

Geothermobarometry of granitoids from Torud-Chah shirin area (south Damghan)

G.Ghorbani¹, M. Vossoghi Abedini², H.Ghasemi³

1- Faculty of earth sciences, Damghan university of sciences, Damghan, Iran.

2- Faculty of earth sciences, Shahid Beheshti university, Tehran, Iran.

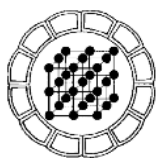
3- Department of geology, Faculty of sciences, Shahrood university of technology, Shahrood, Iran.

E-mail: ghasemghorbani@yahoo.com

(Received: 2/5/2004, received in revised form: 4/2/2005)

Abstract: Granitoid bodies of south of Damghan with northeast- southwest trend have intruded into the Eocene volcanic, volcanoclastic and Cretaceous carbonate deposits. Recent studies have revealed that the Al content of hornblende in calc-alkaline granitoids varies linearly with pressure of crystallization, thereby providing a mean of determining depth of pluton emplacement. Based on results of electron microprobe analyses, amphibole minerals present in these bodies, according to Leake are plotted in the field of calcic amphiboles and show Actinolite, Actinolite-Hornblende and Magnesio hornblende composition. Calculated pressures of emplacement, using the Al-content of Hornblende, for these bodies ranging from about 0.51 to 0.98 Kbar (about depth of 1.8 to 3.5 Km). The ultimate equilibration temperatures of minerals were calculated using different thermometers ranging from 613 to 772 °C.

Keywords: Barometry, Thermometry, Granitoids, South Damghan, Electron microprobe.



دما - فشارسنجی توده‌های گرانیتوئیدی منطقه

طرود - چاه شیرین (جنوب دامغان)

قاسم قربانی^۱، منصور وثوقی عابدینی^۲، حبیب الله قاسمی^۳

۱ - دانشکده علوم زمین، دانشگاه علوم پایه دامغان

۲ - دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۳ - گروه زمین شناسی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

پست الکترونیکی: ghasemghorbani@yahoo.com

(دریافت مقاله ۸۳/۲/۱۲، دریافت نسخه نهایی ۸۳/۱۱/۱۵)

چکیده: توده‌های گرانیتوئیدی جنوب دامغان، با روند شمال شرقی - جنوب غربی در نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشان‌آواری ائوسن و نهشته‌های کربناتی کرتاسه جایگیری کرده‌اند. مطالعات اخیر معلوم کرده است که میزان AI هورنبلند در گرانیتوئیدهای کالکوالکالین به‌طور خطی با فشار تبلور تغییر می‌کند، لذا وسیله‌ای را برای تعیین عمق جایگیری پلوتون فراهم می‌نماید. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه ریزگمانه الکترونی، کانی‌های آمفیبول موجود در این توده‌ها بر اساس تقسیم‌بندی لیک در قلمرو کلسیک واقع شده و از نوع اکتینولیت، اکتینولیت - هورنبلند و مگنزیوهورنبلند هستند. فشار جایگیری این توده‌ها با استفاده از میزان AI هورنبلند در حدود ۰/۵۱ تا ۰/۹۸ کیلو بار (در عمق تقریبی ۱/۸ تا ۳/۵ کیلومتری) تغییر می‌کند. دمای تعادل کانی‌ها، با دماسنج‌های مختلف محاسبه شد و از ۶۱۳ تا ۷۷۲ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند.

واژه‌های کلیدی: فشارسنجی، دماسنجی، گرانیتوئید، جنوب دامغان، ریزگمانه الکترونی.

