



## زمین - دما فشارسنجی کانی کوارتز در توده‌های نفوذی باتولیت آلموقلاخ (همدان)

منوچهر امیری، احمد احمدی خلجی\*، زهرا طهماسبی، رضا زارعی سهامیه، حسن زمانیان

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان

(دریافت مقاله: ۹۵/۵/۲۴، نسخه نهایی: ۹۵/۹/۱۷)

**چکیده:** با توجه به مقاومت زیاد کوارتز در برابر تنش و دگرسانی، این کانی جهت دما- فشارسنجی در توده‌های نفوذی آلموقلاخ انتخاب شد و برای تعیین دما و فشار تبلور، مقدار Ti موجود در کوارتز توسط ریزپردازشگر الکترونی اندازه‌گیری و میزان فشار و دمای تبلور نقاط بررسی شده، محاسبه گردید. برای تعیین گستره دمای رشد و تبلور کوارتز، نمودارهای دما- فشار ترسیم و کنتوربندی گردید. نتایج نشان داد که با کنتوربندی می‌توان اثرات سوء سیالات فعال و تنش بر دمای تبلور محاسبه شده را کاهش داد. همچنین نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که کانی کوارتز در سنگ‌های متوسط تا قلیایی در یک گستره  $683^{\circ}\text{C}$  تا  $757^{\circ}\text{C}$  و در سنگ‌های اسیدی در یک گستره  $667^{\circ}\text{C}$  تا  $741^{\circ}\text{C}$  متبلور شده است. بررسی سیالات درگیر موجود در رگه‌های سیلیسی توسط میکروسکوپ پلاتین گرمایی نشان داد که رگه‌های سیلیسی موجود در سنگ‌های نفوذی آلموقلاخ و سنگ‌های مجاور با فصل در دمای بین  $134^{\circ}\text{C}$  تا  $255^{\circ}\text{C}$  تشکیل شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** دماسنجی؛ سیالات درگیر؛ فشارسنجی؛ کوارتز؛ آلموقلاخ؛ همدان.

### مقدمه

جاننشینی دوتایی ( $\text{Si}^{+4} - \text{Si}^{+4}$ ) که در این نوع جاننشینی یکی از سیلیسیم‌ها توسط عنصر سه ظرفیتی آلومینیوم ( $\text{Al}^{+3}$ ) و سیلیسیم دیگر که نزدیک اولی قرار دارد توسط عنصر پنج ظرفیتی فسفر ( $\text{P}^{+5}$ ) جانشین شده و بار کل خنثی می‌ماند [۸،۷]. ۳- جاننشینی جبرانی که یک عنصر سه ظرفیتی مانند  $\text{Al}^{+3}$  جانشین  $\text{Si}^{+4}$  می‌شود و یک کاتیون جبران کننده مانند  $\text{H}^+$ ،  $\text{Li}^+$ ،  $\text{Na}^+$  و  $\text{K}^+$  [۱۰،۹،۴] در کانال‌های موازی با محور بلورنگاری (c) و یا جاهای خالی شبکه قرار می‌گیرد که نسبت به عنصری که جانشین سیلیسیم می‌شود دارای تحرک بیشتری است و مقدار آنها ممکن است به فرآیندهای تحرک مجدد حساس باشد [۱۱].

تیتانیم عنصری است که می‌تواند جانشین سیلیسیم شود و بدون دخالت عناصر دیگر تعادل بار برقرار می‌شود. فشار و دمای تبلور، فضای قابل دسترس برای ورود Ti را کنترل می‌کند. امروزه تلاش‌هایی به عمل آمده است تا به کمک

کانی کوارتز با اینکه در پوسته زمین فراوان است و در گستره وسیعی از فشار و دما پایدار و در مقابل حضور سیالات فعال و فشارهای زمین‌ساختی مقاوم است اما از نظر زمین‌شیمیایی کمتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است که دلیل آن نبود روش‌های مناسب برای شناسایی و تعیین مقادیر عناصر کمیاب موجود در ساختمان آن بوده است. اخیراً به کمک تشدید پارامغناطیسی و طیف‌سنجی روش‌های مناسبی برای شناسایی نقایص نقطه‌ای در کوارتز به وجود آمده است [۴-۱]. علاوه بر این، دستگاه‌های پرتو لیزری، یونی و الکترونی روش آسانی را برای سنجش کمی عناصر کمیاب در کوارتز به وجود آورده‌اند [۶،۵].

جاننشینی عناصر در کوارتز در اصل به سه صورت انجام می‌شود: ۱- تک جاننشینی که در آن  $\text{Si}^{+4}$  توسط یک کاتیون چار ظرفیتی دیگر همچون  $\text{Ti}^{+4}$  یا  $\text{Ge}^{+4}$  جانشین می‌گردد. ۲-

$$T_{\circ K} = \frac{1540}{2.26 - \log \frac{Ti_{melt, meas}}{Ti_{qtz, meas}} + 0.124.FM} \quad (5)$$

هر چند در برخی از محیط‌های زمین‌شناسی دمای حاصل از دماسنج کوارتز-تیتان از سایر دماسنج‌ها سازگار است [۱۷، ۱۶، ۱۲]. اما چند مورد ناسازگاری ناشی از دخالت فشار زمین‌ساختی گزارش گردیده است [۱۹، ۱۸]. کانی کوارتز از جمله کانی‌های سیلیکاته قابل فشردن است [۲۰] و برخی از محققین با انجام آزمایش‌هایی در فشار ۲ کیلو بار [۲۱] و سنتز کوارتز و روتیل از شاره‌های آبکی اشباع از سیلیس در فشار ۵ تا ۲۰ کیلو بار [۲۲] دریافتند که مقدار انحلال  $Ti^{+4}$  در کوارتز تابع هر دو پارامتر دما و فشار است و بر این اساس یک زمین-دما فشارسنج برای کانی کوارتز ارائه نمودند

(۶)

$$RT_{(°K)} \cdot \ln X_{TiO_2}^{qtz} = -60952 + 1.52.T_{(°K)} - 1741.P_{(Kbar)} + RT_{(°K)} \ln \alpha_{TiO_2}$$

در این معادله R ثابت گازها و برابر با ۸،۳۱۴۵ J/k است و  $X_{TiO_2}^{qtz}$  کسر مولی  $TiO_2$  در کوارتز است. بررسی‌ها نشان داده است که در فشارهای کمتر از ۱۰ کیلو بار، اثر فشار بر میزان انحلال Ti در کوارتز (اثر بر فرمول ۱) ناچیز است [۱۷، ۱۶، ۱۲]. در سیلیس موجود در رگه‌های گرمایی که مقدار Ti بسیار اندک و زیر حد آشکارسازی دستگاه ریزپردازشگر است، به کمک سیالات درگیر اولیه دمای تشکیل رگه‌ها برآورد می‌گردد. با توجه به اینکه در سنگ‌های باتولیت آلموقلاغ آثاری از تنش (میلونیت) و فعالیت سیالات ماگمایی (حضور اکتینولیت، کلریت، لوکوکسن، پره‌نیت و...) وجود دارد، لذا به منظور برآوردی از دمای ماگما در این پژوهش، بررسی‌های زمین-دما فشارسنجی بیشتر روی کانی مقاوم کوارتز انجام شد.

#### روش بررسی

به منظور اندازه‌گیری مقدار Ti و زمین‌دما فشارسنجی کوارتز، تعداد ۵ مقطع نازک یک‌طرف صیقلی از توده‌های نفوذی اسیدی با اندازه استاندارد ۴۶×۲۷ میلی‌متر مربع و با ضخامت ۳۰ میکرون تهیه و با لایه‌ای از کربن به ضخامت ۲۰ نانومتر پوشش داده شد. سپس برخی از کوارتزهای نوع ماگمایی موجود در آنها توسط دستگاه ریزپردازشگر الکترونی

مقادیر Ti موجود در کوارتز، دما و فشار حاکم بر تبلور کوارتز برآورد شود. پژوهشگران [۱۲] کانی کوارتز را در حضور روتیل و گدازه‌های سیلیکاتی آبدار سنتز نموده و دریافتند که با افزایش دما، مقدار تیتانیم موجود در کوارتز افزایش می‌یابد و رابطه‌ی بین آنها را به صورت یک زمین دماسنج توصیف نموده‌اند.

$$T_{\circ C} = \left( -\frac{3765}{\log Ti_{(ppm)qtz} - 5.69} \right) - 273 \quad (1)$$

این معادله برای هنگامی که کوارتز در تعادل با فاز خالص  $TiO_2$  (روتیل) است معتبر است. محققین [۱۴، ۱۳] با استفاده از معادله مربوط به پارامتر ترکیب گدازه [۱۵]:

$$FM = \left[ \frac{Na + K + 2(Ca + Mg + Fe)}{Al} \right] \times \frac{1}{Si} \quad (2)$$

FM پارامتر ترکیب ماگما است و نمادهای شیمیایی کسرهای کاتیونی عناصر در گدازه هستند) معادله‌ای برای تعیین مقدار بیشینه انحلال Ti (حالت اشباع) در گدازه‌های سیلیسی آبدار ارائه نمودند:

$$\log(Ti_{ppm, melt, sat}) = 7.95 - \frac{5305}{T_{(°K)}} + 0.124.FM \quad (3)$$

در این معادله پارامتر  $Ti_{ppm, melt, sat}$  غلظت تیتانیم مورد نیاز در گدازه جهت تبلور روتیل است که به کمک آن می‌توان حالت اشباع و یا تحت اشباع Ti را در ماگما مشخص نمود این پارامتر برای سنجش بیشینه انحلال تیتانیم در ریولیت (سنگ کل) در دمای مربوطه ارائه گردید [۱۳، ۱۲] و توسط سایر محققین [۱۲] برای گدازه (شیشه) همزیست با کوارتز مورد استفاده قرار گرفت. علاوه بر این، در سیستم‌های طبیعی که روتیل به عنوان یک فاز تعادلی حضور ندارد چنانچه فعالیت  $TiO_2$  تعیین گردد از این دماسنج (فرمول ۱) می‌توان به صورت رابطه زیر استفاده نمود [۱۲]:

$$T_{\circ C} = \left( -\frac{3765}{\log(Ti_{ppm, qtz} / \alpha_{TiO_2}) - 5.69} \right) - 273 \quad (4)$$

در این معادله،  $\alpha_{TiO_2}$  فعالیت اکسیدتیتانیم در ماگما است. آنها حتی برای مواقعی که فعالیت  $TiO_2$  مشخص نیست یک معادله برپایه‌ی مقادیر Ti موجود در کوارتز و مقدار Ti موجود در ماگما (سنگ‌ها) ارائه نمودند (فرمول ۵):

مدت زمان شمارش ۵۵ ثانیه برای عنصر تیتانیم و ۳۵ ثانیه برای سایر عناصر تنظیم و مورد استفاده قرار گرفت.  $K_{\alpha}$  پرتو ایکس برای عناصر Al, Si, Na و Mg به وسیله بلورهای TAP، برای عناصر K, Ca, Ti توسط بلورهای PET و برای عنصر Fe به واسطه بلور LiF جمع‌آوری شد. برای جلوگیری از اثر تیتانیم موجود در کانی‌های مجاور، نقاط مورد بررسی حدود  $150 \mu\text{m}$  دورتر از حاشیه کانی کوارتز و برای جلوگیری از همپوشی نقاط، فاصله بین آنها بیش از  $20 \mu\text{m}$  انتخاب گردید.

نوع Cameca SX-100 در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران مورد بررسی قرار گرفت و ترکیب ۴۶ نقطه از آن‌ها تعیین گردید (جدول ۱). دستگاه ریزپردازشگر الکترونی در این بررسی برای عناصر سیلیسیم، تیتانیم، آهن، سدیم، منگنز، منیزیم، پتاسیم، کلسیم و آلومینیوم به ترتیب با استفاده از کانی‌های ولاستونیت، روتیل، اسپیکولاریت، آلبیت، رودنیت، پریکلاز، ارتوز، ولاستونیت و کروندم کالبره شد. دستگاه با شدت جریان  $20 \text{ nA}$ ، ولتاژ شتاب‌دهنده  $20 \text{ KV}$ ، قطر پرتوی تابشی  $10 \mu\text{m}$  و

جدول ۱ نتایج بررسی ۴۶ نقطه از کوارتزهای مربوط به توده نفوذی باتولیت الموقلاغ به روش EMPA، (علائم اختصاری: P.T = شماره مقاطع نازک صیقلی شده، N.Q = شماره بلور کوارتز و N.P = شماره نقطه‌ی بررسی شده).

