

## کاربرد دماسنج گارنت - مسکوویت برای گرانیتوئیدهای با پتاسیم بالا، افیولیت ملانژ ناین

شیردشت‌زاده، نرگس<sup>۱</sup> - ترابی، قدرت<sup>۲</sup> - صمدی، رامین<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، باشگاه پژوهشگران جوان

<sup>۲</sup>گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان

<sup>۳</sup>دانشجوی دکتری پتروژئولوژی، واحد علوم و تحقیقات تهران

rsamadi@hotmail.com

### چکیده

گروهی از سنگ‌های گرانیتوئیدی افیولیت ناین به صورت گرانیتوئیدهای با پتاسیم بالا می‌باشند. گارنت موجود در آنها از نوع آلماندین است. بر اساس شواهد پتروگرافی، گارنت موجود در گرانیتوئیدهای پتاسیم بالا آذرین بوده و بر اثر ذوب سنگ‌های رسوبی با Al و Ca بالا به وجود آمده است. کاربرد زمین‌دماسنج گارنت - مسکوویت برای این سنگ‌ها بیانگر دمای میانگین  $528^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

واژگان کلیدی: زمین‌دماسنجی، گارنت، مسکوویت، گرانیتوئید، ناین.

## Application of Garnet-Muscovite thermometer for high-K granitoid, Nain ophiolitic mélange

<sup>1</sup>Shirdashtzadeh, N., <sup>2</sup>Torabi, G., <sup>3</sup>Samadi, R.

<sup>1</sup>Islamic Azad University, Khorasgan Branch, Young Researchers Club

<sup>2</sup>Department of Geology, University of Isfahan, Iran

<sup>3</sup>Ph. D. student of petrology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Iran

### Abstract

One of the rock units of Nain ophiolitic mélange is high-K granitoid. Their garnet is almandine in composition. According to petrography, garnets are igneous type and have originated from melting the high Ca and Al sediments. Application of Garnet-Muscovite thermometer for these rocks indicates an average temperature of  $528^{\circ}\text{C}$ .

**Keywords:** Geothermometer, Garnet, Muscovite, Granitoid, Nain.

### مقدمه

در دهه‌های اخیر مطالعات زمین‌دماسنجی و زمین‌فشارسنجی به عنوان یک روش مفید برای شناخت شرایط دما و فشار تشکیل سنگ‌ها، مطرح شده‌اند. تجربیات آزمایشگاهی دانشمندان، محاسبات و مدل‌سازی ترمودینامیکی، بر اساس تجزیه شیمیایی کانی‌ها به وسیله الکترون

میکروپروب، به فهم بهتر شرایط دما و فشار حاکم بر سنگ‌ها در خلال فرآیندهای زمین‌شناسی، کمک مؤثری می‌نماید. اغلب دماسنج‌ها بر اساس حساسیت توزیع عناصر در ساختار کانی‌ها و یا طی تبدلات شیمیایی، نسبت به دما و یا فشار طراحی شده‌اند. در این میان استفاده از ترکیب گارنت و مسکوویت نیز همواره در تعیین شرایط ترمودینامیکی سنگ‌ها مورد توجه بسیاری از محققین مانند گرین و هلمن (۱۹۸۲)، هاینس و فورست (۱۹۸۸)، وو و همکاران (۲۰۰۲) و وو و ژائو (۲۰۰۶) بوده است. از این رو هدف از این مطالعه بررسی شرایط دمایی بر اساس کاربرد دماسنج گارنت-مسکوویت در گرانیتهای با پتاسیم بالای منطقه شمال ناین می‌باشد.