مقدمه

ناحیه طرود- چاه شیرین در جنوب شهرستان دامغان و در حدود ۱۲۰ کیلومتری آن واقع است. توده‌های نفوذی متعددی در این ناحیه با سن احتمالی ائوسن فوقانی- اولیگوسن سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان‌آواری ائوسن و سنگ‌های آهکی کرتاسه را مورد نفوذ قرار داده‌اند. بافت این توده‌ها (بیشتر دارای بافت پورفیریک و از نظر اندازه دانه، ریزدانه هستند) نشانگر آن است که نزدیک به سطح زمین جایگیری کرده‌اند. همچنین وجود بافت‌های پرتیتی و گرانوفیری در این سنگ‌ها بیانگر تبلور سنگ تحت فشار بخار آب کم (زیر ۲Kbar) است. ترکیب سنگ‌شناسی آنها شامل گرانیت، میکروگرانیت، گرانودیوریت، میکروگرانودیوریت، میکروکوارتزموزنونیت، میکرومونزونیت، میکرومونزودیوریت و میکروکوارتز مونزودیوریت بوده و از مجموعه کانی‌شناسی کوارتز + آلکالی فلدسپار + پلاژیوکلاز + بیوتیت + آمفیبول + پیروکسن + آپاتیت + تیتانیت + زیرکن + تورمالین + اکسید Fe-Ti (مگنتیت - ایلمنیت) تشکیل شده‌اند. سری ماگمایی این سنگ‌ها، ساب آلکالن تا آلکالن و از نوع I هستند. توده‌های تشکیل‌دهنده منطقه مورد مطالعه شامل توده گندی با ترکیب کلی گرانیت، توده چالو با ترکیب کلی کوارتز مونزودیوریت و توده باغو با ترکیب کلی گرانودیوریت هستند. هدف اصلی از این بررسی، شناسایی نوع آمفیبول‌ها و تعیین ترکیب شیمیایی آنها برای محاسبات دما-فشارسنجی توده‌های نفوذی جنوب دامغان است .

روش مطالعه

برای بررسی کانی‌شناسی به منظور تعیین دما - فشار توده‌های نفوذی مورد مطالعه، پس از سنگ‌شناسی و تهیه مقاطع نازک صیقلی، نمونه‌هایی از ترکیبات مختلف توده‌ها انتخاب شدند و سپس این مقاطع با دستگاه ریزگمانه الکترونی در دانشگاه برتانی غربی فرانسه برای کانی‌های مختلف تشکیل‌دهنده آنها مورد آنالیز قرار گرفتند. محاسبه کاتیون‌ها و فرمول ساختاری کانی- های آمفیبول، پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار و پیروکسن به ترتیب بر اساس ۲۳، ۸، ۸ و ۶ اکسیژن انجام گرفته است .

ارزیابی عمق و فشار جایگیری توده‌های نفوذی با استفاده از شواهد صحرایی

منظور از جایگیری، تشکیل یک پلوتون یا فوران طی سازوکاری است که در آن فرایند حجم انباشته شده ماگما در جایگاه نهایی‌اش (درون یا روی پوسته) جای می‌گیرد [۱]. برای ارزیابی شرایط جایگیری یک توده نفوذی، روش‌های مختلفی وجود دارند. یکی از روش‌های مرسوم، استفاده از شواهد صحرایی است که می‌توان به وسیله آن صحت و سقم نتایج آزمایشگاهی را تحقیق کرد [۲]. سنگ‌های اصلی درونگیر توده‌های نفوذی مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی ائوسن پدید آورده‌اند. البته در بخش غربی منطقه، بخشی از توده‌ها به داخل سازند-

های مربوط به زمان کرتاسه و احتمالاً قدیمی‌تر نفوذ کرده‌اند. بر پایه ضخامت واحدهای فوق-الذکر، عمق جایگیری مجموعه نفوذی طرود-چاه شیرین حدود ۲۰۰۰ تا ۳۵۰۰ متر بوده است [۳] که با توجه به چگالی میانگین سنگ‌های پوسته (۲/۸ گرم بر سانتی متر مکعب) فشار حاکم در این عمق در حدود ۰/۵ تا ۱ کیلو بار است.

ارزیابی دما و فشار جایگیری توده‌های نفوذی با استفاده از هاله دگرگونی مجاورتی

همانطور که اشاره شد، سنگ‌های درونگیر توده‌های نفوذی مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی و کربناته تشکیل می‌دهند. هاله دگرگونی موجود در پیرامون این توده‌ها از گسترش چندانی برخوردار نیست. پارائز کانی شناسی اپیدوت + کلریت + ترمولیت - اکتینولیت + آل بیت، پارائز اصلی موجود در همبری سنگ‌های آتشفشانی میزبان با توده‌های نفوذی هستند. پارائز کانی‌شناسی گارنت + کلسیت + ترمولیت + کوارتز + تالک + موسکویت نیز با بافت گرانوبلاستیک در سنگ‌های کربناته مجاور این توده‌ها وجود دارند. به نظر وینکلر^۱ [۴] این پارائزهای کانی‌شناسی مطابق با درجه پایین دگرگونی یا رخساره آل بیت-اپیدوت هورنفلس است که در دمای ۳۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار زیر ۲ کیلو بار دگرگون شده‌اند. با توجه به این اصل که توده‌های نفوذی می‌توانند حدود ۶۰ درصد گرمای خود را به سنگ‌های مجاور منتقل کنند [۴] و بر پایه پارائزهای کانی‌شناسی یادشده فوق، دمای ۵۸۳ تا ۸۳۳ درجه سانتی‌گراد برای توده‌های منطقه تخمین زده می‌شود.

