

کاربرد شیمی گارنت در بررسی منشاء و شرایط ترمودینامیکی گرانیت

نرگس شیردشت زاده^{۱*}، قدرت ترابی^۲، رامین صمدی^۱
^۱ دانشجوی دکتری واحد علوم و تحقیقات تهران، باشگاه پژوهشگران جوان
^۲ استاد مدعو دانشگاه پیام نور شاهین شهر، اصفهان
^۳ عضو هیئت علمی دانشگاه اصفهان
nargess_shirdasht@yahoo.com

چکیده: گرانیت‌های با پتاسیم بالا از جمله توده‌های گرانیتوئیدی موجود در افیولیت ملانژ نایین می‌باشند. این سنگ‌ها از لحاظ کانی‌شناسی از کوارتز، فلدسپار از نوع پلاژیوکلاز و ارتوکلاز، مسکوویت و گارنت‌های دانه ریز و به میزان کمتر کانی‌های ثانویه کلریت و کلسیت تشکیل شده‌اند. تفاوت اصلی گرانیت‌های پتاسیم بالا با سایر گرانیتوئیدهای موجود در منطقه (تونالیت‌ها و پلاژیوگرانیت‌ها)، کانی‌شناسی و پتاسیم بالای موجود در آنها و نیز ترکیب متفاوت گارنت آنها است که از نوع آلماندین می‌باشد. بر اساس ژئوترمومتری گارنت-مسکوویت میانگین دمای تشکیل این سنگ‌ها در محدوده فشار ۱ تا ۵ کیلوبار، حدود ۵۰۴ تا ۵۲۷ °C است.

واژه‌های کلیدی: شیمی کانی، گارنت، گرانیت، ژئوترمومتری، نایین

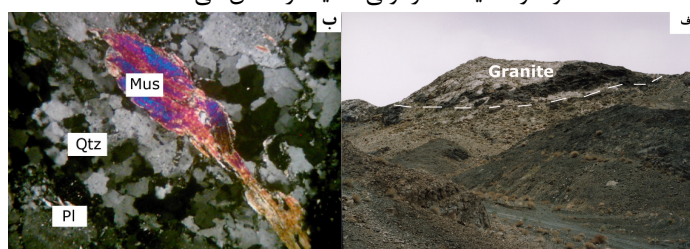
Application of garnet chemistry in study of origin and thermodynamic of granite

Abstract: High-K granites are one of the granitoids found in ophiolitic mélange of Naevin. They comprise of quartz, feldspar (plagioclase and orthoclase), muscovite and fine grained garnets and minor amounts of chlorite and calcite as accessory minerals. These granites are different from the other granitoids of the area (tonalites and plagiogranites) in mineralogy, higher potassium content and garnet chemistry that are almandine. Based on garnet-muscovite geothermometry, these rocks had formed at average temperatures of 504-527 °C in a pressure range of 1 to 5 kb.

مقدمه

استفاده از ترکیب گارنت به عنوان شاخص پتروژنیک و در تعیین شرایط ترمودینامیک همواره مورد توجه بسیاری از محققین بوده است. در این مطالعه به بررسی منشاء و شرایط دما-فشار حاکم بر تشکیل گرانیت‌های با پتاسیم بالا و گارنت‌دار موجود در افیولیت ملانژ شمال شهر نایین بر اساس ترکیب گارنت موجود در این سنگ‌ها پرداخته می‌شود. افیولیت نائین با امتداد تقریباً شمالی-جنوبی شامل وسعتی از شمال شهر نائین تا روستای سهیل پاکوه می‌باشد. این مجموعه افیولیتی از سمت غرب به ولکانیک‌ها ترشیاری و از سمت شرق به رسوبات ترشیاری محدود شده است. زون افیولیت ملانژ نائین-زوار باقی مانده یک ریفت درون قاره‌ای است که حاصل بازشدگی بلوک‌های پوسته‌ای در طول مرز آنها است. بررسی‌های انجام گرفته بیانگر وجود طیف وسیعی از سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی با سن متفاوت در ملانژ افیولیتی مورد مطالعه می‌باشد. وجود آهک‌های کرتاسه بالایی (داوود زاده، ۱۹۷۲)، گدازه‌های بالشی (ترابی و همکاران، ۱۳۸۷)، گابروها (رضایی، ۱۳۸۵)، دایک‌های صفحه‌ای (رحمانی و همکاران، ۲۰۰۷)، پریدوتیت‌های گوشته‌ای سرپانتینیتی شده (پیرنیا، ۱۳۸۶)، لیستونیت (سعیدی،