### روش مطالعه

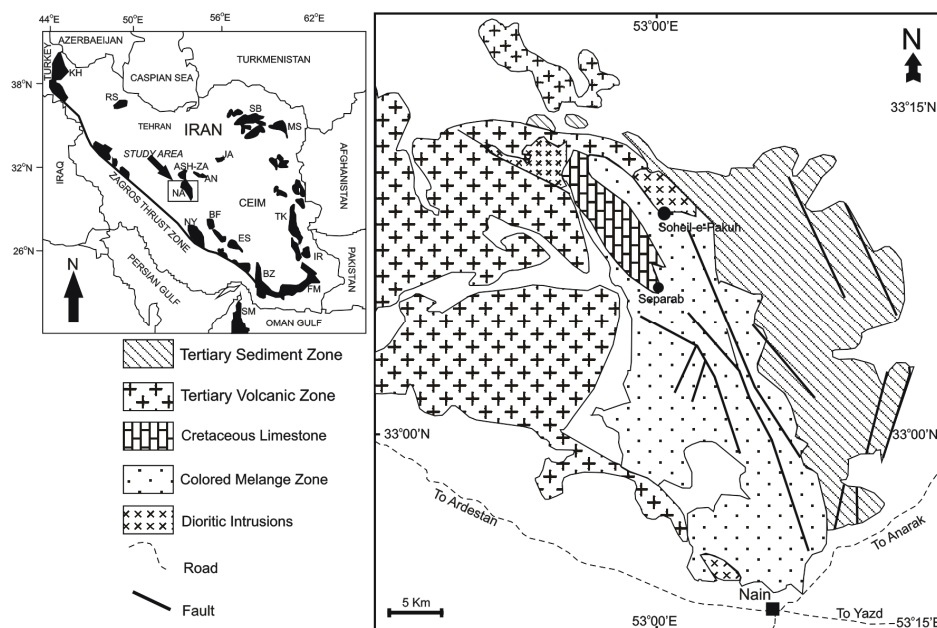
پس از انجام بررسی‌های صحرایی و نمونه برداری، مقاطع نازک صیقلی با استفاده از چسب رزین تهیه شد و از میان آنها چند نمونه انتخاب شده و مورد آنالیز میکروپروب قرار گرفتند. آنالیز کانی‌ها با استفاده از دستگاه میکروپروب JEOL، مدل JXA-8800 (WDS) و با ولتاژ شتاب‌دهنده ۱۵ Kv و شدت جریان ۱۵ nA در دانشگاه کاناواوی ژاپن انجام گرفت. از روش استوکیومتری دروپ (۱۹۸۷) و اسپیر (۱۹۸۱) برای محاسبه فرمول ساختاری کانی‌ها و محاسبه  $Fe^{3+}$  استفاده شد.

### شرح و بحث

**الف) زمین‌شناسی منطقه:** افیولیت نائین با امتداد تقریباً شمالی - جنوبی، شامل وسعتی از شمال شهر نائین تا روستای سهیل پاکوه بوده و از سمت غرب به ولکانیک‌های ترشیاری و از سمت شرق به رسوبات ترشیاری محدود شده است (شکل ۱- الف). زون افیولیت ملانژ نائین - زوار باقی‌مانده یک ریفت درون قاره‌ای و حاصل بازشدگی بلوک‌های پوسته‌ای در طول مرز آنها است (اشتوکلین، ۱۹۷۴). بررسی‌های انجام گرفته بیانگر وجود طیف وسیعی از سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی با سن متفاوت در ملانژ افیولیتی مورد مطالعه می‌باشد. آهک‌های گلوبوترونکانادار کرتاسه بالایی داوودزاده (۱۹۷۲)، مرمر و اسکارن‌های قدیمی‌تر (شیردشت‌زاده، ۱۳۸۶)، گدازه‌های بالشی اسپیلیتی شده (ترابی و همکاران، ۱۳۸۷)، دایک‌های صفحه‌ای (رحمانی و همکاران، ۲۰۰۷)، گابرو (رضایی، ۱۳۸۵)، آمفیبولیت‌های توده‌ای و دایکی‌شکل (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰)، پریدوتیت‌های گوشته‌ای سرپانتینیتی شده (پیرنیا، ۱۳۸۶)، لیستونیت (سعیدی و همکاران، ۱۳۸۵) و رودینژیت (فلاحی و همکاران، ۱۳۸۵) از جمله سنگ‌های متداول بررسی شده در این مجموعه افیولیتی می‌باشند. گرانیتهای با پتاسیم بالا که در برخی نقاط همچون امیرآباد رخنمون وسیعی از آنها دیده می‌شود توسط شیردشت‌زاده (۱۳۸۶) گزارش شده‌اند (شکل ۱- ب). در این