سنگ‌های متوسط تا قلیایی												
P.T	AM48											
N.Q	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
N.P	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
Na <sub>2</sub> O	۰٫۰۲۰	۰٫۰۲۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
K <sub>2</sub> O	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۴	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۶	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۶
MgO	۰٫۰۱۳	۰٫۴۲۱	۰٫۱۰۱	۰٫۱۶۹	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۳	۱۰۱٫۹۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۶
CaO	۰٫۰۲۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۱	۰٫۰۴۰	۰٫۰۵۱	۰٫۰۴۸	۰٫۰۶۹	۰٫۰۸۴	۰٫۰۲۸	۰٫۰۰۷	۰٫۰۳۱
MnO	۰٫۰۱۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۴
FeO	۰٫۰۹۷	۰٫۱۳۰	۰٫۰۲۴	۰٫۱۳۴	۰٫۳۴۱	۰٫۳۴۱	۰٫۲۴۸	۰٫۳۳۲	۰٫۳۰۹	۰٫۲۶۱	۰٫۲۰۲	۰٫۱۸۳
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۹	۰٫۰۱۸	۰٫۰۲۷	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۰
SiO <sub>2</sub>	۱۰۰٫۳۶	۱۰۰٫۵۱	۱۰۰٫۵۲	۱۰۰٫۳۴	۱۰۰٫۸۸	۱۰۰٫۶۲	۱۰۰٫۵۴	۱۰۱٫۵۴	۱۰۰٫۹۵	۱۰۱٫۷۹	۱۰۱٫۳۰	۱۰۱٫۷۰
TiO <sub>2</sub>	۰٫۰۱۱	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۶	۰٫۰۴۳	۰٫۰۰۳	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۴
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰٫۰۳۹	۰٫۰۴۸	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۵۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲
Total	۱۰۰٫۶۱	۱۰۱٫۱۷	۱۰۰٫۶۹	۱۰۰٫۷۳	۱۰۱٫۳۶	۱۰۱٫۰۷	۱۰۰٫۸۹	۱۰۱٫۹۹	۱۰۱٫۴۹	۱۰۲٫۱۱	۱۰۱٫۵۳	۱۰۱٫۹۹
سنگ‌های اسیدی												
P.T	AM34							AM23				
N.Q	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۱	۱	۱	۱
N.P	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۱	۲	۳	۴
Na <sub>2</sub> O	۰٫۰۶۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۵۴	۰٫۰۷۶	۰٫۰۸۴	۰٫۰۴۳	۰٫۰۲۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۳۲	۰٫۰۱۷	۰٫۰۱۸
K <sub>2</sub> O	۰٫۰۱۹	۰٫۰۲۳	۰٫۰۳۴	۰٫۰۶۱	۰٫۱۰۲	۰٫۱۹۹	۰٫۰۲۴	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۹	۰٫۰۲۲	۰٫۰۶۰	۰٫۰۰۳
MgO	۰٫۰۱۴	۰٫۰۲۴	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۴	۰٫۰۲۸	۰٫۰۳۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۴۲	۰٫۰۴۲	۰٫۳۲۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
CaO	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۳۵	۰٫۰۴۷	۰٫۰۱۷	۰٫۰۲۰	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۴	۰٫۰۳۱	۰٫۰۲۰
MnO	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۰
FeO	۰٫۰۳۵	۰٫۰۱۷	۰٫۰۰۷	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۳	۰٫۰۲۷	۰٫۰۸۱	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۸	۰٫۰۰۶	۰٫۱۴۰	۰٫۰۳۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۷	۰٫۱۳۶	۰٫۱۳۶	۰٫۰۲۵	۰٫۰۳۲	۰٫۰۰۳
SiO <sub>2</sub>	۱۰۰٫۵۳	۱۰۰٫۰۶	۱۰۰٫۶۲	۹۹٫۴۸	۹۹٫۷۳	۹۹٫۴۵	۹۸٫۹۰	۹۹٫۸۷	۹۹٫۳۶	۹۹٫۷۳	۹۹٫۸۵	۹۹٫۷۱۶
TiO <sub>2</sub>	۰٫۰۲۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۲	۰٫۰۱۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۷۳	۰٫۰۱۹	۰٫۰۳۹	۰٫۰۰۸	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰٫۰۳۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۴۵	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۷	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۲۳	۰٫۰۱۴	۰٫۰۲۵
Total	۱۰۰٫۷۲	۱۰۰٫۱۵	۱۰۰٫۷۷	۹۹٫۷۰	۱۰۰٫۰۹	۹۹٫۸۲	۹۹٫۱۱	۱۰۰٫۰۴	۹۹٫۶۱	۱۰۰٫۱۷	۱۰۰٫۱۷	۹۹٫۸۳

## ادامه جدول ۱

سنگ‌های اسیدی											
P.T	AM23					AM7-2					
N.Q	۱	۲	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۲	۲	۳
N.P	۵	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۱	۲	۱
Na <sub>2</sub> O	۰٫۱۵	۰٫۲۵	۰٫۲۵	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۱۰	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۰٫۰۳	۰٫۰۷۱	۰٫۰۵
K <sub>2</sub> O	۰٫۱۷	۰٫۰۷	۰٫۰۷	۰٫۴۰	۰٫۰۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۷	۰٫۲۴	۰٫۳۴	۰٫۱۱
MgO	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۰۰	۰٫۱۲	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۲۴	۰٫۲۵
CaO	۰٫۳۷	۰٫۱۵	۰٫۱۵	۰٫۲۴	۰٫۰۱	۰٫۳۴	۰٫۲۲	۰٫۰۲	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۰
MnO	۰٫۰۶	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۴	۰٫۰۵	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۲	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۱
FeO	۰٫۲۴۱	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۲۴	۰٫۳۵	۰٫۳۰	۰٫۱۱۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۳۸	۰٫۱۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۵۹۰	۰٫۱۳	۰٫۰۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۲۸۹	۰٫۰۰
SiO <sub>2</sub>	۱۰۱٫۹۲	۱۰۰٫۸۶	۱۰۰٫۹۷	۹۹٫۱۶۳	۱۰۰٫۲۰۰	۹۹٫۹۳	۱۰۰٫۲۸	۱۰۰٫۳۸	۹۹٫۹۷	۱۰۰٫۴۸	۱۰۰٫۳۹
TiO <sub>2</sub>	۰٫۰۰۹	۰٫۰۱۹	۰٫۰۱۴	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۸	۰٫۰۱۱	۰٫۰۱۶	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۵	۰٫۰۰۵
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰٫۰۰۹	۰٫۰۵۴	۰٫۰۶۱	۰٫۰۱۶	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۷۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Total	۱۰۲٫۲۶	۱۰۰٫۲۷	۱۰۰٫۲۲	۹۹٫۹۷	۱۰۰٫۲۹	۱۰۰٫۰۰۲	۱۰۰٫۴۵	۱۰۰٫۴۳	۱۰۰٫۰۸	۱۰۰٫۹۹	۱۰۰٫۴۹
سنگ‌های اسیدی											
P.T	AM7-2			AM9							
N.Q	۳	۴	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۲	۲
N.P	۲	۱	۱	۲	۳	۴	۱	۲	۳	۴	۵
Na <sub>2</sub> O	۰٫۰۰	۰٫۱۷	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۲۱	۰٫۲۶	۰٫۲۲	۰٫۱۶	۰٫۰۰	۰٫۱۳	۰٫۲۰
K <sub>2</sub> O	۰٫۰۵	۰٫۴۵	۰٫۲۰	۰٫۰۷	۰٫۱۶	۰٫۲۶	۰٫۱۳	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۸	۰٫۲۲
MgO	۰٫۰۰	۰٫۱۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۱۳	۰٫۲۴	۰٫۰۰	۰٫۰۵	۰٫۱۶	۰٫۴۳
CaO	۰٫۰۰	۰٫۲۴	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۳۲	۰٫۳۷	۰٫۲۲	۰٫۲۶	۰٫۳۱	۰٫۰۹	۰٫۲۶
MnO	۰٫۰۰	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۱۲	۰٫۰۰۹	۰٫۱۱	۰٫۰۰۴	۰٫۰۰
FeO	۰٫۰۰	۰٫۱۱۳	۰٫۱۳	۰٫۱۵	۰٫۵۲	۰٫۹۹	۰٫۰۰	۰٫۴۶	۰٫۷۱	۰٫۱۰۴	۰٫۰۰
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰٫۳۱	۰٫۸۲	۰٫۲۰	۰٫۲۴	۰٫۰۰	۰٫۰۰۹	۰٫۰۰۳	۰٫۰۰۴	۰٫۳۰	۰٫۰۰	۰٫۱۳
SiO <sub>2</sub>	۱۰۰٫۶۲	۱۰۰٫۷۵	۱۰۰٫۵۲	۱۰۰٫۹۹	۱۰۰٫۵۸	۹۹٫۱۱	۱۰۰٫۳۸	۱۰۰٫۱۲	۹۹٫۸۵	۱۰۰٫۳۰	۱۰۰٫۰۴
TiO <sub>2</sub>	۰٫۱۵	۰٫۲۷	۰٫۰۰۹	۰٫۱۰	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۵	۰٫۰۱۳	۰٫۱۱	۰٫۰۰۵	۰٫۱۲
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	۰٫۲۹	۰٫۰۰	۰٫۰۴۷	۰٫۰۰	۰٫۱۱	۰٫۱۸	۰٫۰۰	۰٫۰۰	۰٫۵۶	۰٫۱۶	۰٫۸۲
Total	۱۰۰٫۷۶	۱۰۱٫۰۹	۱۰۰٫۶۳	۱۰۱٫۰۶	۱۰۰٫۷۲	۹۹٫۳۷	۱۰۰٫۴۹	۱۰۰٫۲۷	۱۰۰٫۱۱	۱۰۰٫۴۸	۱۰۰٫۲۸

دانشگاه بوعلی سینای همدان با لایه‌ای از کربن به ضخامت ۲۰ نانومتر پوشش داده شدند و به کمک میکروسکوپ روبشی نوع MIRA3 Field Emission در دانشگاه لرستان مورد بررسی قرار گرفتند. سپس لایه کربن برداشته شد و پس از صیقل دادن، بار دیگر توسط روش کندوپاش پوششی از طلا به ضخامت ۱۰ نانومتر ایجاد و مجدد مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین به منظور دمای تشکیل رگه‌های سیلیسی توسط شاره-های درگیر، از هر یک از نمونه‌های QZ<sub>1</sub> و QZ<sub>2</sub> دو مقطع دو طرف صیقلی شده (در مجموع ۴ مقطع) و به ضخامت ۱ میلی‌متر تهیه و سیالات درگیر موجود در آنها توسط میکروسکوپ پلاتین گرمائی-سرمائی در دانشگاه لرستان مورد بررسی قرار گرفتند.