۱۳۸۶)، رودینگیت (فلاحتی، ۱۳۸۶) و آمفیبولیت‌ها، مرمر و اسکارن‌های قدیمی‌تر (شیردشت زاده و همکاران، ۲۰۰۸)، از جمله مسائل بررسی شده در این مجموعه افیولیتی می‌باشند. بررسی‌های انجام گرفته توسط ترابی و همکاران (۱۳۸۶) در افیولیت ملانژ نایین حاکی از وجود گرانیتهای با پتاسیم بالا (High-Potassium Granite) در منطقه می‌باشد. در برخی نقاط همچون امیرآباد رخنمون وسیعی از آنها دیده می‌شود. کانی‌شناسی این گرانیتهای نشان می‌دهد که نسبت به گروه دیگر گرانیتهای منطقه دارای پتاسیم بالاتری می‌باشند. این گرانیتهای تا حدودی برگواره بوده و در نزدیکی زون‌های برشی (shear zone) مشاهده شده و شواهد یک دگرگونی ضعیف را نشان می‌دهند.



شکل ۱: (الف) رخنمونی از گرانیتهای (نزدیکی امیرآباد، شمال شهر نایین)؛ (ب) تصویر پتروگرافی از مسکوویت در زمینه ای از فلدسپار و کوارتزهای میلونیتی شده موجود در گرانیتهای (40x, XPL)

بحث

(الف) پتروگرافی: پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری، مقاطع نازک صیقلی با استفاده از چسب رزین تهیه و چندین نمونه از کانی‌ها با استفاده از دستگاه میکروپروپ JEOL مدل JXA-8800 (WDS) و با ولتاژ شتابدهنده ۱۵ کیلوولت و شدت جریان 15 nA در دانشگاه کاناواوی ژاپن مورد آنالیز قرار گرفتند. این دستگاه از نرم‌افزار ZAF برای انجام تصحیح داده‌ها استفاده کرد. محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها و محاسبه Fe^{+3} با کمک نرم افزار Microsoft Excel صورت پذیرفت. این گرانیتهای از کانی‌های کوارتز، فلدسپار از نوع پلاژیوکلاز و ارتوکلاز، مسکوویت و گارنت‌های دانه ریز و به میزان کمتر کانی‌های ثانویه کلریت و کلسیت تشکیل شده‌اند. کوارتز موجود در این سنگ‌ها تا حدود کمی دچار تبلور مجدد شده که نشان‌دهنده درجه دگرگونی ضعیف می‌باشد. مسکوویت‌ها دارای جهت یافتگی هستند و تا حدودی دچار خردشدگی و تبلور مجدد شده‌اند. فلدسپارها به صورت ارتوکلاز با ترکیب $Or_{90.38}Ab_{9.57}An_{0.05}$ و نیز الیگوکلاز با ترکیب $Ab_{87.38}An_{10.8}Or_{1.767}$ هستند (جدول ۱) و اغلب آنها دچار آلتراسیون شده‌اند (شکل ۱). با توجه به کانی‌شناسی این سنگ‌ها و میزان فراوان کوارتز (حدود ۴۰٪) و ارتوکلاز (حدود ۳۰-۴۰٪)، می‌توان آنها را سینوگرانیته دانست. گارنت‌ها بصورت دانه ریز و خرد شده‌اند و وجود ادخال‌های ریزی از کوارتز در درون گارنت‌ها و حضور دانه‌های گارنت در کوارتزها بیانگر تشکیل این کانی در زمینه‌ای از کوارتز می‌باشد. بطور کلی یافت این سنگ‌ها دانه‌ای و گرانولار بوده و دانه‌ها به صورت سابه‌درال تا آنهدرال می‌باشند. البته وجود کوارتزهای خرد شده و دانه ریز بین بلورهای دانه درشت‌تر موجب تشکیل بافت ساروجی (Mortar) در این سنگ‌ها شده است که از اختصاصات دگرشکلی دینامیکی است. در حقیقت این سنگ‌ها اغلب میلونیتی نیز شده (شکل ۱) و شکستگی‌های موجود در آنها توسط پره‌نیت پر شده‌اند. پره‌نیت موجود در این سنگ‌ها ثانویه بوده و تشکیل رگه‌های پره‌نیتی را