فرمول ساختاری و رده‌بندی آمفیبول‌ها

بلورهای آمفیبول در سنگ‌های مورد مطالعه، اغلب به صورت نیمه‌شکل‌دار، تا خود شکل و با داشتن دو سیستم رخ در مقاطع عرضی مشخص می‌شوند. لیک و همکاران^۲ [۵] با توجه به نوع عناصری که در موقعیت B ساختار بلوری قرار می‌گیرند، آمفیبول‌ها را به چهار دسته تقسیم‌بندی نموده‌اند. آمفیبول‌های سنگ‌های مورد مطالعه بر اساس این تقسیم‌بندی در قلمرو کلسیک قرار می‌گیرند به جز یک نمونه که در قلمرو آمفیبول‌های محتوی Fe - Mg - Mn واقع می‌شود (شکل ۱- الف). قلمرو کلسیک را با سرشتیهای زیر می‌توان تمییز داد.

$$\sum (Ca + Na) B \geq 1, Na B < 0.5 \text{ و } Ca B \geq 1.5$$

در این قلمرو چهار گروه مشخص شده‌اند [۵ و ۶]:

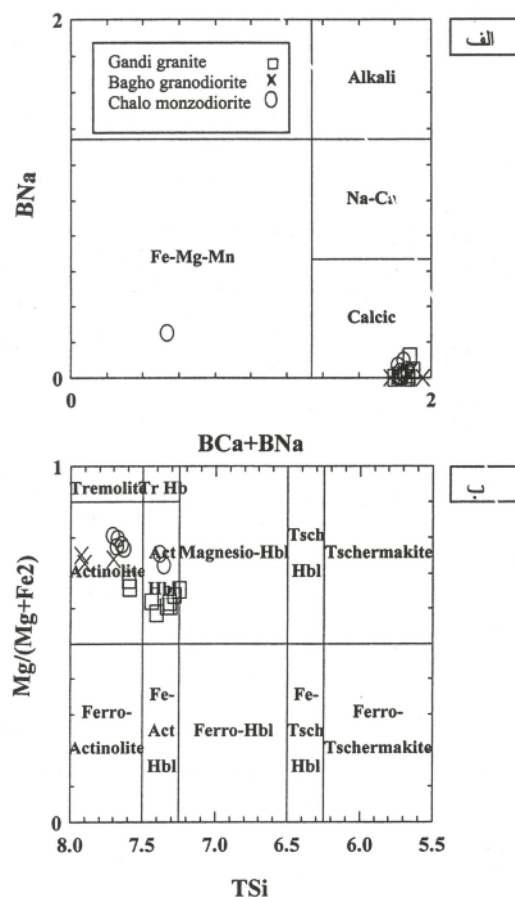
$$a - (Na + K) A \geq 0.5 \text{ و } Ti < 0.5$$

1- Winkler

2- Leake et al

- b- $(Na+K) A \geq 0.5$ و $Ti \geq 0.5$
 c- $(Na+K) A < 0.5$ و $Ca A < 0.5$
 d- $(Na+K) A < 0.5$ و $Ca A \geq 0.5$

آمفیبول‌های مورد مطالعه در این تحقیق در گروه a قرار می‌گیرند و از نوع اکتینولیت، اکتینولیت-هورنبلند و مگنزیوهورنبلند هستند (شکل ۱- ب). آمفیبول‌های کلسیک شاخص توده‌های نفوذی نوع I هستند [۶]. ترکیب شیمیایی آمفیبول‌های تشکیل‌دهنده توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱ نامگذاری آمفیبول‌ها بر اساس روش لیک [۵]. (الف) آمفیبول‌های توده‌های نفوذی مورد مطالعه در گروه کلسیک قرار می‌گیرند. (ب) ترکیب آمفیبول‌ها از نوع اکتینولیت، هورنبلند اکتینولیتی و مگنزیوهورنبلند هستند. پارامترهای این دیاگرام شامل $Ca_B \geq 1.5$ ، $(Na+K) \geq 0.5$ و $Ti \geq 0.5$ است.