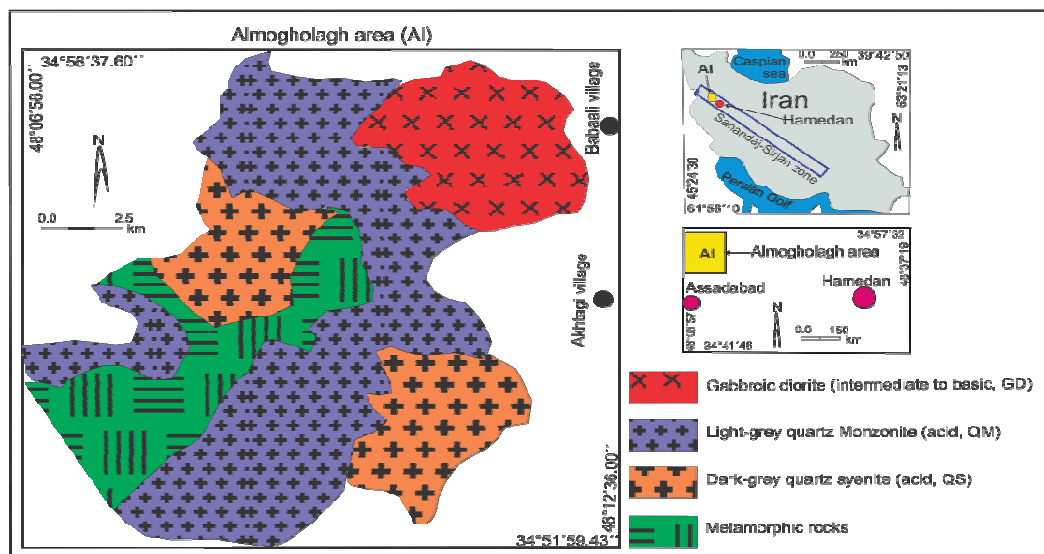
جهت بررسی دقت و صحت نتایج، بررسی در برخی نقاط برای چندین بار تکرار شد که نتایج آنها همسان و یا بسیار نزدیک به هم بود. گفتنی است که با تمهیداتی که از نظر تصحیح مدل زمینه و سیستم جمع‌آوری چندگانه در برنامه‌ی دستگاه اعمال شده است، حد آشکارسازی این نوع دستگاه در زمان طولانی شمارش برای عنصر تیتانیم در کوارتز به ۲ تا ۳ ppm ارتقاء یافته است [۲۳]. علاوه بر این، در سه نقطه از سه رگه‌ی سیلیسی گرمابی موجود در سنگ‌های اسیدی و یا تزریق شده در سنگ‌های مجاور، سه نمونه (QZ<sub>1</sub>, QZ<sub>2</sub>, QZ<sub>3</sub>) و از سنگ‌های نفوذی باتولیت آلموقلاغ ۱۱ نمونه گرفته شد به منظور بررسی فازها و تهیه تصاویر الکترونی، ۱۴ قرص صیقلی مربع شکل و با ابعاد ۱×۱×۰٫۵ سانتیمتر مکعب از آنها تهیه و در

**موقعیت زمین‌شناسی و سنگ‌نگاری**

در منطقه سنندج - سیرجان در طی و یا پس از حرکات صفحه‌عربی و فرورانش اقیانوسی نئوتیس به زیر کرانه جنوبی اوراسیا، یک سری از گرانیتوئیدهای وابسته به فرورانش به وجود آمده که باتولیت آلموقلاخ در این منطقه واقع شده است و تصور می‌شود که در مرز صفحات همگرای یاد شده قرار گرفته است (شکل ۱). سنگ‌های در برگیرنده این باتولیت شامل متاپلیت‌های تریاس- ژوراسیک به نام فیلیت‌های همدان هستند [۲۴، ۲۵]. از پژوهش به روش Rb-Sr [۲۶] سنگ‌کل سنی معادل با  $174 \pm 144$  Ma و از پژوهش با روش‌های U-Pb و U-Th-Pb در اسفن [۲۷]، سنی معادل با ۱۵۹-۱۳۸ Ma (حد بین ژوراسیک پایانی و اوایل کرتاسه) برای سنگ‌های نفوذی این باتولیت گزارش شده است.

براساس نتایج منتشر شده [۲۸] که بر پایه‌ی مطالعات صحرایی، مشاهدات میکروسکوپیکی، بررسی‌های شیمیایی در باتولیت آلموقلاخ انجام گرفته است، سه گروه از سنگ‌های آذرین درونی در منطقه مشاهده می‌شود. گروه اول سنگ‌های با دانه‌بندی به نسبت درشت تا متوسط و بافت دانه‌ای هستند که از کانی‌های فلدسپات قلیایی و پلاژیوکلاز (۵۵ تا ۶۰ درصد)، آمفیبول سبز کم رنگ تا سبز زیتونی (۳۰ تا ۳۵ درصد)، اندکی کوارتز دانه‌ریز در زمینه (۳ تا ۱۰ درصد)، ایلمنیت‌های با حاشیه لوکوکسنی و مگنتیت‌های لوزی شکل (حدود ۴ درصد)، کانی‌های فرعی اسفن لوزی شکل (حدود ۲ درصد) و گاهی پیروکسن اورالیته شده تشکیل می‌شوند. در این سنگ‌ها، کانی‌های پلاژیوکلاز تمام‌شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار و اغلب از نوع

الیگوکلاز و آندزین هستند. این گروه در نقشه سنگ‌شناسی (شکل ۱) با عنوان گابرو- دیوریت (GD) مورد اشاره قرار گرفته است. گروه دوم سنگ‌های به نسبت روشن با بافت پورفیری از کانی‌های فلدسپات‌های قلیایی و پلاژیوکلاز (۵۰ تا ۵۵ درصد)، کوارتزهای دانه‌ریز (۱۵ تا ۲۵ درصد) آمفیبول (۱۵ تا ۲۰ درصد) و کانی‌های لوکوکسن، ایلمنیت، اسفن و مگنتیت (حدود ۱۰ درصد) تشکیل می‌شود تورمالین‌های نوع شورلیتی اولیه به ندرت در آنها مشاهده می‌شود که حاوی فلئور و بروم هستند. پلاژیوکلازها با زاویه خاموشی حدود ۱۲ تا ۲۰ درجه از نوع الیگوکلاز و آندزین هستند. این گروه در نقشه سنگ‌شناسی (شکل ۱) به عنوان کوارتز مونزونیت (QM) مورد اشاره قرار گرفته است. گروه سوم دارای همان کانی‌شناسی گروه دوم است با این تفاوت که دارای فلدسپات قلیایی بیشتر و بخش زیادی از سنگ دانه‌ریز بوده و کانی‌های آمفیبول و کدر در آن پراکنده است در صورتیکه در گروه دوم کانی‌های آمفیبول و کدر بافت لخته‌ای و حالت تجمع شبیه به بافت پرفیروگلومرایی را از خود نشان می‌دهند. از این گروه در نقشه سنگ‌شناسی (شکل ۱) به عنوان کوارتز سینیت (QS) نام برده شده است. در بررسی اکسیدهای اصلی در نمودارهای مختلف سنگ‌شناسی [۲۹-۳۳]، سنگ‌های گروه دوم و سوم جزو سنگ‌های اسیدی و سنگ‌های گروه اول جزو سنگ‌های متوسط تا قلیایی قرار می‌گیرند. رگه‌ها و رگچه‌های سیلیسی (گرمابی) در شکستگی سنگ‌های اسیدی و سنگ‌های بلافضل مجاور تشکیل شده است.

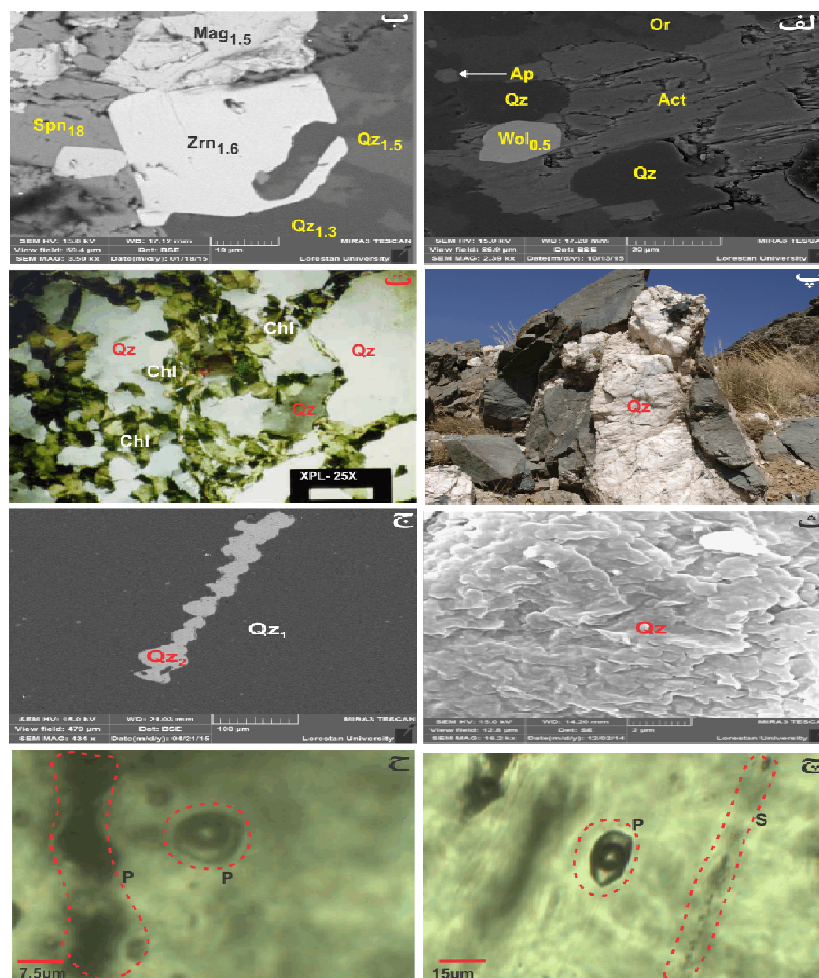


شکل ۱ موقعیت و نقشه سنگ‌شناسی باتولیت آلموقلاخ برپایه بررسی‌های سنگ‌نگاری [۲۸].

## شیمی و کانی‌شناسی کوارتز

در بررسی‌های الکترونی دو نوع کوارتز (ماگمایی و گرمایی) مشاهده می‌شود. نوع گرمایی از دو نسل روشن (فاقد سیالات درگیر) و تیره (با حجم بیش از ۹۹ درصد و حاوی سیالات درگیر) تشکیل شده است. در کوارتزهای نوع اول (ماگمایی)، عناصر  $Al$  و  $Ti$ ,  $P$ ,  $V$ ,  $Cr$ ,  $K$ ,  $Na$ ,  $Mg$ ,  $Ca$ ,  $Mn$ ,  $Fe$  توسط ریزپردازشگر و عناصر  $Nb$  و  $Zr$ ,  $Hf$ ,  $Tb$ ,  $Cd$  توسط ریزپردازشگر روبشی شناسایی و اندازه‌گیری شدند که هیچ‌گونه همبستگی بین مقادیر این عناصر وجود ندارد. وجود همبستگی مثبت بین مقدار  $Ti$  با مقادیر عناصر  $K$  و  $Al$  در کوارتزهای جنوب و غرب نروژ گزارش شده است [۳۴]. وجود عناصر

هالوژن (کلر، نئون، برم و ید) در سیالات درگیر و تغییراتی که در کانی‌ها آمفیبول (شکل ۲ الف) و زیرکن (شکل ۲ ب) موجود در سنگ‌های نفوذی به وجود آمده است بیانگر حضور سیالات فعال گرمایی غنی از سیلیس است. به علاوه این سیالات حاوی مقادیر زیادی سیلیسیم بوده و در شکستگی سنگ‌های نفوذی به صورت رگچه و در سنگ‌های دگرگونی پیرامون به صورت رگه تزریق و ته‌نشین شده است (شکل ۲ پ). در بررسی با میکروسکوپ نوری، کانی‌های کلریت بادبزی همراه کوارتز (شکل ۲ ت) و در مشاهدات میکروسکوپ الکترونی کوارتز با حالت اگرگات صفحه‌ای روی هم خوابیده (شکل ۲ ث) و فعالیت دو مرحله‌ای محلول‌های سیلیس‌ساز (شکل ۲ ج) مشاهده



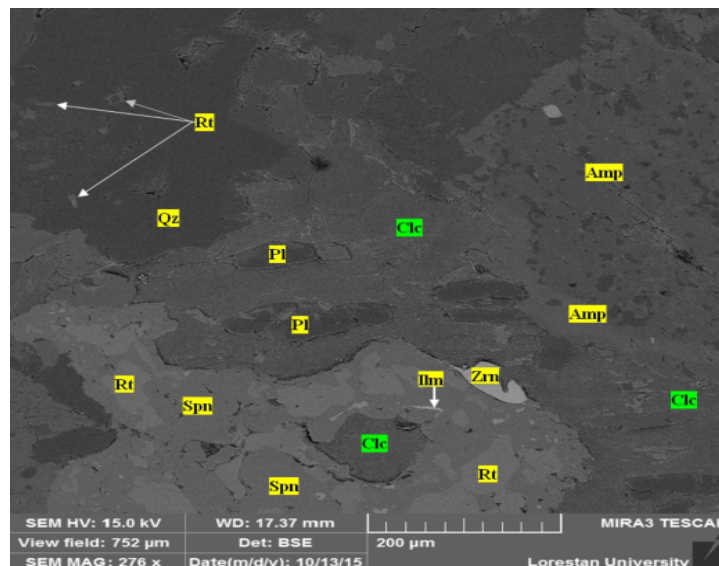
شکل ۲ تصاویر مختلف از کانی‌های کوارتز و سیالات درگیر و سایر کانی‌های همراه سنگ‌ها و رگه‌های سیلیسی باتولیت آلموقلاغ. الف و ب) تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از دو نمونه سنگ نفوذی [۲۸]. پ) رگه‌ی سیلیسی تزریق شده در سنگ‌های مجاور. ت) تصویر میکروسکوپیک از کانی‌های کوارتز و کلریت بادبزی (Chl) در رگه‌ی سیلیسی. ث) تصویر الکترونی از اگرگات صفحه‌ای- پولکی از سیلیس در رگه‌ی سیلیسی. ج) تصویر الکترونی از دو فاز (نسل) سیلیسی با ترکیب متفاوت ( $Qz_1$  و  $Qz_2$ ). چ و ح) سیالات درگیر موجود در رگه‌های سیلیسی با خاستگاه اولیه (P) و ثانویه (S). (علائم اختصاری: Or= ارتوکلاز، Ap= آپاتیت، Act= اکتینولیت، Qz= کوارتز، Wol= ولفرامیت، Mag= ماگنتیت، Spn= اسفن تیتانیت)، Zrn = زیرکن).