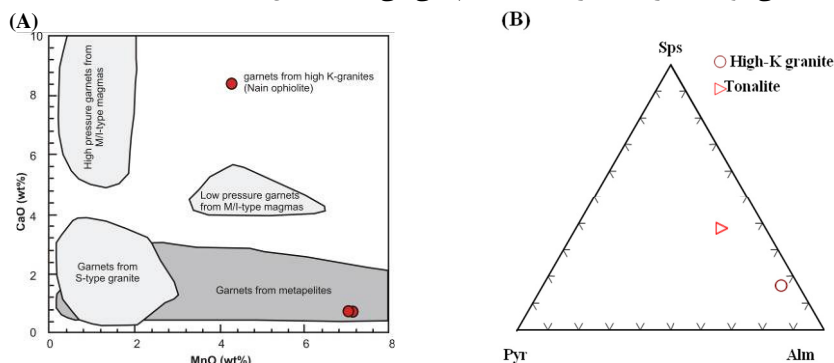
داده و بیانگر تاثیر محلول‌های کلسیک می‌باشد. در سنگ‌های متأثر از سیالات، عناصر Al، P و Ti نامتحرک می‌باشند در حالی که عناصر Ca و Na تقریباً همیشه دارای تحرک اند، لذا ممکن است Ca از سنگ‌های آهک دار مجاور وارد این محلول‌ها شده باشد. البته پره‌نیت‌ها ممکن است حاصل آلتراسیون پلاژیوکلازهای بازیگ باشند ولی حالت رگه‌ای شان در این سنگ‌ها بیشتر می‌تواند تشکیل آنها طی نفوذ سیالات در درون شکستگی‌ها را نشان بدهد. با توجه به نتایج آنالیز میکروپروب، گارنت موجود در این سنگ‌ها از نوع آلماندین و با ترکیب $Alm_{76}Sp_{16.05}Prp_{5.78}Grs_{2.19}$ می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱: نتایج آنالیز میکروپروب و درصد اکسیدهای کانی‌های فلدسپار، مسکوویت و گارنت موجود در گرانیت‌های پتاسیم بالا و محاسبه فرمول ساختاری و اعضای نهایی کانی‌ها

Sample	11-37	11-38	11-39	11-40	11-41
Mineral Type	K-Feldspar	Plagioclase	Muscovite	Garnet	Garnet
SiO ₂ %	64.72	65.52	46.01	37.20	37.50
TiO ₂ %	0.00	0.00	0.21	0.01	0.00
Al ₂ O ₃ %	18.41	21.41	35.63	21.29	21.69
Cr ₂ O ₃ %	0.00	0.02	0.01	0.00	0.02
FeO*%	0.03	0.01	1.22	33.50	33.71
MnO%	0.01	0.01	0.02	7.03	7.12
MgO%	0.00	0.00	0.46	1.40	1.49
CaO%	0.01	2.32	0.00	0.79	0.76
Na ₂ O%	1.04	10.32	0.37	0.03	0.08
K ₂ O%	14.85	0.32	10.72	0.03	0.03
NiO%	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00
Total%	99.05	99.89	92.86	101.21	102.28
Oxy. p.f.u.	8.00	8.00	22.00	12.00	12.00
Si	3.01	2.88	6.18	3.00	2.99
Ti	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Al	1.01	1.11	5.64	2.02	2.04
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ²⁺	0.00	0.00	0.14	2.26	2.23
Fe ³⁺	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mn	0.00	0.00	0.00	0.48	0.48
Mg	0.00	0.00	0.09	0.17	0.18
Ca	0.00	0.11	0.00	0.07	0.06
Na	0.09	0.88	0.10	0.01	0.01
K	0.88	0.02	1.84	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total cations	5.00	5.00	14.00	8.00	8.01
Pyrope				5.63	5.94
Almandine				76.07	75.82
Grossular				2.28	2.11
Spessartine				16.02	16.09
Andradite				0.00	0.00
Uvarovite				0.00	0.05
Anorthite	0.05	10.87			
Albite	9.57	87.38			
Orthoclase	90.38	1.76			

در حقیقت تفاوت اصلی این گرانیت‌ها با سایر گرانیت‌های موجود در منطقه، پتاسیم بالای موجود در آنها می‌باشد که موجب تشکیل کانی‌های با پتاسیم بالا مثل مسکوویت و ارتوکلاز در آنها گردیده است. البته منشأ این گرانیت‌ها در افیولیت‌ها هنوز مورد سؤال می‌باشد ولی بر اساس مطالعات امری و همکاران (۲۰۰۴)، بر روی سنگ‌های مشابه در افیولیت عمان، ممکن است که این سنگ‌ها یکی از قطب‌های ترکیبات مذاب‌های گرانیتی باشند که از درجات کم ذوب‌بخشی سنگ‌های بسیار تپی شده و دگرسان حاصل شده باشند. گارنت موجود در این سنگ‌ها که از نوع آلماندین است بیانگر حضور بخش‌های رسوبی در سنگ‌های اولیه ذوب شده می‌باشد، یعنی سنگ‌های پلیتی و غنی از آلومینیمی که بر روی پوسته اقیانوسی بوده‌اند و به همراه آن فرورانش نموده‌اند. توزیع عناصر Fe، Mn، Mg و Ca در گارنت اساساً تحت تاثیر درجه دگرگونی، دما، نرخ سرد شدگی، ماهیت سیال دگرگونی و شیمی سنگ