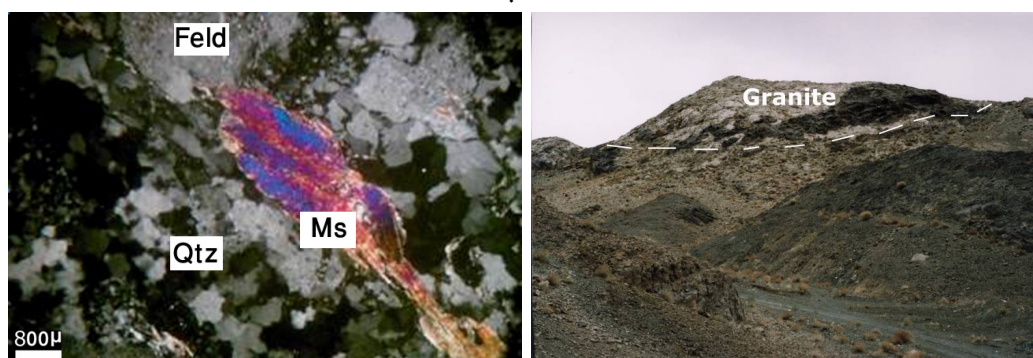
گرانیتوئیدها که برگواره بوده و در نزدیکی زون‌های برشی مشاهده شده‌اند، شواهد یک دگرگونی ضعیف گزارش شده است (شیردشت‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰).

الف



ب

ب



شکل ۱: (الف) موقعیت افیولیت ملانژ شمال نائین (NA) در میان سایر افیولیت‌های ایران (پساگنو و همکاران، ۲۰۰۵) و نقشه زمین‌شناسی افیولیت ملانژ نائین، (پس از داوودزاده، ۱۹۷۲)، (ب): رخنمونی از گرانیتوئیدهای با پتاسیم بالا در نزدیکی امیرآباد، (پ): مسکوویت، فلدسپار و کوارتز در گرانیتوئیدهای با پتاسیم بالا (XPL).

(ب) پتروگرافی و شیمی کانی‌ها: این گرانیتوئیدها از کانی‌های کوارتز، فلدسپار از نوع پلاژیوکلاز و ارتوکلاز، مسکوویت و گارنت‌های دانه‌ریز و به میزان کم‌تر کانی‌های ثانویه کلریت و کلسیت تشکیل شده‌اند (شکل ۱- پ). کوارتز موجود در این سنگ‌ها تا حدود کمی دچار تبلور مجدد شده است که نشان‌دهنده درجه دگرگونی ضعیف می‌باشد. گارنت‌ها به صورت ریز و خرد شده‌اند و وجود

ادخال‌های ریزی از کوارتز در درون گارنت‌ها و حضور گارنت‌ها در کوارتز بیانگر تشکیل این کانی در زمینه‌ای از کوارتز می‌باشد. با توجه به نتایج آنالیز میکروپروب، نوع گارنت موجود در این سنگ‌ها از نوع آلماندین می‌باشد (جدول ۱). مسکوویت‌ها نیز که دارای جهت‌یافتگی هستند تا حدودی دچار خردشدگی و تبلور مجدد شده‌اند. فلدسپارها نیز از نوع ارتوکلاز و الیگوکلاز هستند. البته اغلب فلدسپارهای موجود در این سنگ‌ها دچار آلتراسیون شده‌اند. منشاء این نوع گرانیتوئیدها در افیولیت‌ها هنوز مورد سؤال می‌باشد ولی بر اساس مطالعات انجام گرفته 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 تهی شده و دگرسان حاصل شده باشند (امری و همکاران، ۲۰۰۴). 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 به‌همراه آن فرورانش نموده‌اند.

جدول ۱: نتایج آنالیز میکروپروب و درصد اکسیدها، محاسبه فرمول ساختاری و اعضای نهایی.

Sample	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
K-Feldspar	64.72	0.00	18.41	0.03	0.01	0.00	0.01	1.04	14.85
Plagioclase	65.52	0.00	21.41	0.01	0.01	0.00	2.32	10.32	0.32
Muscovite	46.01	0.21	35.63	1.22	0.02	0.46	0.00	0.37	10.72
Garnet	37.20	0.01	21.29	33.50	7.03	1.40	0.79	0.03	0.03
Garnet	37.50	0.00	21.69	33.71	7.12	1.49	0.76	0.08	0.03

Sample	Oxygen No.	Si	Ti	Al	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Mn	Mg	Ca	Na	K	Total	Anorthite	Albite	Orthoclase	
K-Feldspar	8	3.01	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.88	5.00	0.05	9.57	90.38	
Plagioclase	8	2.88	0.00	1.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.88	0.02	5.00	10.87	87.38	1.76	
Muscovite	22	6.18	0.02	5.64	0.14	0.00	0.00	0.09	0.00	0.10	1.84	14.00	Pyrope	Almandine	Grossular	Spessartine
Garnet	12	3.00	0.00	2.02	2.26	0.00	0.48	0.17	0.07	0.01	0.00	8.00	5.63	76.07	2.28	16.02
Garnet	12	2.99	0.00	2.04	2.23	0.01	0.48	0.18	0.06	0.01	0.00	8.01	5.94	75.82	2.11	16.09