بالایی از اکسید تیتانیوم مشاهده می‌شود (شکل ۲). البته کوارتزهای موجود در شکل ۲ ب حاصل فعالیت سیالات گرمایی هستند و این نوع کوارتز معمولاً حاوی تیتانیوم بسیار اندک جانشین شده در ساختار است. بنابراین مقادیر ۱/۳ و ۱/۵ درصد اکسید تیتانیوم موجود در نقاطی که از سیلیس گرمایی تشکیل شده است ناشی از تیتانیوم موجود در ذرات میکرونی است که از تلاشی کانی زیرکن و یا اسفن بر اثر حمله سیالات سیلیسی فعال بوجود آمده و در مجاورت و یا روی کانی‌های کوارتز قرار گرفته است. در برخی مقاطع علاوه بر حضور کانی‌های اسفن، ایلمنیت و سایر کانی‌های تیتان دار، کانی روتیل به طور گسترده در سطح مقطع و مجاور کوارتز مشاهده می‌شود و حتی گاهی تیغه‌ها و لکه‌های ریزی از آن در کوارتز تشکیل شده است (شکل ۳). حضور کانی روتیل در سنگ و به ویژه در داخل کانی کوارتز، نشانه‌ای از اشباع بودن محیط از تیتانیوم است [۱۲]. با استفاده از درصد مقادیر  $TiO_2$  موجود در جدول ۱، مقادیر  $Ti_{ppm}$  برای تمام نقاط بررسی شده، محاسبه گردید (ستون ۵ جدول ۲) و با استفاده از فرمول ۱ (شرایط اشباع از  $TiO_2$ ) مقدار دما در زمان تبلور ( $T_{\alpha_{TiO_2=1}}$ ) محاسبه شد (ستون ۶ جدول ۲). میانگین دمای تبلور کوارتز در نقاط بررسی شده در سنگ‌های متوسط تا قلیایی حدود  $711^\circ C$  و در سنگ‌های اسیدی  $685^\circ C$  است.

می‌شود. در بررسی مقاطع دو طرف صیقلی، سیالات محبوس فراوانی با اندازه‌ی متوسط  $8/2$  میکرون مشاهده می‌گردد که به صورت کشیده بیضوی، کروی و بی‌شکل هستند. برخی از این سیالات، همزمان با تبلور کوارتز و به صورت پراکنده و یا خطی و برخی نیز به صورت ثانویه و بعد از تبلور سیلیس در راستای شکستگی‌ها تشکیل شده‌اند. درون بیشتر این سیالات یک فاز گازی مشاهده می‌شود که در بیشتر موارد اندازه‌ی بزرگی داشته و برای زمین‌دماسنجی و تعیین دمای تبلور رگه‌های کوارتز مناسب هستند (شکل ۲ چ و ح).

### دماسنجی کانی کوارتز

چنانکه پیشتر بیان شد برای تعیین دمای تشکیل کوارتز در حالت‌های اشباع از  $TiO_2$  (فرمول ۱)، تحت اشباع از  $TiO_2$  و با فعالیت مشخص (فرمول ۴) و تحت اشباع با فعالیت نامشخص (فرمول ۵) روابطی تنظیم و ارائه شده است. لذا تعیین نوع شرایط حاکم بر سیستم برای برآورد دمای تبلور کوارتز ضروری است. بر اساس دلایلی که در ادامه بیان می‌شود محیط تشکیل و تبلور کانی کوارتز در سنگ‌های نفوذی آلموقلاغ اشباع از  $TiO_2$  بوده و فعالیت آن بیشینه و برابر با ۱ بوده است ( $\alpha_{TiO_2=1}$ ). در بیشتر مقاطع مورد بررسی، کانی‌های اسفن (تیتانیت)، ایلمنیت و لوکوکسن وجود دارند (شکل‌های ۲ و ۳). همچنین در تعداد زیادی از نقاط بررسی شده درصد به نسبت



شکل ۳ تصویر کانی‌های موجود در مقطع صیقلی AM20 که با استفاده از الکترون‌های برگشتی میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه شده است در گوشه بالا سمت چپ، لکه‌ها و تیغه‌های روتیل در درون کوارتز وجود دارد که نشانه‌ی اشباع بودن محیط از  $TiO_2$  (روتیل) است. روتیل در بخش پائین تصویر بصورت لکه‌های بزرگ محاط در تیتانیت دیده می‌شود. (علائم اختصاری: روتیل=Rt، کوارتز=Qz، پلاژیوکلاز=Pl، کلینوکلر زیرکونیم دار=Clc، تیتانیت (اسفن)=Spn، آمفیبول=Amp، زیرکن=Zrn، ایلمنیت=Ilm).

جدول ۲ مقادیر دما و تیتانیم محاسبه شده (مربوط به کوارتزها و ماگما) در توده های نفوذی باتولیت آلموقلاخ در مقادیر مختلف فعالیت  $TiO_2$ . (علائم اختصاری: F.M.= پارامتر ترکیب ماگما، P.T.= مقاطع نازک صیقلی شده، N.Q.= شماره کانی کوارتز، N.P.= شماره نقطه‌ی بررسی شده و R.T.= نوع سنگ)

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
R.T	P.T	N.Q	N.P	$Ti_{ppm-p}$ (points)	$T\alpha_{TiO_2=1}$ (°C)	$T\alpha_{TiO_2=0.6}$	$Ti_{ppm-r}$ (rocks)	F.M.	$Ti_{melt-sat1}$	$Ti_{melt-sat0.6}$	$T_{meas}$
سنگ‌های متوسط تا قلیایی	AM48	۱	۱	۶۶,۰۰	۶۹۹,۸	۷۵۸,۹	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۲۵۱۶	۵۱۶۴	۱۸۸۱,۸
		۱	۲	۱۵۰,۰	۷۹۸,۵	۸۷۰,۷	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۷۹۹۸	۱۶۴۲۷	۱۱۶۴,۶
		۱	۳	۲۱۶,۰	۸۴۹,۰	۹۲۸,۵	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۱۳۳۶۱	۲۷۴۵۹	۹۷۹,۵۰
		۱	۴	۲۵۸,۰	۸۷۵,۴	۹۵۸,۸	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۱۷۱۶۰	۳۵۲۶۱	۹۷۵,۲۰
		۲	۱	۱۸۰,۰۰	۲۷۶,۰	۶۲۰,۷	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۴۰۳	۸۲۸	۹۹۴۹,۴
		۲	۲	۱۰۸,۰۰	۷۵۶,۷	۸۲۳,۲	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۵۰۳۵	۱۰۳۴۱	۱۳۹۲,۹
		۲	۳	۷۸,۰۰	۷۱۸,۳	۷۷۹,۸	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۳۱۸۰	۶۵۳۲	۱۶۹۳,۶
		۲	۴	۶۰,۰۰	۶۸۹,۵	۷۴۷,۳	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۲۱۹۹	۴۵۱۴	۲۰۱۳,۵
		۲	۵	۶۰,۰۰	۶۸۹,۵	۷۴۷,۳	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۲۱۹۹	۴۵۱۴	۲۰۱۳,۵
		۲	۶	۱۲,۰۰	۵۴۳,۶	۵۸۴,۸	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۲۲۸	۴۶۷	-
		۲	۷	۹۰,۰۰	۷۳۴,۸	۷۹۸,۵	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۳۸۹۱	۷۹۹۸	۱۵۳۹,۶
		۲	۸	۲۴,۰۰	۶۰۰,۶	۶۴۸,۰	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۶۰۵	۱۳۴۲	۵۱۵,۰۰
		میانگین		۹۵,۰۰	۷۱۱,۰	۷۷۲,۲	۱۸۵۷۹	۷,۲۹۱۵	۴۸۹۸	۱۰۰۶۲	۲۶۱۴,۰
سنگ‌های اسیدی	AM34	۱	۱	۱۱۹,۰	۷۶۸,۷	۸۳۶,۸	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۱۵۳۹	۳۱۶۱	۱۴۴۴,۶
		۱	۲	۶۰,۰۰	۴۹۳,۵	۵۲۹,۸	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۴۷	۹۷	-
		۱	۳	۱۲,۰۰	۵۴۳,۶	۵۸۴,۸	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۶۱	۱۲۵	-
		۲	۱	۱۰۱,۰	۵۷۴,۸	۸۱۳,۹	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۱۲۲۰	۲۵۰۷	۱۵۹۲,۶
		۲	۲	۶۶,۰۰	۶۹۹,۸	۷۵۸,۹	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۶۷۱	۱۳۷۷	۱۶۵۱,۰
		۲	۳	۲۲۲,۰	۸۵۳,۰	۹۳۳,۰	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۱۷۰۲	۷۶۰۶	۱۰۴۶,۱
		۳	۱	۱۱۴,۰	۷۶۳,۳	۸۳۰,۷	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۱۴۴۷	۲۹۷۵	۱۴۸۰,۹
		۳	۲	۲۳۴,۰	۸۶۰,۸	۹۴۱,۹	۵۸۳۷	۲,۶۵۹۳	۳۹۹۰	۶۵۱۸	۱۰۲۰,۷
	AM23	۱	۱	۴۸,۰۰	۶۶۶,۲	۷۲۱,۲	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۳۹۵	۸۱۱	۲۳۹۲,۵
		۱	۲	۱۲,۰۰	۵۴۳,۶	۵۸۴,۸	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۵۶	۱۱۵	-
		۱	۳	۵۴,۰۰	۶۷۸,۳	۷۳۴,۸	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۴۶۶	۹۵۷	۲۱۷۵,۷