جدول ۱ ترکیب شیمیائی کانی‌های آمفیبول موجود در توده‌های نفوذی منطقه چالو (Gl) و گندی (G).

فشارسنجی با استفاده از آلومینیوم هورنبلند

Act. Hornblende									
Sample	3GI-1	3GI-2	2G-1	2G-2	2G-3	2G-4	2G-5	2G-6	2G-7
SiO ₂	۵۱٫۶۱	۵۱٫۶۳	۴۹٫۶۵	۴۹٫۵۱	۴۹٫۵۴	۵۰٫۱۹	۴۹٫۲۷	۴۸٫۸۴	۴۸٫۲۸
Al ₂ O ₃	۴٫۷۱	۴٫۳۹	۴٫۸۷	۴٫۶۲	۴٫۳۵	۴٫۴۳	۴٫۴۰	۴٫۲۸	۴٫۴۸
TiO ₂	۱٫۰۷	۰٫۹۵۶	۰٫۹۶۷	۰٫۷۴۷	۰٫۷۳۹	۰٫۸۹۱	۰٫۸۰۱	۰٫۷۲۴	۰٫۸۳۰
Cr ₂ O ₃	۰٫۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۳۲	۰٫۰۰۴۴	۰٫۰۰۰	۰٫۰۴۳۸	۰٫۰۱۰۲	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
MnO	۰٫۶۵	۰٫۶۱۲	۰٫۷۶۸	۰٫۸۸۱	۰٫۶۰۰	۰٫۶۷۳	۰٫۸۷۰	۰٫۶۷۰	۰٫۷۸۰
MgO	۱۶٫۴۶	۱۷٫۱۴	۱۴٫۷۱	۱۳٫۵۷	۱۳٫۵۳	۱۳٫۱۹	۱۳٫۲۶	۱۲٫۳۰	۱۳٫۷۵
FeO	۱۱٫۲۳	۹٫۹۹	۱۳٫۹۶	۱۵٫۰۸	۱۵٫۷۲	۱۴٫۵۲	۱۵٫۵۰	۱۵٫۶۰	۱۴٫۰۱
CaO	۱۱٫۷۴	۱۱٫۸۸	۱۱٫۵۶	۱۱٫۵۲	۱۱٫۸۸	۱۱٫۱۲	۱۱٫۳۴	۱۱٫۴۴	۱۱٫۴۵
Na ₂ O	۱٫۰۰۷	۰٫۹۹	۱٫۱۸	۱٫۱۳	۱٫۱۳	۱٫۰۹	۱٫۰۷	۰٫۹۰	۱٫۳۱
K ₂ O	۰٫۳۶	۰٫۳۲	۰٫۴۶	۰٫۴۹	۰٫۴۶	۰٫۳۸	۰٫۴۸	۰٫۴۳	۰٫۵۳
Sum	۹۸٫۸۵	۹۷٫۸۹	۹۸٫۱۵	۹۷٫۵۵	۹۷٫۹۶	۹۶٫۵۴	۹۷٫۰۰	۹۵٫۳۴	۹۵٫۴۷
T spaces									
Si	۷٫۳۵۴	۷٫۳۸۵	۷٫۲۵	۷٫۳۱۶	۷٫۳۱۲	۷٫۴۳۸	۷٫۳۳۴	۷٫۴۱	۷٫۲۸۳
[^۴]Al	۰٫۶۴۶	۰٫۶۱۵	۰٫۷۵	۰٫۶۸۴	۰٫۶۸۸	۰٫۵۶۲	۰٫۶۶۶	۰٫۵۹۵	۰٫۷۱۷
Sum T	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰	۸٫۰۰۰
M1-M3 spaces									
[^۶]Al	۰٫۱۴۵	۰٫۱۲۴	۰٫۰۹۰	۰٫۱۲۰	۰٫۰۶۹	۰٫۲۱۱	۰٫۱۰۷	۰٫۱۶۸	۰٫۰۷۸
Cr	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۲	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۵	۰٫۰۰۱	۰٫۰۰۰	۰٫۰۰۰
Fe ²⁺	۱٫۲۵۴	۱٫۱۱۷	۱٫۶۰۰	۱٫۸۰۸	۱٫۸۷۱	۱٫۷۶۹	۱٫۸۵۹	۱٫۹۶۸	۱٫۷۳۸
Ti	۰٫۱۱۵	۰٫۱۰۳	۰٫۱۰۶	۰٫۰۸۳	۰٫۰۸۲	۰٫۰۹۹	۰٫۰۹۰	۰٫۰۸۳	۰٫۰۹۴
Mg	۳٫۴۹۶	۳٫۶۵۶	۳٫۲۰۳	۲٫۹۸۸	۲٫۹۷۸	۲٫۹۱۵	۲٫۹۴۳	۲٫۷۸۱	۳٫۰۹۲
Sum M1-M3	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰	۵٫۰۰۰
M4 spaces									
Fe ²⁺	۰٫۰۹۳	۰٫۰۷۹	۰٫۱۰۶	۰٫۰۵۵	۰٫۰۶۸	۰٫۰۳۱	۰٫۰۷۱	۰٫۰۱۱	۰٫۰۳۲
Mn	۰٫۰۷۸	۰٫۰۷۴	۰٫۰۹۵	۰٫۱۱۰	۰٫۰۷۵	۰٫۰۸۴	۰٫۱۰۹	۰٫۰۸۶	۰٫۱۰۰
Ca	۱٫۷۹۲	۱٫۸۲۱	۱٫۷۹۹	۱٫۸۲۳	۱٫۸۵۶	۱٫۷۶۵	۱٫۸۰۸	۱٫۸۵۹	۱٫۸۵۰
Na	۰٫۰۳۷	۰٫۰۲۵	۰٫۰۰۰	۰٫۰۱۱	۰٫۰۰۰	۰٫۱۲۰	۰٫۰۱۲	۰٫۰۴۴	۰٫۰۱۹
Sum M4	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰	۲٫۰۰۰
A spaces									
Na	۰٫۲۴۱	۰٫۲۴۹	۰٫۳۳۶	۰٫۳۱۴	۰٫۳۲۳	۰٫۱۹۲	۰٫۲۹۶	۰٫۲۲۱	۰٫۳۶۵
K	۰٫۰۶۶	۰٫۰۵۹	۰٫۰۸۶	۰٫۰۹۲	۰٫۰۸۷	۰٫۰۷۲	۰٫۰۹۲	۰٫۰۸۳	۰٫۱۰۲
Sum A	۰٫۳۰۷	۰٫۳۰۸	۰٫۴۲۲	۰٫۴۰۶	۰٫۴۱۰	۰٫۲۶۴	۰٫۳۸۸	۰٫۳۰۴	۰٫۴۶۷
Sum cat.	۱۵٫۳۰۷	۱۵٫۳۰۸	۱۵٫۴۳۲	۱۵٫۴۰۶	۱۵٫۴۳۲	۱۵٫۲۶۵	۱۵٫۳۸۸	۱۵٫۳۰۳	۱۵٫۴۶۷