مادر می‌باشد (Harangi et al., 2001). با ترسیم ترکیب شیمیایی نمونه‌های گارنت بر روی نمودار CaO-MnO مشاهده می‌شود که گارنت‌ها دارای منشاء متاپلیتی می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۲: (A) ترکیب گارنت‌های موجود در گرانیت‌های با پتاسیم بالا بر روی نمودار CaO-MnO (برگرفته از Harangi et al., 2001)؛ (B) مقایسه ترکیب گارنت‌های موجود در تونالیت‌های منطقه (مثلث) و مقایسه آنها با گارنت‌های موجود در گرانیت‌های با پتاسیم بالا (دایره)

اصولا گارنت‌های حاوی Ca پایین توسط آناتکسی متاپلیت‌های پوسته زیرین تشکیل می‌شوند. چنین گارنت‌هایی معمولا با کانی‌های بیوتیت، پلاژیوکلاز، کوارتز، آلکالی فلدسپار همراه می‌باشند. گارنت نوع آلماندین در ماگماهای نوع S و متاپلیت‌ها متداول می‌باشد. آلماندین تشکیل شده در ماگماهای نوع S و متاپلیت‌ها دارای CaO پایین ($<4\text{wt}\%$) ولی مقادیر متغییری از MnO می‌باشند. مقدار پتاسیم و آلومینیم بالا می‌تواند بدلیل آلودگی مذاب با متاپلیت‌های پوسته زیرین بوده باشد (Harangi et al., 2001). با ترسیم ترکیب گارنت‌های موجود در هر دوی این سنگ‌ها بر روی دیاگرام گارنت‌ها، موقعیت آنها تقریباً در قطب Alm تا Sps قرار می‌گیرند، اما نمونه‌های مربوط به نوع سنگ کاملاً متمایز بوده و ترکیب گارنت گرانیت‌های با پتاسیم بالا، میزان آلماندین بالاتری دارد (شکل ۲-B). (ب) ژئوترموتری: به منظور بررسی شرایط ترمودینامیکی حاکم بر تشکیل این گرانیت‌یویدها از روش ترمومتری گارنت-مسکوویت استفاده شد. اساس این ژئوترموتر بر اساس تبادل Mg-Fe بین دو کانی مسکوویت و گارنت می‌باشد. این ژئوترموتری تاکنون توسط کراف و رحیم (۱۹۸۷)، گرین و هلمن (۱۹۸۲)، هاینس و فارست (۱۹۸۸) و وو و همکاران (۲۰۰۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. روش گرین و هلمن (۱۹۸۲) دو کالیبراسیون متفاوت را برای سنگ‌های بازیک و سنگ‌های با ترکیب پلیتی ارائه نموده است. همچنین در کالیبراسیون مربوط به سنگ‌های پلیتی که در اینجا از آن استفاده شده است اگر $Mg_{Ms} \# \geq 0.6$ باشد، بیانگر Ca بالای سیستم است. میزان Mg# مسکوویت‌های موجود در گرانیت‌های پتاسیم بالا، ۰/۳۹ است. نتایج بدست آمده برای سنگ‌های مورد مطالعه با استفاده از این روش در جدول ۲ ارائه گردیده اند.

جدول ۲: دما و فشار گرانیت‌های پتاسیم بالا با استفاده از کالیبراسیون‌های مختلف ژئوترموتر مسکوویت-گارنت

Pressure (kb):	1	2	3	4	5
Green & Hellman (1982)	594.54	600.00	605.47	610.93	616.40
Wu et al. (2002)	532.82	533.79	534.76	535.73	536.70
Hynes & Forest (1988)	496.27	499.03	501.78	504.54	507.30
Krogh & Raheim (1978)	395.36	409.06	422.76	436.46	450.16