ادامه جدول ۲

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
R.T	P.T	N.Q	N.P	$Ti_{ppm-p}$	$T\alpha_{TiO_2=1}$ (°C)	$T\alpha_{TiO_2=0.6}$	$Ti_{ppm-r}$	F.M.	$Ti_{melt-sat1}$	$Ti_{melt-sat0.6}$	$T_{meas}$
سنگ‌های اسیدی		۱	۴	۷۲,۰۰	۷۰۹,۳	۷۶۹,۷	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۶۹۹	۱۴۳۶	۱۷۶۹,۹
		۱	۵	۵۴,۰۰	۶۷۸,۳	۷۳۴,۸	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۴۶۶	۹۵۷	۲۱۷۵,۷
		۲	۱	۱۱۴,۰	۷۶۳,۳	۸۳۰,۷	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۱۳۳۵	۲۷۴۴	۱۳۴۲,۲
		۲	۲	۸۴,۰۰	۷۲۶,۸	۷۸۹,۴	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۸۶۸	۱۷۸۵	۱۶۰۳,۲
		۲	۳	۵۴,۰۰	۶۷۸,۳	۷۳۴,۸	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۴۶۶	۹۵۷	۲۱۷۵,۷
		۲	۴	۶۰,۰۰	۴۹۳,۵	۵۲۹,۸	۴۵۵۵	۲,۳۷۷۵	۲۱	۴۳	-
	AM7-2	۱	۱	۴۸,۰۰	۶۶۶,۲	۷۲۱,۲	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۴۱۹	۸۶۱	۲۸۲۰,۸
		۱	۲	۶۶,۰۰	۶۹۹,۸	۷۵۸,۹	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۶۵۷	۱۳۴۹	۲۱۴۸,۱
		۱	۳	۹۶,۰۰	۷۴۲,۴	۸۰۷,۱	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۱۱۱۳	۲۲۸۸	۱۶۵۴,۹
		۲	۱	۷۸,۰۰	۷۱۸,۳	۷۷۹,۸	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۸۳۱	۱۷۰۶	۱۹۰۰,۲
		۲	۲	۹۰,۰۰	۷۳۴,۸	۷۹۸,۵	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۱۰۱۶	۲۰۸۹	۱۷۲۵,۰
		۳	۱	۳۰,۰۰	۶۲۰,۷	۶۷۰,۴	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۲۱۶	۴۴۴	۴۹۷۱,۴
		۳	۲	۹۰,۰۰	۷۳۴,۸	۷۹۸,۵	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۱۰۱۶	۲۰۸۹	۱۷۲۵,۰
		۴	۱	۱۶۲,۰	۸۰۸,۷	۸۸۲,۴	۵۸۱۴	۲,۵۸۷۷	۲۳۲۶	۴۷۸۱	۱۲۲۷,۹
	AM9	۱	۱	۵۴,۰۰	۶۷۸,۳	۷۳۴,۸	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۴۹۵	۱۰۱۶	۲۲۴۶,۷
		۱	۲	۶۰,۰۰	۶۸۹,۵	۷۴۷,۳	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۵۴۷	۱۱۷۹	۲۰۷۰,۱
		۱	۳	۶۰,۰۰	۴۹۳,۵	۵۲۹,۸	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۲۲	۴۶	-
		۱	۴	۳۰,۰۰	۶۲۰,۷	۶۷۰,۴	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۲۱۶	۴۴۴	۴۰۵۰,۳
		۲	۱	۳۰,۰۰	۶۲۰,۷	۶۷۰,۴	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۲۱۶	۴۴۴	۴۰۵۰,۳
		۲	۲	۷۸,۰۰	۷۱۸,۳	۷۷۹,۸	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۸۳۰	۱۷۰۶	۱۷۲۳,۹
۲		۳	۶۶,۰۰	۶۹۹,۸	۷۵۸,۹	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۶۵۷	۱۳۴۹	۱۹۳۱,۳	
۲		۴	۳۰,۰۰	۶۲۰,۷	۶۷۰,۴	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۲۱۶	۴۴۴	۴۰۵۰,۳	
		۲	۵	۷۲,۰۰	۷۰۹,۳	۷۶۹,۷	۵۰۳۴	۲,۵۸۶۳	۷۴۲	۱۵۲۵	۲۰۹۱,۲
		میانگین		۷۳,۶۰	۶۸۴,۸	۷۴۲,۶	۵۲۸۸	۲,۵۴۸۵	۷۹۴	۱۷۰۳	۲۰۷۵,۳



۵۰۰°C تشکیل می‌شوند اگر اندازه‌گیری مقدار تیتانیوم درست و دقیق باشد دمای حاصل از فرمول ۱ فقط در گستره ۲°C ± با دمای واقعی تفاوت خواهد داشت. با توجه به اینکه مقدار تیتانیوم در تمامی نقاط بررسی شده بیش از حد آشکارسازی دستگاه (۳ppm) و به استثناء ۳ نقطه بیش از ۱۰ppm است، لذا با توجه به شرایط رعایت شده در حین کار، تصور می‌شود که میانگین دمای تبلور کوارتز در سنگ‌های متوسط تا قلیایی در گستره دمایی ۵°C ± ۷۱۱°C (۷۰۶°C تا ۷۱۶°C) و در سنگ‌های اسیدی در گستره دمایی ۵°C ± ۶۸۵°C (۶۸۰°C تا ۶۹۰°C) قرار گیرد.

### فشارسنجی کانی کوارتز

برای تعیین فشار در زمان تبلور نقاط بررسی شده، ابتدا مقادیر دما برحسب درجه کلون و مقادیر کسر مولی اکسید تیتانیوم به کمک فرمول زیر [۲۲] محاسبه شدند:

$$X_{\text{TiO}_2}^{\text{qtz}} = \frac{Ti_{\text{ppm}}}{1E4 \times 0.599 \times 79.87} + \left[ \left( 100 - \frac{Ti_{\text{ppm}}}{1E4 \times 0.599 \times 79.87} \right) \times \frac{1}{60.09} \right]$$

سپس فشار تشکیل نقاط بررسی شده با استفاده از فرمول ۶، برآورد شد که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که در این جدول مشاهده می‌گردد فشار تبلور نقاط مربوط به کوارتز در سنگ‌های متوسط تا قلیایی به جزء یک مورد در گستره ۹۰۲ کیلوپار تا ۱۰۲۳ کیلوپار و در سنگ‌های متوسط تا اسیدی در محدوده ۸۶۲ تا ۹۹۸ کیلوپار متغیر است. میانگین فشار تبلور نقاط بررسی شده در سنگ‌های متوسط تا قلیایی ۹۵۳ کیلوپار و در سنگ‌های اسیدی ۹۴۱ کیلوپار است. با استفاده از یک عامل تبدیل 1Kbar = 3.7 Km برای پوسته‌ی قاره‌ای [۳۵] و عامل خطای محاسبه 0.5Kbar ± تبلور نقاط بررسی شده از کوارتزها در سنگ‌های متوسط تا قلیایی در عمق ۳۱/۵۲ تا ۳۹/۳۳ کیلومتر و در سنگ‌های اسیدی در عمق ۳۰/۰۴ تا ۳۸/۷۸ کیلومتر صورت گرفته است. اگرچه در سنگ‌های اسیدی نوع کوارتز مونوزونیت تجمع‌های زینولیتی از کانی‌های آمفیبول نوع آلومینو-فرو Ts چرماکیت وجود دارد که فشارسنجی توسط Al، فشار بیش از ۱۵ کیلوپار را برای آنها نشان می‌دهد ولی به دست آوردن فشاری معادل با ۷ کیلوپار برای آمفیبول‌ها موجود در سنگ‌های متوسط تا قلیایی [۲۸]، نشان می‌دهد که فشار حاصل از فرمول ۶ برای تبلور کوارتز موجود در توده‌های نفوذی آلموقلاگ مورد تردید

همانطور که گفته شد شرایط اشباع از TiO<sub>2</sub> بر محیط تبلور کانی کوارتز حاکم بوده و برای تأیید این موضوع، مقادیر تیتانیوم لازم برای اشباع شدن ماگما در دماهای ستون ۶ با استفاده از فرمول ۳ برآورد و در ستون ۱۰ در جدول ۲ ارائه شده است (Ti<sub>melt-sat</sub>). نتایج نشان می‌دهد که مقدار تیتانیوم اندازه‌گیری شده از سنگ‌های منطقه (Ti<sub>ppm-r</sub>) در ستون ۸ جدول ۲) بیشتر از مقدار مورد نیاز برای اشباع شدن ماگما در این دما است. پژوهشگران [۱۲] اظهار داشته‌اند که در سنگ‌های آذرین سیلیسی که روتیل پایدار نیست مقدار فعالیت TiO<sub>2</sub> معادل و یا بیشتر از ۰/۵ است. همچنین برخی [۱۴] بیان نموده‌اند که مقدار فعالیت TiO<sub>2</sub> در گدازه‌های سیلیسی در دماهای متعارف معمولاً برابر با و یا بیشتر از ۰/۶ است. لذا با فرض فعالیت برابر معادل با ۰/۶ (α<sub>TiO2=0.6</sub>) و استفاده از فرمول ۴، دمای تبلور نقاط محاسبه گردید (T<sub>aTiO2=0.6</sub> در ستون ۷) که میانگین دمای تبلور برای نقاط مربوط به کوارتز در سنگ‌های متوسط تا قلیایی حدود ۷۷۲/۲°C است که از مقدار دمایی (۷۴۲°C) که با استفاده از دماسنجی همزیستی آمفیبول-پلاژیوکلاز به دست آمده است [۲۸] بیشتر است که با توجه به اینکه تبلور کوارتز پس از تبلور آمفیبول صورت می‌گیرد این دما نامعقول و نادرست است. برای دماهای به دست آمده برپایه این فرض (ستون ۷)، مقادیر تیتانیوم لازم برای اشباع شدن ماگما با استفاده از فرمول ۳ محاسبه شد (Ti<sub>melt-sat</sub> 0.6 در ستون ۱۱ جدول ۲) که مقادیر آن کمتر از مقادیر موجود در سنگ‌ها (ستون ۸) است و نشان می‌دهد که بر سیستم تبلور شرایط فوق اشباع از تیتانیوم حاکم بوده و دماهای حاصل از فرمول ۱ برای شرایط اشباع (دماهای ستون ۶)، همان دمای تبلور نقاط بررسی شده است. همچنین با فرض اشباع بودن ماگما از Ti و نامشخص بودن مقدار فعالیت TiO<sub>2</sub>، مقادیر دما از فرمول ۵ محاسبه شد (T<sub>meas</sub> در ستون ۱۲ جدول ۲). همانطور که دیده می‌شود دماهای به دست آمده یا از حد پایداری کوارتز بالاترند و یا منفی و نامعقول هستند. لذا با توجه به مطالب بیان شده نتیجه می‌شود که ماگما در زمان تبلور کوارتز دارای شرایط اشباع از تیتان بوده و دماهای ستون ۶ برآوردی نسبتاً مناسب برای دمای ماگما در زمان تبلور کوارتز محسوب می‌شوند. محققین [۱۲] اظهار داشتند که دقت نتایج حاصل از فرمول ۱ برای تبلور کانی کوارتز معمولاً بهتر از ۵°C ± بوده و برای کوارتزهایی که در دماهای بالای

داغ اسیدی و هالوژنه و تنش‌های زمین‌ساختی وارد به منطقه است. مقدار انتشار مجدد Ti در دمای  $500^{\circ}\text{C}$  حدود  $2\mu\text{m}$  در یک میلیون سال و در دمای  $700^{\circ}\text{C}$  درجه حدود  $125\mu\text{m}$  در یک میلیون سال اعلام شده است که مقدار آن با حضور محلول‌های فعال افزایش می‌یابد که البته خروج تیتانیوم از شبکه‌ی کوارتز فقط به کناره‌های کوارتز در حد  $1\text{mm}$  محدود است [۱۲]. برای تعیین گستره دمایی رشد کانی کوارتز در سنگ‌های منطقه، مقادیر دمای ستون ۶ از جدول ۲ برحسب مقادیر فشاری وابسته به آنها (جدول ۳) ترسیم و سپس کنتوربندی شد. عمل ترسیم و کنتوربندی برای کوارتزهای موجود در سنگ‌های متوسط تا قلیایی، اسیدی و کل سنگ‌ها جداگانه انجام شد. این کار یک بار بدون حذف داده‌های پرت و بار دیگر با حذف آنها انجام شد (شکل ۴). در شکل ۴ الف که مربوط به کوارتزهای موجود در سنگ‌های متوسط تا قلیایی است مرکز کنتورها (نقطه m) در نقطه‌ای با دمای  $720^{\circ}\text{C}$  و فشاری در حدود  $9/46$  کیلوبار قرار می‌گیرد. در این شکل یک نقطه کاملاً پرت دیده می‌شود که با حذف آن شکل ۴ ب نتیجه می‌شود که هرچند