آمفیبول‌ها قابل استفاده‌ترین کانی‌ها در دما - فشارسنجی در سنگ‌های آذرین کالکوالکالان هستند، زیرا تقریباً در تمام توده‌های نفوذی کالکوالکالان صرفنظر از ترکیبات بازیک، حد واسط یا اسیدی تشکیل می‌شوند و در محدوده وسیعی از P-T از ۱ تا ۲۳ Kbar و در دماهای ۴۰۰ تا ۱۱۵۰ درجه سانتیگراد پدیدارند [۵ و ۶]. بسیاری از دما - فشارسنج‌ها بر اساس میزان آلومینیوم هورنبلند هستند، زیرا میزان آلومینیوم هورنبلند در ارتباط مستقیم با عمق جایگزینی پلوتون‌هاست [۷] و از این رو وسیله‌ای برای تعیین عمق جایگزینی پلوتون‌هاست. فرمول‌های زیادی بر این اساس توسط محققین ارائه شده است. اشمیت^۳ [۸] معادله زیر را با استفاده از Al کل حاشیه هورنبلند برای تعیین فشار ارائه کرده است:

$$P (\pm 0.6 \text{ Kbar}) = - 370.1 + 476 \text{ Al}^{\text{tot}}$$

این ارزیابی آزمایشگاهی به‌طور قابل قبولی با ارزیابی تجربی صحرایی که توسط هاله‌های دگرگونی همبری برآورد و به دست آمده است مطابقت دارد. فشار و عمق جایگیری توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه با فرمول اخیر و با استفاده از Al کل حاشیه نمونه‌های هورنبلند محاسبه و برآورد شده است.