پ) زمین‌دماسنجی (روش گارنت - مسکوویت): از آنجایی که با توجه به شواهد پتروگرافی و کانی‌شناسی گارنت موجود در این سنگ‌ها طی فرآیند آذرین تشکیل شده است لذا از آن می‌توان در بررسی شرایط دمایی تشکیل توده آذرین گرانیتوئیدی استفاده نمود. این روش دماسنجی تاکنون توسط بسیاری از محققین (گرین و هلمن، ۱۹۸۲؛ هاینس و فورست، ۱۹۸۸؛ وو و همکاران، ۲۰۰۲) مورد مطالعه قرار گرفته است. دو کالیبراسیون متفاوت برای سنگ‌های بازیک و سنگ‌های با ترکیب پلیتی ارائه شده است (گرین و هلمن، ۱۹۸۲). 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. بر این اساس میزان  $Mg\#$  مسکوویت‌های موجود در گرانیتهای پتاسیم بالا، ۰/۳۹ است، که نشان‌دهنده میزان Ca پایین سیستم می‌باشد. این زمین‌دماسنج در شرایط دمایی ۴۵۰

الی ۷۶۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۰/۸ تا ۱۱/۱ کیلو بار با محدوده  $\pm 50$  درجه سانتی‌گراد کالیبره شده است (وو و ژائو، ۲۰۰۶). زمین‌دماسنج گارنت-مسکوویت برای سنگ‌های دگرگونی که میزان منیزیم مسکوویت آنها بیشتر از ۱۳٪ و مقدار آهن کمتر از ۰/۴٪ بر اساس ۱۱ اکسیژن باشد، توصیه نمی‌گردد. با توجه به میزان MgO (0.46%) و FeO (1.22%) مسکوویت، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده پیشنهادی قرار می‌گیرند. در دماسنج گارنت - مسکوویت وابستگی به فشار کمتر عنوان شده است (وو و ژائو، ۲۰۰۶). این دماسنج در سنگ‌های دگرگونی در شرایطی که بیوتیت در سنگ حضور ندارد، بسیار کاربردی می‌باشد. در این تحقیق با توجه به مدل‌های ارائه شده توسط محققین مختلف، نمونه‌های مورد مطالعه، به‌وسیله روش وو و ژائو (۲۰۰۶) مورد بررسی قرار گرفتند. این دماسنج با توجه به حضور یا عدم حضور آهن فریک در مسکوویت و با استفاده از دو مدل محاسبه می‌شود. در این مطالعه از فرمول مربوط به مدل A پیشنهادی وو و ژائو (۲۰۰۶) استفاده می‌شود که در آن محاسبه دما با فرض عدم وجود آهن فریک صورت می‌پذیرد. پارامترهای مورد استفاده در این فرمول در پیوست مقاله منبع وو و همکاران (۲۰۰۴) ارائه شده است. خطا در زمین‌دماسنج گارنت - مسکوویت به دلایل گوناگونی مانند عدم دقت مدل‌های آنالیز ترکیب شیمیایی کانی‌ها روی می‌دهد. البته تعیین خطاهای نهایی در دماسنج گارنت - مسکوویت از میان روش‌های منتشر شده مشکل می‌باشد (اسپیر، ۱۹۸۱). نتایج بدست آمده برای سنگ‌های گرانیتوئیدی با پتاسیم بالا با استفاده از این روش در جدول ۲ ارائه گردیده‌اند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در محدوده فشار ۱ تا ۵ کیلو بار، میانگین دما در محدوده  $526^{\circ}\text{C}$  تا  $535^{\circ}\text{C}$  متغیر است که این مقادیر منطقی بوده و با منحنی ذوب گرانیت‌ها و منحنی پایداری مسکوویت تطابق دارد.

**جدول ۲:** مقادیر دما و فشار مربوط به کاربرد زمین‌دماسنج گارنت-مسکوویت برای گرانیتوئیدهای با پتاسیم بالا بر اساس کالیبراسیون‌های گوناگون.