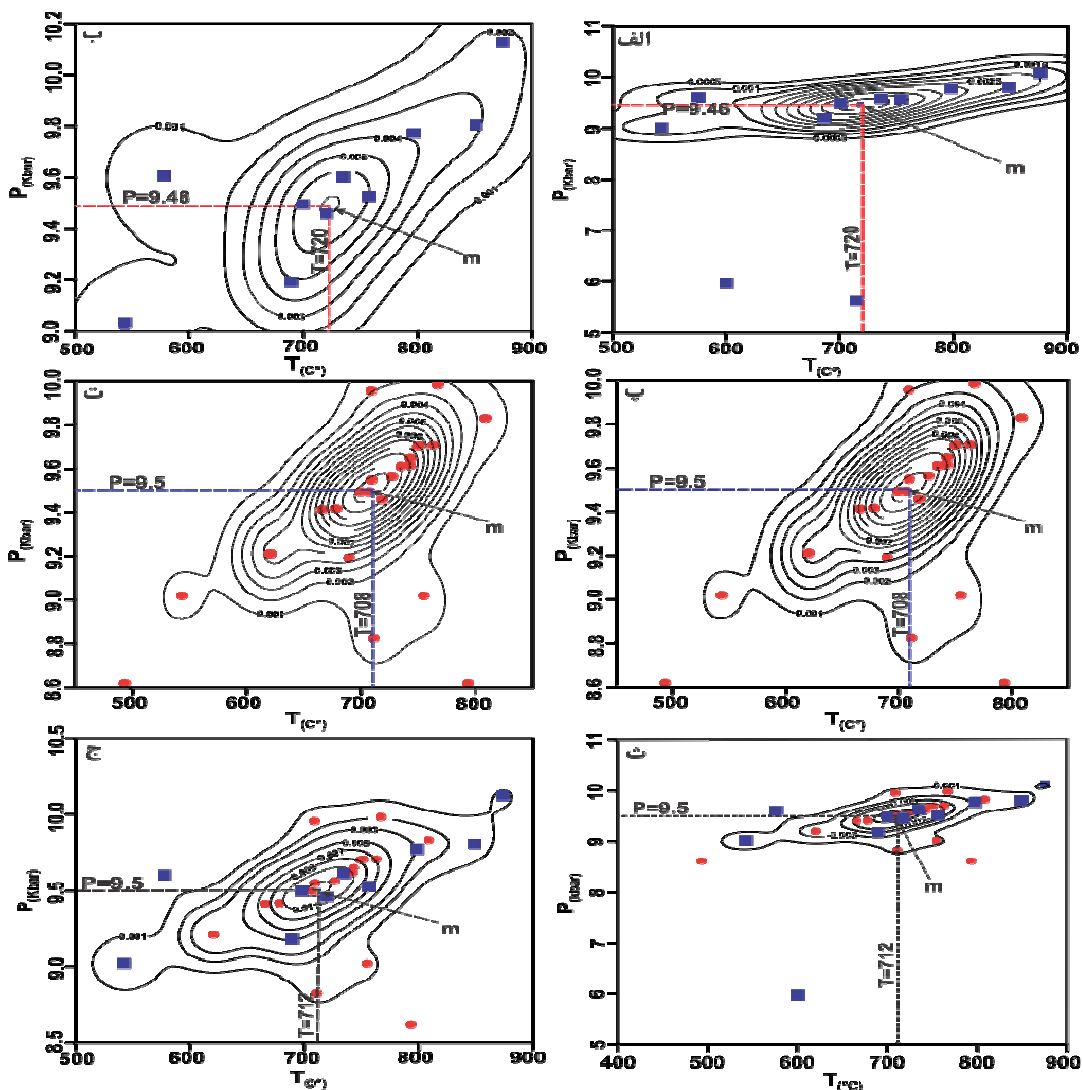
است و این نتیجه احتمالاً می‌تواند به‌عنوان یکی از موارد نقض فرمول ۶ مطرح شود. البته نتایج بررسی برخی از محققین [۱۲، ۱۶، ۱۷] نشان داده است که در فشارهای کمتر از ۱۰ کیلوبار، اثر فشار بر میزان انحلال Ti در کوارتز (اثر بر فرمول ۱) ناچیز است و بنابراین فشار حاصل از فرمول ۶ در فشارهای کمتر از ۱۰ کیلوبار می‌تواند با خطا همراه باشد. به هر حال وجود اندکی بافت گرانوفیری در کوارتز مونزونیت‌ها بیانگر کاهش آبی عمق و فرار سیالات گازی در مراحل پایانی تبلور این سنگ‌ها است.

**تعیین دما و فشار رشد کوارتز توسط کنتوربندی**

همانطور که در جدول ۲ دیده می‌شود مقادیر تیتانیوم (ستون ۵) و دمای به دست آمده (ستون ۶) دارای پراکندگی است که بخشی از این پراکندگی مربوط به گستره‌ی دمایی رشد کوارتز در طی انجماد گدازه است. محققین پی برده‌اند که کوارتز در گدازه‌های متوسط تا اسیدی در یک گستره دمایی  $50^{\circ}\text{C}$  تا  $75^{\circ}\text{C}$  رشد می‌کند [۳۶]. بخش دیگری از این پراکندگی مربوط به انحلال و جابه‌جایی تیتانیوم در اثر حضور محلول‌های

**جدول ۳** فشارهای محاسبه شده برای نقاط مورد بررسی از کوارتزهای موجود در توده‌های نفوذی باتولیت الموقلاغ ( $P_{\text{Kbar}} =$  فشار محاسبه شده در فعالیت  $\text{TiO}_2$  برابر با ۱ و بقیه علائم همانند جدول ۲).

R.T	P.T	N.Q	N.P	$X_{\text{TiO}_2}^{qtz}$	$P_{\text{Kbar}}$	R.T	P.T	N.Q	N.P	$X_{\text{TiO}_2}^{qtz}$	$P_{\text{Kbar}}$
سنگهای متوسط تا قلیایی	AM48	۱	۱	۰٫۰۰۰۰۸۳	۹٫۴۹۵	سنگهای اسیدی	AM23	۱	۴	۰٫۰۰۰۰۹۰	۹٫۵۴۹
		۱	۲	۰٫۰۰۰۰۱۹۰	۹٫۷۷۲			۱	۵	۰٫۰۰۰۰۶۸	۹٫۴۱۷
		۱	۳	۰٫۰۰۰۰۲۸۰	۹٫۸۰۵			۲	۱	۰٫۰۰۰۰۱۴۳	۹٫۷۰۷
		۱	۴	۰٫۰۰۰۰۲۲۰	۱۰٫۱۳۰			۲	۲	۰٫۰۰۰۰۱۰۶	۹٫۵۶۲
		۲	۱	۰٫۰۰۰۰۲۰	۹٫۶۰۱			۲	۳	۰٫۰۰۰۰۶۸	۹٫۴۱۷
		۲	۲	۰٫۰۰۰۰۱۴۰	۹٫۵۲۷			۲	۴	۰٫۰۰۰۰۰۸	۸٫۶۲۰
		۲	۳	۰٫۰۰۰۰۱۰۰	۹٫۴۵۹			۱	۱	۰٫۰۰۰۰۶۰	۹٫۴۱۳
		۲	۴	۰٫۰۰۰۰۰۸۰	۹٫۱۹۳			۱	۲	۰٫۰۰۰۰۸۳	۹٫۴۹۵
	سنگهای اسیدی	AM34	۲	۵	۰٫۰۰۰۰۰۸۰		۹٫۱۹۳	۱	۳	۰٫۰۰۰۰۱۲۱	۹٫۶۱۶
			۲	۶	۰٫۰۰۰۰۰۱۵		۹٫۰۲۰	۲	۱	۰٫۰۰۰۰۱۰۰	۹٫۴۵۹
			۲	۷	۰٫۰۰۰۰۱۱۳		۹٫۶۱۱	۲	۲	۰٫۰۰۰۰۱۱۳	۹٫۶۱۱
			۲	۸	۰٫۰۰۰۰۰۶۵		۵٫۹۷۶	۳	۱	۰٫۰۰۰۰۰۳۸	۹٫۲۱۰
			۱	۱	۰٫۰۰۰۰۱۵۰		۹٫۷۰۳	۳	۲	۰٫۰۰۰۰۱۱۳	۹٫۶۱۱
			۱	۲	۰٫۰۰۰۰۰۱۳		۸٫۸۲۵	۴	۱	۰٫۰۰۰۰۲۰۴	۹٫۸۳۱
			۱	۳	۰٫۰۰۰۰۰۱۵		۹٫۰۲۰	۱	۱	۰٫۰۰۰۰۰۶۸	۹٫۴۱۷
			۲	۱	۰٫۰۰۰۰۱۲۷		۹٫۶۴۸	۱	۲	۰٫۰۰۰۰۰۸۰	۹٫۱۹۳
AM23		AM9	۲	۲	۰٫۰۰۰۰۰۸۳	۹٫۴۹۵	۱	۳	۰٫۰۰۰۰۰۰۸	۸٫۶۲۰	
			۲	۳	۰٫۰۰۰۰۰۲۷۹	۹٫۹۸۴	۱	۴	۰٫۰۰۰۰۰۳۸	۹٫۲۱۰	
	۳		۱	۰٫۰۰۰۰۰۱۴۳	۹٫۷۰۷	۲	۱	۰٫۰۰۰۰۰۳۸	۹٫۲۱۰		
	۳		۲	۰٫۰۰۰۰۰۲۹۴	۹٫۹۵۷	۲	۲	۰٫۰۰۰۰۰۱۰۰	۹٫۴۵۹		
۱	۱	۰٫۰۰۰۰۰۶۰	۹٫۴۱۳	۲	۳	۰٫۰۰۰۰۰۸۳	۹٫۴۹۵				
۱	۲	۰٫۰۰۰۰۰۱۵	۹٫۰۲۰	۲	۴	۰٫۰۰۰۰۰۳۸	۹٫۲۱۰				
۱	۳	۰٫۰۰۰۰۰۶۸	۹٫۴۱۷	۲	۵	۰٫۰۰۰۰۰۹۰	۹٫۵۴۹				



شکل ۴ نمودارهای کنتوربندی دما-فشار برای تعیین میانگین دما و فشار تبلور در کوارتزهای موجود در توده‌های نفوذی آموقلاخ: الف) در سنگ‌های متوسط تا قلیایی بدون حذف داده‌های پرت (ب) در سنگ‌های متوسط تا قلیایی با حذف داده‌های پرت (پ) در سنگ‌های اسیدی بدون حذف داده‌های پرت (ت) در سنگ‌های اسیدی با حذف داده‌های پرت (ث) در کل سنگ‌ها بدون حذف داده‌های پرت (ج) در کل سنگ‌ها با حذف داده‌های پرت.

تغییر می‌کند اما مرکز آن‌ها (نقطه m) دارای دمای  $705^{\circ}\text{C}$  است که تنها  $3^{\circ}\text{C}$  درجه با دمای شکل ۴ پ تفاوت دارد و با میانگین دمای به دست آمده در جدول ۲ ( $684/8^{\circ}\text{C}$ ) در فاصله اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و میانگین دمای تبلور کوارتز در این سنگ‌ها را بیان می‌نماید. در شکل ۴ ث که مربوط به کوارتزهای موجود در کل سنگ‌های منطقه است مرکز کنتورها (نقطه m) در نقطه‌ای با دمای  $712^{\circ}\text{C}$  درجه و فشاری در حدود  $9/5$  کیلوپار قرار می‌گیرد. در این شکل دو نقطه به نسبت پرت دیده می‌شود که با حذف آن‌ها شکل ۴ ج نتیجه می‌شود که هرچند ریخت کنتوربندی آن

ریخت کنتور بندی آن تغییر می‌کند اما مرکز کنتورهای آن (نقطه m) دارای همان دمای  $720^{\circ}\text{C}$  درجه است که با میانگین دمای به دست آمده در جدول ۲ ( $711^{\circ}\text{C}$ ) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و میانگین دمای تبلور کوارتز در این سنگ‌ها را بیان می‌نماید. در شکل ۴ پ که مربوط به کوارتزهای موجود در سنگ‌های اسیدی است مرکز کنتورها (نقطه m) در نقطه‌ای با دمای  $708^{\circ}\text{C}$  درجه و فشاری در حدود  $9/5$  کیلوپار قرار می‌گیرد. در این شکل دو نقطه به نسبت پرت دیده می‌شود که با حذف آن‌ها شکل ۴ ت حاصل می‌شود که هرچند ریخت کنتوربندی آن