فشار جایگیری توده گرانیتی گندی بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۸ کیلو بار (عمق ۲ تا ۳/۵ کیلومتری) و توده کوارتز مونزو دیوریتی چالو طیف تغییرات بین ۰/۵۱ تا ۰/۷۵ کیلو بار (عمق ۱/۸ تا ۳ کیلومتر) را نشان می‌دهد. آمفیبول‌های توده باغو چون از نوع اکتینولیت بودند در محاسبات استفاده نشدند. چنانکه مشاهده می‌شود برآورد فشار بر پایه این فرمول و شواهد صحرایی مطابقت نسبتاً خوبی با یکدیگر دارند.

دماسنجی آمفیبول - پلاژیوکلاز

علاوه بر فشار، عوامل دما، فوگاسیته اکسیژن، ترکیب سنگ کل^۴ و فازهای همزیست بر میزان Al هورنبلند تاثیر داشته و مقدار آن را تعیین می‌کنند [۶]. بلوندی و هلند^۵ [۹] دماسنجی را بر اساس تبادل^۶ ${}^{[4]}\text{Si} - {}^{[A]}\text{Al}$ ${}^{[A]}\text{Na}$ برای هورنبلند‌های همزیست با پلاژیوکلاز در سنگ‌های اشباع از سیلیس را پیشنهاد کرده‌اند:

3-Schmidt

4-Whole rock

5-Blundy and Holland

۶- علامت □ جای خالی را در موقعیت A نشان می‌دهد.

$$T (\pm 311K) = 0.677P - 48.98 + Y / - 0.429 - 0.8314 \ln K$$

$$K = (Si - 4/8 - Si) X_{Ab}^{Plag}$$

در این فرمول Si تعداد اتم‌های Si در واحد فرمولی آمفیبول، P برحسب کیلو بار و T برحسب کلوین است. Y نشان‌دهنده ناهمگونی^۷ پلاژیوکلاز، بر اساس فرمول درجه دوم دارکن (DQF)^۸ است. برای $X_{ab} > 0.5$ مقدار $Y = 0$ و برای $X_{ab} < 0.5$ مقدار $Y = -8.06 + 25.5(1 - X_{ab})^2$ است. ویهنال و همکاران^۹ فرمول زیر را ارائه کرده‌اند [۱۰]:

$$T = 25.3 P + 654.9$$

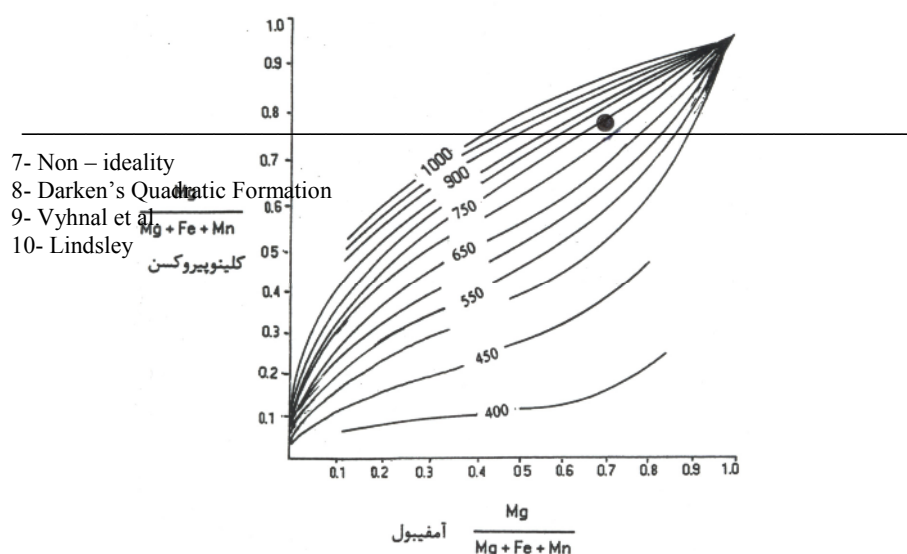
دمای تعادل هورنبلندهای همزیست با پلاژیوکلاز در توده گندی، بر اساس فرمول بلوندی و هلند [۹]، بین ۶۴۷ تا ۶۲۵ درجه سانتی‌گراد و بر اساس فرمول ویهنال [۱۰] بین ۶۸۰ تا ۶۷۰ درجه سانتی‌گراد بدست می‌آید. برای توده چالو بر اساس فرمول بلوندی و هلند [۹] و ویهنال [۱۰] به ترتیب بین ۷۷۲ تا ۶۱۳ و ۶۷۴ تا ۶۶۶ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است. به علت اینکه آمفیبول‌های توده باغو از نوع اکتینولیت هستند، دمای آنها محاسبه نشده است.