Pressure (kbar):	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
Wu & Zhao (2006)	482.1	482.2	482.3	482.4	482.5
Average T ( $^{\circ}\text{C}$ )	526.43	528.76	531.08	533.40	535.73

## نتیجه‌گیری

گارنت موجود در گرانیتوئید پتاسیم بالا از نوع آلماندین است. بر اساس شواهد پتروگرافی، گارنت موجود در گرانیتوئیدهای پتاسیم بالا آذرین بوده و بر اثر ذوب سنگ‌های رسوبی با Al و Ca بالا به وجود آمده است. کانی‌شناسی این نوع گرانیتوئید حاکی از میزان بالای آب در مذاب گرانیتوئید

پتاسیم بالا می‌باشد که منجر به تشکیل کانی آب‌دار مسکوویت در آن شده است. بررسی مقادیر حاصل از کاربرد زمین‌دماسنجی گرانتیویدهای پتاسیم‌دار بیانگر دمای میانگین  $528^{\circ}\text{C}$  می‌باشد.

## منابع

- پیرنیا نایینی، تهمینه، ۱۳۸۶، مطالعه پریدوتیت‌های گوشته افیولیت ملانژ ناین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۹۳ صفحه.
- ترابی، قدرت، عبداللهمی، الهام، شیردشت‌زاده، نرگس، ۱۳۸۷، کاربرد آنالیز کانی‌ها و سنگ کل در شناسایی سنگ‌زایی گدازه‌های بالشی افیولیت ناین، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی، شماره ۱۶(۲)، صفحه ۲۹۵-۳۱۲.
- رضایی، زهرا، ۱۳۸۵، مطالعه پترولوژی پلاژیوگرانیت‌ها و سنگ‌های وابسته در افیولیت ناین، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۳۹ صفحه.
- سعیدی، معصومه، فلاحتی، سعیده، نقره بیان، موسی، خلیلی، محمود، ۱۳۸۵، مینرالوژی و ترکیب شیمی لیستونیت‌های شمال ناین، چکیده مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، صفحه ۲۴۲.
- شیردشت‌زاده، نرگس، ۱۳۸۶، پترولوژی سنگ‌های دگرگونی افیولیت ملانژ ناین (استان اصفهان). پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان، ۱۹۲ صفحه.
- فلاحتی، سعیده، سعیدی، معصومه، نقره بیان، موسی، خلیلی، محمود، ۱۳۸۵، خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی رودنژیت‌های افیولیت‌های شمال ناین، چکیده مقالات بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، صفحه ۲۳۲.
- Davoudzadeh M., 1972, Geology and petrography of the area north of Naein, Central Iran. *Geological Survey of Iran*; Re.14; 89 p.
- Droop G.T.R., 1987, A general equation for estimating  $\text{Fe}^{3+}$  concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, *Mineralogical Magazine*; v.51; p.431-35.
- 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*; no.15; p.253- 266.
- Hynes A., Forest R. C., 1988, Empirical garnet- muscovite geothermometry in low-grade metapelites, Selwyn Range (Canadian Rockies), *Journal of Metamorphic Geology*; no.6; p.297-309.
- Pessagno E.A.Jr., A.M., Ghazi M., Kariminia R.A., Duncan and A.A., Hassanipak, 2005, Tectonostratigraphy of the Khoy Complex, northwestern Iran, *Stratigraphy*; v.2; no.1; p. 49-63.
- Rahmani F., Noghreyan M. and Khalili M., 2007, Geochemistry of foliated dykes in the Nain ophiolite (Central Iran), *Ophioliti*; no.32(2); p.119-129.
- Shirdashtzadeh N., Torabi Gh., Arai Sh., 2010, Metamorphism and metasomatism in the Jurassic Nain ophiolitic mélangé, Central Iran. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie*; no.255/3; p.255-75.
- Spear F.S., 1981, An experimental study of hornblende stability and compositional variability in amphibolite, *American Journal of Science*; no. 281; p. 697-734.
- Stocklin J., 1974, Mesozoic-Cenozoic orogenic belts data for orogenic studies, *Geological Society of London*; no.4; p.213-234.
- Wu C. M., Wang X. S., Yang C. H., Geng Y. S., Liu F. L., 2002, Empirical garnet-muscovite geothermometry in metapelites, *Lithos*; no.62; p.1-13.
- Wu C. M., Zhang J., Ren L. D., 2004, Empirical garnet-muscovite-plagioclase-quartz geobarometry in medium- to high-grade metapelites, *Lithos*; no.78; p.319-332.
- Wu C. M., Zhao G. C., 2006, Recalibration of the garnet-muscovite (GM) geothermometer and the garnet-muscovite-plagioclase-quartz (GMPQ) geobarometer for metapelitic assemblages. *Journal of Petrology*; no.47; p.2357-2368.