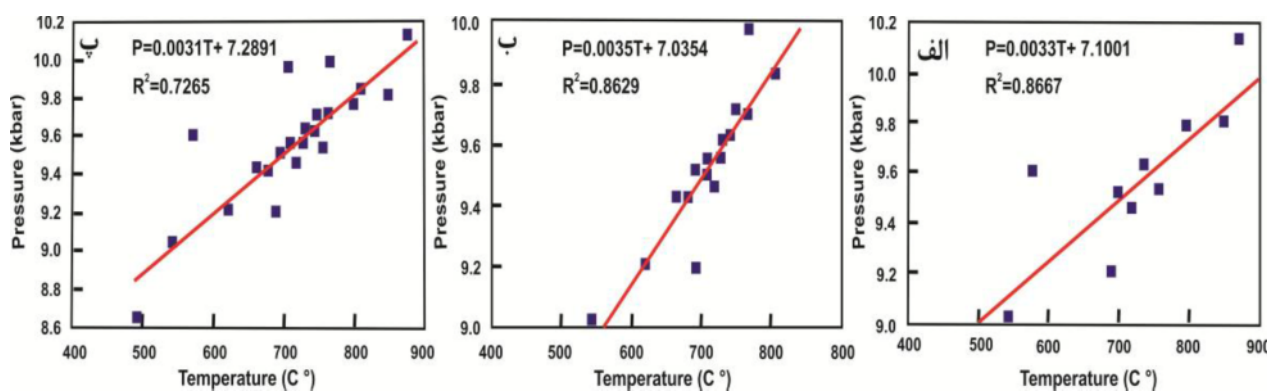
رگه‌های سیلیسی از نوع اولیه بوده و حاوی فاز گازی هستند لذا برای زمین‌دماسنجی و تعیین دمای تشکیل رگه‌های کوارتز مناسب بودند. بنابراین در این بررسی دمای یکنواختی فازها با استفاده از اطاقک گرمایی-سرمائی میکروسکوپ پلاتین گرمایی، تعیین شد که باتوجه به بزرگ بودن اندازه فاز گازی موجود در سیال مایع، دمای یکنواختی بسیار نزدیک به دمای تبلور رگه سیلیسی بوده و به عنوان دمای تبلور در نظر گرفته شد. نتایج اندازه‌گیری‌های مختلف دما در جدول ۴ ارائه شده است. دمای تبلور اندازه‌گیری شده از ۱۳۴ درجه تا ۲۵۵ درجه متغیر بوده و دارای میانگین حدود ۱۹۳ درجه سانتی‌گراد است. همچنین با استفاده از کاهش تدریجی دما در اطاقک سرمایی و رسیدن به دمای انجماد و سپس با افزایش دما و اندازه‌گیری دمای ذوب کامل و با استفاده از ارتباط بین میزان کاهش نقطه انجماد و درصد نمک طعام، درصد شوری سیال و چگالی آن در هر یک از سیالات محبوس تعیین گردید. متوسط درصد شوری سیالات محبوس برابر با ۱۹/۲ درصد برآورد شد (جدول ۴). دماها نشان می‌دهند که سیالات حاوی کلئیدها و یا چاروجهی‌های سیلیسی دارای دمای به نسبت پائینی بوده و فشار هنگام تشکیل آنها چندان بالا نبوده و در عمق به نسبت کم تشکیل شده‌اند. وجود کانی‌هایی همچون کلریت به همراه کانی‌های کوارتز و همچنین تزریق بخشی از سیلیس به درون سنگ‌های شیستی پیرامون باتولیت، نشان می‌دهد که دما و عمق تشکیل سیلیس‌های گرمایی پائین بوده است.

تغییر می‌کند اما مرکز کنتورهای آن (نقطه m) دارای همان دمای ۷۱۲ درجه است که با میانگین دمای بدست آمده در جدول ۲ ( $691.6^{\circ}\text{C}$ ) با فاصله اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان نمی‌دهد و میانگین دمای تبلور کوارتز در کل سنگ‌ها را بیان می‌نماید. با فرض تبلور و رشد کانی‌های کوارتز در یک گستره دمایی  $75^{\circ}\text{C}$  می‌توان گفت که کانی کوارتز در سنگ‌های متوسط تا قلیایی توده آلموقلاغ در گستره دمایی  $37.5 \pm 72.0^{\circ}\text{C}$  ( $683^{\circ}\text{C}$  تا  $757^{\circ}\text{C}$ ) و در سنگ‌های اسیدی در گستره‌ی دمایی  $37.5 \pm 70.5^{\circ}\text{C}$  ( $667^{\circ}\text{C}$  تا  $740^{\circ}\text{C}$ ) تشکیل شده است.

به گفته محققین ضمن تبلور بلورها و یا پس از تبلور برخی از آن‌ها، ماگما قادر به شرکت به سمت بالا است [۳۷]. با این حال، با توجه به غلظت بالای ماگما در ضمن تبلور کوارتز، حرکت ماگما به سمت بالا آهسته صورت می‌گیرد. در شکل ۵ نمودارهای خطی فشار برحسب دمای تبلور برای نقاط بررسی شده از کوارتزها در سنگ‌های متوسط تا قلیایی، اسیدی و کل سنگ‌ها منطقه بطور جداگانه و با حذف داده‌های پرت رسم شده‌اند. با توجه به شکل، یک همبستگی به نسبت بالا بین دما و فشار تبلور (عمق تبلور) در کوارتزها دیده می‌شود که بدین معنی است که ماگما ضمن تبلور کوارتز به آرامی در حال صعود به سوی سطح زمین بوده است.

#### دماسنجی سیالات درگیر

با توجه به اینکه تعداد زیادی از سیالات درگیر موجود در



شکل ۵ نمودارهای خطی فشار برحسب دمای تبلور برای نقاط بررسی شده از کوارتزهای موجود در توده‌های نفوذی باتولیت آلموقلاغ با حذف داده‌های پرت: الف) در سنگ‌های متوسط تا قلیایی ب) در سنگ‌های اسیدی پ) در کل سنگ‌ها.

جدول ۴ نتایج دماسنجی سیالات درگیر حاوی دو فاز (مایع و گاز) در رگه‌های سیلیسی

نمونه	اندازه (μm)	دمای (°C) یکنواختی	درصد شوری	دمای ذوب کامل (°C)	شکل سیال	نمونه	اندازه (μm)	دمای (°C) یکنواختی	درصد شوری	دمای ذوب کامل (°C)	شکل سیال
QZ <sub>1</sub>	۱۰,۳	۲۲۴,۲	۲۱,۸	-۱۹,۲	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۱۰,۴	۲۲۰,۷	۲۱,۱	-۱۸,۲	کشیده
QZ <sub>1</sub>	۵,۵	۱۱۷,۳	۲۲,۱	-۱۹,۷	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۱۰,۸	۲۳۷,۶	۲۲,۷	-۲۰,۵	کشیده
QZ <sub>1</sub>	۵,۵	۲۰۹,۱	۲۰,۷	-۱۷,۷	بیضوی	QZ <sub>1</sub>	۱۲,۶	۲۱۲,۳	۲۲,۴	-۲۰,۱	بی‌شکل
QZ <sub>1</sub>	۶,۸	۱۹۷,۱	۲۰,۱	-۱۶,۹	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۱۲,۳	۱۷۹,۱	۲۵,۸	-۲۳,۷	کشیده
QZ <sub>1</sub>	۷,۷	۱۳۸,۶	۱۸,۷	-۱۵,۱	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۵,۶	۲۵۴,۴	۱۹,۰	-۱۵,۵	کروی
QZ <sub>1</sub>	۵,۸	۱۸۳,۶	۲۰,۰	-۱۶,۸	کروی	QZ <sub>1</sub>	۸,۴	۱۷۸,۳	۱۹,۴	-۱۵,۹	بی‌شکل
QZ <sub>1</sub>	۱۷,۳	۱۷۰,۹	۲۰,۸	-۱۷,۸	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۱۹,۹	۱۹۴,۸	۲۱,۲	-۱۸,۴	بیضوی
QZ <sub>1</sub>	۱۴,۱	۱۷۹,۱	۲۱,۴	-۱۸,۶	بی‌شکل	QZ <sub>1</sub>	۷,۱	۱۸۸,۵	۲۳,۸	-۲۱,۱	بیضوی
QZ <sub>1</sub>	۵,۸	۱۶۵,۷	۲۳,۸	-۲۱,۸	کشیده	QZ <sub>1</sub>	۸,۶	۱۷۷,۶	۱۹,۶	-۱۶,۲	کروی
QZ <sub>1</sub>	۹,۰	۱۷۶,۲	۲۰,۴	-۱۷,۳	کروی	QZ <sub>1</sub>	۹,۲	۱۷۵,۴	۲۰,۰	-۱۶,۷	بیضوی
QZ <sub>1</sub>	۷,۳	۱۷۲,۴	۲۲,۹	-۲۰,۸	کروی	QZ <sub>1</sub>	۵,۹	۱۶۲,۰	۲۲,۱	-۱۹,۶	بیضوی
QZ <sub>1</sub>	۸,۱	۱۷۶,۹	۲۰,۹	-۱۷,۹	کشیده	QZ <sub>1</sub>	۶,۱	۱۶۹,۴	۲۱,۲	-۱۸,۴	بی‌شکل
QZ <sub>1</sub>	۷,۳	۲۲۸,۶	۲۲,۱	-۱۹,۷	کشیده	QZ <sub>1</sub>	۶,۳	۲۳۲,۵	۲۰,۶	-۱۷,۵	بی‌شکل
QZ <sub>1</sub>	۸,۰	۱۷۰,۰	۲۱,۷	-۱۹,۰	کشیده	QZ <sub>1</sub>	۵,۰	۲۱۴,۱	۲۰,۸	-۱۷,۸	بیضوی
QZ <sub>2</sub>	۶,۶	۲۱۱,۵	۲۲,۶	-۲۰,۴	کروی	QZ <sub>2</sub>	۶,۶	۲۱۲,۴	۲۰,۳	-۱۷,۲	کروی
QZ <sub>2</sub>	۶,۲	۲۰۳,۹	۱۹,۸	-۱۶,۵	کروی	QZ <sub>2</sub>	۷,۲	۱۹۶,۳	۲۱,۳	-۱۸,۵	کشیده
QZ <sub>2</sub>	۶,۴	۲۱۲,۶	۲۳,۰	-۲۱,۰	کروی	QZ <sub>2</sub>	۴,۷	۲۲۰,۸	۲۱,۹	-۱۹,۳	کروی
QZ <sub>2</sub>	۷,۷	۱۸۳,۳	۲۳,۱	-۱۴,۰	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۶,۱	۲۰۹,۵	۶,۵۲	-۴,۱۰	کشیده
QZ <sub>2</sub>	۱۰,۹	۱۸۷,۴	۱۷,۹	-۱۴,۲	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۷,۷	۱۷۰,۱	۱۰,۲	-۶,۸۰	کروی
QZ <sub>2</sub>	۱۰,۳	۱۳۳,۸	۹,۴۵	-۶,۲۰	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۵,۱	۱۴۸,۷	۲۱,۳	-۱۸,۵	کروی
QZ <sub>2</sub>	۶,۶	۱۶۹,۶	۱۰,۹	-۷,۳۰	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۸,۲	۱۹۱,۰	۱۲,۵	-۸,۷۰	بی‌شکل
QZ <sub>2</sub>	۱۱,۹	۱۸۷,۹	۱۱,۹	-۸,۲۰	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۱۱,۱	۱۹۵,۹	۱۲,۳	-۸,۵۰	بی‌شکل
QZ <sub>2</sub>	۱۴,۱	۱۹۲,۵	۱۵,۶	-۱۱,۶	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۵,۷	۱۹۵,۸	۱۵,۰	-۱۱,۰	کروی
QZ <sub>2</sub>	۶,۵	۲۰۹,۸	۱۳,۵	-۹,۶۰	کروی	QZ <sub>2</sub>	۵,۶	۱۹۲,۲	۱۴,۶	-۱۰,۶	کروی
QZ <sub>2</sub>	۷,۱	۱۹۳,۱	۱۴,۶	-۱۰,۶	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۴,۸	۲۰۱,۷	۱۴,۱	-۱۰,۲	بی‌شکل
QZ <sub>2</sub>	۹,۴	۲۰۳,۸	۱۱,۷	-۸,۰۰	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۱۲,۴	۱۹۷,۱	۱۲,۱	-۸,۳۰	کشیده
QZ <sub>2</sub>	۱۱,۵	۱۸۰,۸	۲۲,۴	-۲۰,۱	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۱۰,۹	۱۴۷,۶	۱۶,۸	-۱۲,۹	کروی
QZ <sub>2</sub>	۱۱,۱	۱۸۵,۵	۲۴,۷	-۲۲,۱	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۵,۳	۱۷۵,۹	۱۵,۵	-۱۱,۵	کشیده
QZ <sub>2</sub>	۷,۱	۱۷۳,۲	۲۳,۱	-۲۱,۲	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۸,۶	۲۴۰,۳	۲۳,۱	-۲۱,۲	بیضوی
QZ <sub>2</sub>	۸,۴	۱۷۷,۲	۱۶,۲	-۱۲,۳	کروی	QZ <sub>2</sub>	۱۲,۴	۲۳۸,۷	۲۳,۰	-۲۰,۹	بی‌شکل
QZ <sub>2</sub>	۴,۵	۲۲۳,۸	۲۳,۱	-۲۱,۱	کروی	QZ <sub>2</sub>	۷,۵	۲۴۴,۷	۲۲,۷	-۲۰,۶	کشیده
QZ <sub>2</sub>	۹,۴	۲۲۹,۱	۲۲,۹	-۲۰,۸	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۴,۴	۲۳۳,۶	۲۲,۹	-۲۰,۹	کروی
QZ <sub>2</sub>	۱۱,۰	۱۹۴,۹	۲۱,۵	-۱۸,۸	کشیده	QZ <sub>2</sub>	۴,۶	۱۹۱,۶	۲۲,۲	-۱۹,۸	بیضوی
QZ <sub>2</sub>	۹,۴	۱۸۹,۲	۲۱,۸	-۱۹,۲	بی‌شکل	QZ <sub>2</sub>	۷,۸	۲۰۳,۷	۲۱,۷	-۱۹,۱	کروی
QZ <sub>2</sub>	۹,۹	۱۵۱,۱	۲۰,۳	-۱۷,۱	کروی	QZ <sub>2</sub>	۷,۱	۱۸۴,۴	۲۱,۰	-۱۸,۱	بیضوی
QZ <sub>2</sub>	۴,۲	۱۸۵,۲	۲۰,۹	-۱۷,۹	کروی	QZ <sub>2</sub>	۵,۵	۱۶۰,۵	۲۱,۵	-۱۸,۸	بیضوی