دماسنجی آمفیبول - پیروکسن

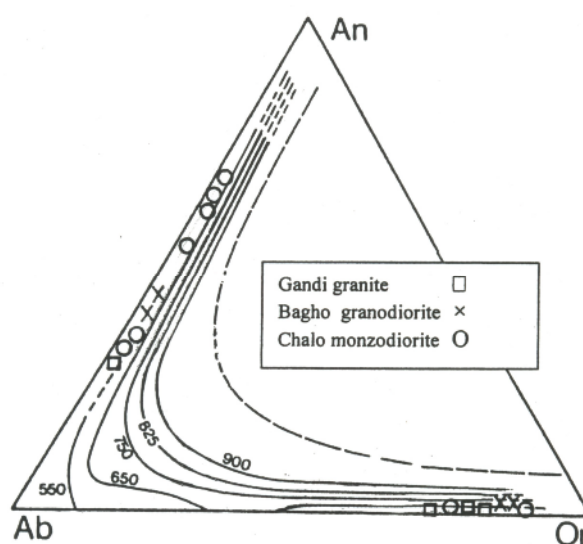
با استفاده از نمودار لزلی^{۱۱} [۱۱] که بر اساس ضریب توزیع آهن و منیزیم بین دو کانی همزیست آمفیبول و کلینوپیروکسن ترسیم شده است، دمای تعادل ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد برای کانی‌های همزیست آمفیبول و کلینوپیروکسن در توده چالو به دست می‌آید (شکل ۲).

دماسنجی سه فلدسپاری

با توجه به اینکه فشار جایگیری توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه که در حدود یک کیلو بار برآورد شده است، در نمودار سه فلدسپاری Or-Ab-An کرول و همکاران [۱۲] بر مبنای یک کیلو بار فشار، دمای کمتر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد برای تعادل فلدسپارها بدست می‌آید (شکل ۳).



شکل ۲ تعیین دمای تعادل بین کانی‌های همزیست کلینوپیروکسن و آمفیوبل با استفاده از ضریب توزیع آهن و منیزیم [اقتباس از مراجع ۱۱]. دمای تعادل این کانی‌ها نشان‌دهنده دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۳ نمودار سیستم An-Ab-Or برای تعیین دمای تعادل بین کانی‌های فلدسپار موجود در توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه. همدمها بر حسب درجه سانتیگراد از سک [۱۲] در فشار یک کیلو بار هستند. به جز همدمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد که بر فشار نیم کیلو بار است. نمونه‌ها مورد مطالعه دمای کمتر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند.

برداشت

مطالعات سنگ‌شناسی نشان‌دهنده مجموعه کانی‌شناسی کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول، پیروکسن، آپاتیت، تیتانیت، زیرکن، تورمالین، اکسید آهن و تیتان (مگنتیت و ایلمنیت) برای توده‌های نفوذی منطقه طرود-چاه شیرین است.

بر مبنای تجزیه کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها با دستگاه ریزگمانه الکترونی، کانی‌های آمفیبول موجود در این توده‌ها از نوع اکتینولیت، اکتینولیت-هورنبلند و مگنزیوهورنبلند تعیین شدند. توده‌های گرانیتوئیدی جنوب دامغان در نهشته‌های کربناته کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جای گرفته‌اند. سن سنگ‌های نفوذی یادشده به احتمال به الیگوسن نسبت داده می‌شود و بر پایه ضخامت سنگ‌های درونگیر، عمق تشکیل آنها در حدود ۲ تا ۳/۵ کیلومتر (فشار حدود ۰/۵ تا ۱ کیلو بار) است. سنگ‌های پیرامون توده‌های نفوذی در حد رخساره آلبیت-اپیدوت هورنفلس دگرگون شده‌اند که با توجه به پاراژنز کانی‌شناسی موجود در این سنگ‌ها، فشار کمتر از ۲ کیلو بار و دمای حدود ۵۸۳ تا ۸۳۳ درجه سانتیگراد به عنوان شرایط تشکیل برای آنها ارزیابی شده است. این نتایج هماهنگی قابل قبولی با نتایج حاصل از دما - فشارسنجی با استفاده از ترکیب شیمیایی کانی‌ها دارد، به گونه‌ای که فشار جایگیری توده‌ها با استفاده از میزان Al مربوط به حاشیه هورنبلندها در حدود ۰/۵۱ تا ۰/۹۸ کیلو بار است و بر پایه دماسنج‌های آمفیبول-پلاژیوکلاز، هورنبلند، آمفیبول-پیروکسن و پلاژیوکلاز دمای تعادل این کانی‌ها در حدود ۶۱۳ تا ۷۷۲ درجه سانتیگراد برآورد شده است.