نتیجه گیری

تفاوت اصلی گرانیت‌های پتاسیم بالا با سایر گرانیتوئیدهای موجود در منطقه (تونالیت‌ها و پلاژیوگرانیت‌ها)، کانی‌شناسی و پتاسیم بالای موجود در آنها و نیز ترکیب متفاوت گارنت آنها است. گارنت‌ها دارای منشاء متاپلیتی می‌باشند که بیانگر حضور بخش‌های رسوبی در سنگ‌های اولیه ذوب شده می‌باشد. این بخش‌های رسوبی می‌توانند سنگ‌های پلیتی و غنی از آلومینیومی بوده باشند که بر روی پوسته اقیانوسی قرار داشته‌اند و به همراه آن فرورانش نموده اند. میانگین دمای تشکیل این سنگ‌ها در محدوده فشار ۱ تا ۵ کیلوبار، حدود 504°C تا 527°C است که این مقادیر منطقی بوده و با منحنی ذوب گرانیت‌ها و منحنی پایداری مسکویت کاملاً تطابق دارد.

منابع

۱. پیرنیا نایینی ت.، ۱۳۸۶، مطالعه پریدوتیت‌های گوشته افیولیت ملائز نایین، پایان نامه کارشناسی ارشد پترولوژی گروه علوم زمین دانشگاه اصفهان، ۱۹۳ ص.
۲. ترابی ق.، ا. عبداللهی، ن. شیردشت زاده، ۱۳۸۷، کاربرد آنالیز کانی‌ها و سنگ کل در شناسایی سنگ زایی گدازه‌های بالشی افیولیت نایین. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران شماره ۲، ص ۲۹۵-۳۱۲.
۳. ترابی ق.، ا. نوربهبشت، ن. شیردشت زاده، ت. پیرنیا، ۱۳۸۶، ژئوترموتری اسکارن‌های موجود در افیولیت ملائز نایین (استان اصفهان). مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲، ص ۳۵۷-۳۸۲.
۴. رضایی ز.، ۱۳۸۵، مطالعه پترولوژی پلاژیوگرانیت‌های و سنگ‌های وابسته افیولیت نایین (ایران مرکزی)، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، ۱۳۹ ص.
۵. سعیدی م.، س. فلاحتی، م. نقره‌بیان، م. خلیلی، ۱۳۸۵، مینرالوژی و ترکیب شیمی لیستونیت‌های شمال نایین، چکیده مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، ص ۲۴۲.
۶. فلاحتی س.، م. سعیدی، م. نقره‌بیان، م. خلیلی، ۱۳۸۵، خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رودزیت‌های افیولیت‌های شمال نایین، چکیده مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، ص ۲۳۲.
7. Amri I., Ceuleneer G., Benoit M., Valladon M., El Boukhari A., (2004) Plagiogranites and K-feldspar granites in the Oman ophiolite: Low Temperature, hydrated magmas produced during oceanic crustal growth?. Joint Earth Sciences meeting, Oral programme-RSTGV2, Available: <http://www.cosis.net>
8. Davoudzadeh M., (1972) Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran. Geological survey of Iran, Report **14**, 89 p.
9. Green, T.H., Hellman, P.L., 1982. Fe -Mg partitioning between coexisting garnet and phengite at high pressure, and comments on a garnet- phengite geothermometer. *Lithos* **15**, 253- 266.
10. Harangi S.Z., Downes H., Kosa L., Szabo C.S., Thirlwall M.F., Mason P.R.D., & Matthey D. (2002). Almandine Garnet in Calc-Alkaline Volcanic Rocks of the Pannonian Basin (Eastern-Central Europe): Geochemistry, Petrogenesis and Geodynamic Implications. *Jour. of Petrology*, No. **10**. 1813-1843.
11. Hynes, A., Forest, R.C., 1988. Empirical garnet- muscovite geothermometry in low-grade metapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies). *J. Metamorph. Geol.* **6**, 297- 309.
12. Krogh, J.E., Raheim, A., 1978. Temperature and pressure dependence of Fe -Mg partitioning between garnet and phengite, with particular reference to eclogites. *Contrib. Mineral. Petrol.* **66**, 75- 80.
13. Rahmani, F., Noghreyan, M. & Khalili, M. (2007): Geochemistry of foliated dykes in the Nain ophiolite (Central Iran). *Ofioliti*, 32-(2): 119-129.
14. Shirdashtzadeh N., Gh. Torabi, & Sh. Arai, (in press), Metamorphism and metasomatism in the Jurassic of Nain ophiolitic mélange, Central Iran. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh., Stuttgart*.
15. Wu C-M, Wang X-S, Yang C-H, Geng Y-S, Liu F-L (2002) Empirical garnet-muscovite geothermometry in metapelites. *Lithos*, **62**:1-13.