## نتیجه‌گیری

از بررسی جدول‌ها و نمودارها، نتایج زیر به دست می‌آید:

- هرچند در بررسی‌هایی که توسط ریز پردازشگر الکترونی انجام گرفت سعی شد تا محل بررسی نقاط دور از کانی‌های تیتان دار روتیل، اسفن و ایلمنیت و دور از کناره کانی کوارتز انتخاب شود اما به هر حال در تحلیل خطی کوارتز (از مرکز کانی به سوی کناره) نظم مناسبی در توزیع مقدار Ti در کوارتزهای منطقه دیده نمی‌شود که دلیل آن می‌تواند وجود لکه‌های بسیار ریز از کانی‌های تیتان دار در کوارتز و یا انتشار و باز توزیع Ti در اثر فعالیت محلول‌های فعال هالوژنه و یا فشارها و تنش‌های بعدی وارد بر منطقه باشد. کنتور بندی نقاط در نمودارهای دما- فشار و تعیین مختصات مرکز گرانش کنتورها، روش مناسبی برای تعیین گستره‌ی دمایی رشد کوارتز در سنگ‌هایی است که دچار تنش‌های زمین‌ساختی شده و یا تحت تاثیر محلول‌های خورنده قرار گرفته‌اند زیرا مختصات مرکز کنتورها نسبت به وجود یا عدم وجود نقاط پرت حساسیت معنی‌داری ندارد.

- با فرض رشد کانی کوارتز در یک گستره دمایی  $75^{\circ}\text{C}$ ، این کانی در سنگ‌های متوسط تا قلیایی باتولیت آلموقلاخ در گستره‌ی دمایی  $37/5^{\circ}\text{C} \pm 720$  ( $682/5^{\circ}\text{C}$  تا  $757/5^{\circ}\text{C}$ ) و در سنگ‌های اسیدی در گستره‌ی دمایی  $37/5^{\circ}\text{C} \pm 705$  ( $667/5^{\circ}\text{C}$  تا  $740/5^{\circ}\text{C}$ ) تشکیل شده است.

- رابطه خطی بین فشار و دمای تبلور نقاط بررسی شده نشان می‌دهد که ماگما ضمن تبلور کوارتز به آرامی در حال صعود بوده است.

- بررسی سیالات محبوس (با میانگین شوری  $19/2$  درصد) در رگه‌های سیلیسی توسط اطاقک گرمایی-سرمایی میکروسکوپ پلاتین گرمایی نشان می‌دهد که رگچه‌ها و رگه‌های سیلیسی موجود در سنگ‌های نفوذی باتولیت آلموقلاخ و سنگ‌های مجاور بلافاصل در دمای بین  $134$  تا  $255$  درجه سانتی‌گراد (با میانگین  $193$  درجه سانتی‌گراد) تشکیل گردیده‌اند.

## قدردانی

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه لرستان بخاطر حمایت‌های مالی آنها تشکر می‌نمایند. از همکاری بی‌دریغ آقای فرهاد احمدنژاد در بررسی سیالات درگیر سپاسگزاری می‌گردد. همچنین نویسندگان از داوران محترم که با ارائه نظرات ارزنده، موجبات بهبود این مقاله را فراهم نموده‌اند صمیمانه تشکر می‌نمایند.

## مراجع

- [1] Weil J.A., "A review of the EPR spectroscopy of the point defects in  $\alpha$ -quartz: the decade 1982-1992", In: Helms, C.R. Deal, BE (ed), the Physics and chemistry of  $\text{SiO}_2$  and the Si-SiO<sub>2</sub> interface.2, Plenum Press, New York, (1993) 131-144.
- [2] Weil J.A., "A review of electron spin-spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz", Phys Chem Min, 10 (1984) 149-165.
- [3] Götze J., Plötze M., "Investigation of trace-element distribution in detrital quartz by Electron Paramagnetic Resonance", Eur. J Miner. 9 (1997) 529-537.
- [4] Götze J., Plötze M., Habermann, D., "Origin, spectral characteristics and practical applications of the cathodoluminescence (CL) of quartz: A review", Mineralogy and Petrology, 71 (2001) 225-250.
- [5] Flem B., Larsen R.B., Grimstvedt A., Mansfeld J., "In situ analysis of trace elements in quartz by using laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry", Chem Geol, 182 (2002) 237-247.
- [6] Müller A., Wiedenbeck M., Van den Kerkhof A.M., Kronz A., Simon K., "Trace elements in quartz; a combined electron microprobe, secondary ion mass spectrometry, laser-ablation ICP-MS, and cathodoluminescence study", European Journal of Mineralogy, 15(2003) 747-763.
- [7] Huttenlocher H.F., "Kristallstruktur des Aluminium-orthophosphates". Zeitschrift für Kristallogra fie, 90A (1935) 508-516.
- [8] Beck W.R., "Crystallographic inversions of the aluminium orthophosphate polymorphs and their relation to silica", J. Am. Ceram. Soc. 32 (1949) 147-151.
- [9] Mackey J. H., "An EPR study of impurity related colour centres in aluminium-doped quartz", J. Chem. Phys. 39 (1963) 74-83.
- [10] Götze J. Plötze M., Graupner T., Hallbauer D.K., Bray C.J., "Trace element incorporation into quartz: A combined study by ICP-MS, electron spin resonance, cathodoluminescence, capillary ion analysis, and gas chromatography", Geochimica & Cosmochimica Acta, 68 (2004) 3741-3759.
- [11] Larsen R.B., Henderson H., Ihlen P.M., Jacamon F., "Distribution and petrogenetic behaviour of trace elements in granitic pegmatite

- [24] Mohajjel M., Fergusson C.L., Sahandi M.R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan zone eastern Iran", *J. Asian Earth Sci.* 21 (2003) 397-412.
- [25] Sepahi A. A., "Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: with emphasis on the Alvand plutonic complex", *N.Jb. Geol Palaontol Abh.* 247 (2008) 295-312
- [26] Valizadeh M.V., Zarian S., "A petrological study of the Almogholagh, Asadabad and Hamedan plutons. Theran university", *J. Sci.* 8 (1976) 49-59.
- [27] Shabazi H., Siebel W., Ghorbani M., Pourmoafee M., Sepahi A.A., Vousoughi Abedini M., Shang C.C., "The Almogholagh pluton, Sanandaj-Sirjan zone, Iran: geochemistry, u-(th)-pb Titanite geochronology and implication for its Tectonic evolution", *N. Jb. miner. Abh. (J.Min. Geochem.)* 192 (2015) 85-99.
- [۲۸] امیری م.، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی گرانیتوئیدهای الموقلاق (شمال اسدآباد- همدان)، پایان نامه دکترای پترولوژی، دانشگاه لرستان، (۱۳۹۵).
- [29] Cox K.G., Bell, J.D. and Pankhurst, R.J. "The interpretation of Igneous rocks," Springer/Chapman & Hall (1979) 450p.
- [30] Debon F., Le Fort P., "A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations", *Trans Roy Soc Edinb Earth Sci.* 73 (1983) 135-149
- [31] De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M., "A classification of volcanic and plutonic rocks using  $R_1R_2$ -diagram and major-element analyses-its relationships with current nomenclature", *Chemical Geology* 29(1980) 183-210.
- [32] Middlemost E.A.K., "Magmas and magmatic rocks: an introduction to igneous petrology", United States, John Wiley and Sons Inc. New York NY(1986).
- [33] Middlemost E.A.K., "Naming materials in the magma/igneous rock system", *Earth Sci. Rev.* 37 (1994) 215-224.
- [34] Jacamon F. "The significance of textures and trace element chemistry of quartz with regard to the petrogenesis of granitic rocks Doctoral Thesis For the degree of Philosophiae Doctor (PhD)", Norwegian University of Science and Technology, (2006).
- [35] Tulloch A.J., Challis G.A., "Emplacement depths of Paleozoic-Mesozoic plutons from quartz from South Norway", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 147 (2004) 615-628.
- [12] Wark D.A., and Watson E.B., "Titanium-in-quartz geothermometer", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 152 (2006) 743-754.
- [13] Hayden L.A., Watson, E.B., Wark D.A., "Rutile saturation and  $TiO_2$  diffusion in hydrous siliceous melts", American Geophysical Union, Fall Meeting, (2005).
- [14] Hayden L.A., Watson E.B., "Rutile saturation in hydrous siliceous melts and its bearing on Ti-thermometry of quartz and zircon", *Earth Planet Sci Lett*, 258 (2007) 561-568.
- [15] Ryerson F.J., Watson, E.B. "Rutile saturation in magmas: implications for Ti-Nb-Ta depletion in island-arc basalts", *Earth Planet. Sci. Lett.* 86 (1987) 225-239.
- [16] Wark D.A., Hildreth W., Spear F.S., Cherniak D.J., Watson E.B., "Pre-eruption recharge of the bishop magma system", *Geology*, 35 (2007) 235-238.
- [17] Wiebe R.A., Wark D.A., Hawkins D.P., "Insights from quartz cathodoluminescence zoning into crystallization of the Vinalhaven granite", coastal Maine. *Contrib Mineral Petro.* 154 (2007) 439-453.
- [18] Lowers H.A., Rusk B.G., Koenig A., "Application of the titanium geothermometer to hydrothermal quartz", GSA Denver Annual Meeting abstract, (2007) 226-229.
- [19] Ghisoro M.S., Evans B.W., "Thermodynamics of rhombohedral oxide solid solutions and a revision of the Fe-Ti two-oxide geothermometer and oxygen-barometer", *American Journal of Science*, 308 (2008) 957-1039.
- [20] Levien L., Prewitt C.T., Weidner D.J., "Structure and elastic properties of quartz at pressure", *Am Mineral* 65 (1980) 920-930.
- [21] Ostapenko G.T., Gamarnik M.Y., Gorogotskaya L.I., Kuznetsov G.V., Tarashchan A.N., Timoshkova L.P., "Isomorphism of titanium substitution for silicon in quartz: experimental data", *Mineral Zh*, 9 (1987) 30-40.
- [22] Thomas J.B., Watson E.B., Spear F.S., Shemella P.T., Nayak S.K. Lanzirrotti A., "Titanium in quartz under pressure: the effect of pressure and temperature on the solubility of Ti in quartz", *Contrib Mineral Petrol*, 160 (2010) 743-759.
- [23] Donovan J.J., Lowers H.A., Rusk, B.G., "Improved electron probe microanalysis of elements in quartz", *Am Mineral*, 96 (2011) 274-282.

in Mineralogy & Geochemistry, Mineralogical Society of America. 69 (2008) 121-142.

[37] Ghent E. D., Nicholls J., Siminy P.S., Sevigny H.H., Stout M. Z., "*Hornblende Geobarometry of the Nelson batholith, Southeastern British Columbia: Tectonic Implications*", Canadian J. Earth Sci., 28 (1991) 1982-1991.

*western New Zealand estimated by Hornblende-Al Geobarometry*", New Zealand Journal of Geology and Geophysics 43 (2000) 555-567.

[36] Anderson J. L., Barth A.P., Wooden J.L., Mazdab F., "*Thermometers and Thermobarometers in Granitic Systems*", Reviews