‌های دهسرد از کانی‌های اصلی کوارتز، پلازیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند که دارای بافت دانه‌ای و نیمه‌شکل‌دار هستند. پلازیوکلازها منطقه‌بندی مشخصی از خود نشان نمی‌دهند و ترکیب سدیمی می‌دارند. بر پایهٔ ترکیب آمفیبول‌های مورد بررسی، این کانی‌ها طی فرایندهای آذرین تشکیل شده‌اند و از آمفیبول‌های کلسیمی هستند. هورنبلندها در گسترهٔ منیزیوهوربلند و ترمولیت که شاخص توده‌های نفوذی نوع I هستند، قرار دارند. با توجه به مقادیر  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Mg}^{\#}$ . نقش گوشه‌های در تشکیل ماقمای سازنده آمفیبول‌ها مشخص می‌شود. روش‌های دماستنجی براساس ترکیب زوج کانی پلازیوکلاز و هورنبلند دمای تشکیل را در حدود ۵۹۳-۴۴ درجه سانتی‌گراد برآورد می‌کنند. زمین‌فشارسنجی برپایهٔ آلومنیم موجود در هورنبلند میانگین فشار ۷۵ کیلوبار را برای این توده به دست می‌دهد که جایگزینی این توده را در اعماق کم و نزدیک به سطح زمین نشان می‌دهد. این نتایج با مشاهدات سنگ‌شناسی، شواهد بافتی و مرز ناگهانی و مشخص سنگ‌های نفوذی با سنگ‌های میزبان همخوانی. مقدار گریزندگی اکسیژن نیز محیط اکسایشی وابسته به مرزهای ورقه‌های همگرا را برای تشکیل سنگ‌های مورد بررسی پیشنهاد می‌دهد.

#### مراجع

- [1] Berberian M., King G., “*Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*”, Canadian Journal of Earth Sciences 18 (1981) 210-65.

- Journal of Crystallography and Mineralogy 9 (2001) 1380. In Persian.
- [20] Ghorbani M., Rajabzadeh M., "Petrological, geochemical and K-Ar dating studies on Band-e-Ziarat ophiolitic complex, south of Kahnuj, Kerman Province", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2012). In Persian.
- [21] Nazemzadeh M., Rashidi A., "Geological map of the Dehsard (Bezar), Scale 1/100,000. Geological Survey of Iran", Sheet. (2006) 7347.
- [22] Whitney D.L, Evans B.W. "Abbreviations for names of rock-forming minerals", American mineralogist 95 (2010) 185-187.
- [23] Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresch W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., "Nomenclature of the amphibole supergroup", American Mineralogist 97 (2012) 2031-2048.
- [24] Sial A.N., Ferreira V.P., Fallick A.E., Cruz M.J.M., "Amphibole-rich clots in calc-alkalic granitoids in the Borborema province, northeastern Brazil", Journal of South American Earth Sciences. 11 (5) (1998) 457-471.
- [25] Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E., Birch W.D., Gilbert M.C., Grice J.D., "Report. Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names", Mineralogical Magazine 61 (1997) 295-321.
- [26] Agemar T., Wörner G., Heumann A., "Stable isotopes and amphibole chemistry on hydrothermally altered granitoids in the North Chilean Precordillera: a limited role for meteoric water?", Contributions to Mineralogy and Petrology 136 (1999) 331-344.
- [27] Chivas A.R., "Geochemical evidence for magmatic fluids in porphyry copper mineralization", Contributions to Mineralogy and Petrology 78 (1982) 389-403.
- [28] Bateman R., "The interplay between crystallization, replenishment and hybridization in large felsic magma chambers", Earth-Science Reviews 39 (1995) 91-106.
- [29] Coltorti M., Bonadiman C., Faccini B., Grégoire M., O'Reilly S.Y., Powell W., "Amphiboles from suprasubduction and intraplate lithospheric mantle", Lithos 99 (2007) 68-84.
- "pyroxene chemistry and fluid inclusion studies", Arabian Journal of Geosciences 10 (2017) 54.
- [9] Esmaeily D., Valizadeh M.V., Noorolahi Z., Kananian A., "Mineral chemistry and whole rock geochemistry evidences of the differentiation in the Karaj Dam basement igneous rocks", (2006) 153-176.
- [10] Davoudian D.A., "Mineral chemistry and PT conditions of crystallization of the granitoid plutons in the Zayandeh-Rood river area, shear zone of north of Shahrekord with special reference to magmatic epidote", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy (2010). In Persian.
- [11] Simakin A., Zakrevskaya O., Salova T., "Novel amphibole geo-barometer with application to mafic xenoliths", Earth Science Research 1 (2012) 82.
- [12] Schmidt M.W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer", Contributions to Mineralogy and Petrology. 110 (1992) 304-10.
- [13] Anderson J.L., Smith DR., "The effects of temperature and  $fO_2$  on the Al-in-hornblende barometer", American Mineralogist 80 (1995) 549-559.
- [14] Blundy J.D., Holland TJ., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer", Contributions to Mineralogy and Petrology 104 (1990) 208-224.
- [15] Berberian M., "Active tectonics and geologic setting of the Iranian plateau", In Developments in Earth Surface Processes 17 (2014) 151-171. Elsevier.
- [16] Alavi M., "Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution", American Journal of Science 304 (2004) 1-20.
- [17] Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: a review", AAPG Bulletin. 52 (1968) 1229-58.
- [18] Falcon N.L., "Southern Iran: Zagros Mountains", Geological Society of London, Special Publications 4 (1974) 199-211.
- [19] Mahdavi N., Arvin M., "The mechanism of the formation of disequilibrium textures in the Deh-Sard lava flows, south of Baft", Iranian