فشار جایگیری توده‌های نفوذی بر اساس میزان Al حاشیه هورنبلند، برای توده گرانیتی گندی بین ۰/۵۹ تا ۰/۹۸ کیلو بار (عمق جایگیری ۲ تا ۳/۵ کیلومتر) و برای توده کوارتزمونزدیوریتی چالو بین ۰/۵۱ تا ۰/۷۵ کیلو بار (حدود عمق ۱/۸ تا ۳ کیلومتر) را به دست می‌دهد. با توجه به اینکه آمفیبول‌های توده باغو از نوع اکتینولیت هستند لذا در محاسبات فرمول‌های مربوط به تعیین فشار بر اساس Al هورنبلند استفاده نشده‌اند. ولی با توجه به ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی، موقعیت و بافت آن نسبت به توده‌های گندی و چالو، این توده نیز بایستی بین اعماق ۱/۸ تا ۳/۵ کیلومتری جایگزین شده باشد.

دماهای پائین به دست آمده با توجه به امکان تعادل تأخیری بین زوج کانی‌ها و به تعادل مجدد کانی‌ها در حین سرد شدن ساب سولیدوس ارتباط داده شده‌اند. دماهای بیشینه به دست آمده نیز برای دمای زمان تبلور آنها تعیین شده است.

قدردانی و تشکر

از آقای دکتر قلمقاش عضو سازمان زمین‌شناسی کشور به‌خاطر راهنمایی‌های ارزنده و مفیدشان و همچنین در اختیار گذاشتن مقالات، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Clemens J. D., "Observations on the origins and ascent mechanisms of granitic magmas", Journal of geological society, London 155 (1998) 843-851.
- [۲] قلمقاش ج.، "پترولوژی سنگ‌های نفوذی منطقه ارومیه-اشنویه و ساز و کار جایگیری آنها"، پایان‌نامه دکتري، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۱)، صفحه ۲۶۹.
- [۳] هوشمندزاده ع.، "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر)"، گزارش شماره H5 سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵۷)، صفحه ۱۳۸.
- [۴] هوشمندزاده ع.، "پتروژنز سنگ‌های دگرگونه"، دانشگاه شیراز (۱۳۷۱)، صفحه ۴۰۸.
- [5] Leake B. E., et.al., "Nomenclature of amphiboles report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association commission on new minerals and mineral names", Eur. J. mineral. 9 (1997) 623-651.
- [6] 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.
- [7] Hammarstrom J. M., Zen E-An., "Aluminum in hornblende: An empirical igneous geobarometer", Am. Mineral. 71 (1989) 1297-1313.
- [8] Schmidt M. W., "Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al- in hornblende barometer", Contrib. Mineral. Petrol. 110 (1992) 304-310.
- [9] Blundy J. D., Holland T. J. B., "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer", Contrib. Mineral. Petrol. 104 (1990) 208-224.
- [10] Vyhnal C. R., Mcsween H. Y. Jr., "Hornblende chemistry in southern Appalachian granitoids Implications for aluminum hornblende

thermobarometry and magmatic epidote stability", Am. Mineral. 76 (1991) 176-188.

[11] Anderson J. L., "*Status of thermobarometry in granitic batholiths*", Trans. Roy. Soc. Edinb., Earth sciences 87 (1997) 125-138.

[12] Kroll H., Evangelakakis C., Voll G., "*Two-feldspar geothermometry: a review and revision for slowly cooled rocks*", Contrib. Mineral. Petrol. (1993) 510-518.