- subduction-related volcanoes”, Contributions to Mineralogy and Petrology 160 (2010) 45-66.*
- [37] Wones D.R., “*Significance of the assemblage titanite+ magnetite+ quartz in granitic rocks*”, American Mineralogist 74 (1989) 744-749.
- [38] Stein E., Dietl C., “*Hornblende thermobarometry of granitoids from the Central Odenwald (Germany) and their implications for the geotectonic development of the Odenwald*”, Mineralogy and Petrology 72 (2001) 185-207.
- [39] Vynhal C., McSween Jr.H., Speer J., “*Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids: implications for aluminium hornblende thermobarometry and magmatic epidote stability*”, American Mineralogist 76 (1991) 176-188.
- [40] Helz R.T., “*Phase relations of basalts in their melting range at  $P\text{H}_2\text{O}=5\text{ kb}$  as a function of oxygen fugacity: part I. Mafic phases*”, Journal of Petrology 14 (1973) 249-302.
- [41] Holland T., Blundy J., “*Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 116 (1994) 433-447.
- [42] Helmy H., Ahmed A., El Mahallawi M., Ali S., “*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.
- [43] Loiselle M., “*Characteristics and origin of anorogenic granites*”, Geol Soc Amer Abst. 11 (1979) 468.
- [30] Molina J.F., Scarrow J.H., Montero P.G., Bea F., “*High-Ti amphibole as a petrogenetic indicator of magma chemistry: Evidence for mildly alkalic-hybrid melts during evolution of Variscan basic-ultrabasic magmatism of Central Iberia*”, Contributions to Mineralogy and Petrology 158 (2009) 69-98.
- [31] Jiang C., An S., “*On chemical characteristics of calcic amphiboles from igneous rocks and their petrogenesis significance*”, Journal of Mineralogy and Petrology 3 (1984) 1-9.
- [32] Xie Y.W., Zhang Y.Q., “*Peculiarities and genetic significance of hornblende from granite in the Hengduanshan region*”, Acta Mineral Sin (in Chinese), 10 (1990) 35-45.
- [33] Xue H., Dong S., Jian P., “*Mineral chemistry, geochemistry and U-Pb SHRIMP zircon data of the Yangxin monzonitic intrusive in the foreland of the Dabie orogen*”, Science in China Series D: Earth Sciences 49(7) (2006) 684-695.
- [34] Jiang Y.H., Jiang S.Y., Ling H.F., Zhou X.R., Rui X.J., Yang W.Z., “*Petrology and geochemistry of shoshonitic plutons from the western Kunlun orogenic belt, Xinjiang, northwestern China: implications for granitoid geneses*”, Lithos 63 (2002) 165-187.
- [35] Helz R.T., “*Phase relations of basalts in their melting ranges at  $P\text{H}_2\text{O}=5\text{ kb}$ . Part II. Melt compositions*”, Journal of Petrology 17 (1976) 139-193.
- [36] Ridolfi F., Renzulli A., Puerini M., “*Stability and chemical equilibrium of amphibole in calc-alkaline magmas: an overview, new thermobarometric formulations and application to*