

کاربرد ژئوترموتری گارنت – هورنبلند برای آمفیبولیت‌ها، افیولیت ملانژ ناین

نرگس شیردشت زاده^{۱*}، مهدی جمالی^۲، قدرت ترابی^۳، رامین صمدی^۱
^۱ دانشجوی دکتری علوم و تحقیقات تهران، باشگاه پژوهشگران جوان
^۲ گروه زمین شناسی دانشگاه پیام نور مرکز شاهین شهر
^۳ گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان
nargess_shirdasht@yahoo.com

چکیده

آمفیبولیت‌های افیولیت ناین عمدتاً از کانی‌های هورنبلند، پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، گارنت، اسفن، کلریت، کلسیت، کوارتز، پرهنیت، مگنتیت و ایلمنیت تشکیل شده‌اند. کاربرد روش ژئوترموتری گارنت-هورنبلند مقادیر ۵۶۴/۸۱ و ۶۲۷/۷۰ درجه سانتیگراد را برای دمای تعادل تشکیل کانی‌های مذکور پیشنهاد می‌نماید. این مقادیر با شرایط دمایی اوایل رخساره دگرگونی آمفیبولیت تطابق دارد. این روش ترمومتری به دلیل آنکه کمتر تحت تاثیر فشار و در نتیجه تغییرات مقدار Al قرار می‌گیرد لذا شرایط دمایی کمتری را (نزدیک به ۱۰۰ درجه سانتیگراد) نسبت به روش ژئوترموتری آمفیبول – پلاژیوکلاز نشان می‌دهد. واژه‌های کلیدی: ژئوترموتری، گارنت، هورنبلند، آمفیبولیت، ناین

Garnet-hornblende geothermometry of amphibolites, ophiolitic mélange of Naein

Abstract

Amphibolites from ophiolite of Naein are mainly composed of hornblende, plagioclase, clinopyroxene, garnet, sphene, chlorite, calcite, quartz, prehnite, magnetite, and ilmenite. Application of garnet-hornblende geothermometry revealed temperatures about 564.81-627.70 for the formation of these minerals. These temperatures are correlated with the lower temperature metamorphic facies of amphibolite. This thermometer has not affected by the pressure consequently Al changes does not affected its results, so it reveals lower temperature (about 100 centigrade degrees) in compare to amphibole-plagioclase thermometry method.

Keywords: Geothermometry, Garnet, Hornblende, Amphibolite, Naein

مقدمه

افیولیت ملانژ ناین بخشی از افیولیت‌های حلقوی اطراف میکروپلیت شرق-ایران مرکزی (Central-East Iran Microplate = CEIM) با سن مزوزوئیک بوده و در بخش‌های شمالی شهر ناین قرار دارد (داوود زاده، ۱۹۷۲). سنگ‌های دگرگونی این مجموعه شامل آمفیبولیت، دایک آمفیبولیتی، گرانیت دگرگون، اسکارن، متاچرت‌های نواری، ماسه سنگ دگرگون، شیست و مرمر می‌باشند (شیردشت زاده، ۱۳۸۶؛ ترابی و همکاران، ۱۳۸۷؛ شیردشت زاده و همکاران، ۲۰۰۸). سنگ‌های دگرگونی بصورت بلوک‌هایی بزرگ و کوچک در جای جای افیولیت ملانژ ناین بصورت پراکنده دیده می‌شوند. از مهمترین نقاطی که در آن رخنمون قابل توجهی از سنگ‌های دگرگون وجود دارد می‌توان به بخش‌های شمالی شهر ناین، دامنه‌های شمالی افیولیت ملانژ ناین و غرب سهیل پاکوه اشاره نمود.

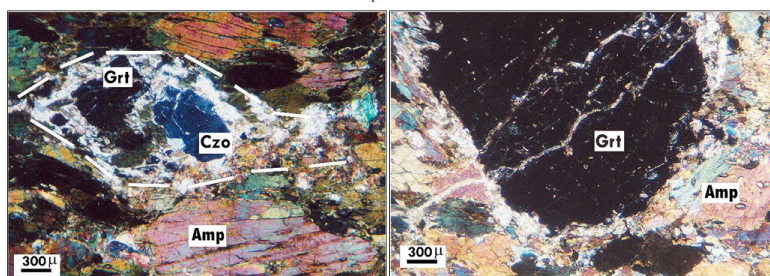
مطالعات پیشین حاکی از تشکیل آمفیبولیت‌ها از دگرگونی بازالت‌ها، گدازه‌های بالشی این مجموعه در اثر وقوع یک دگرگونی ناحیه‌ای در ژواسیک می‌باشد (شیردشت زاده، ۱۳۸۶؛ ترابی و همکاران، ۱۳۸۷؛ شیردشت زاده و همکاران، ۲۰۰۸). ترابی و همکاران (۱۳۸۷) تشکیل آمفیبولیت‌های منطقه ناین را به در اواسط رخساره آمفیبولیت تا اوایل گرانولیت نسبت داده اند. مطالعه حاضر بر اساس بررسی‌های پتروگرافی و آنالیز میکروپروب کانی‌ها (دستگاه میکروپروب JEOL، مدل JXA-8800 (WDS)، دانشگاه کانازاوا ژاپن، ولتاژ ۱۵ Kv) صورت گرفته است. در این تحقیق به بررسی ژئوترمومتر گارنت - آمفیبول و کاربرد آن برای آمفیبولیت‌های ناین پرداخته می‌شود.

بحث

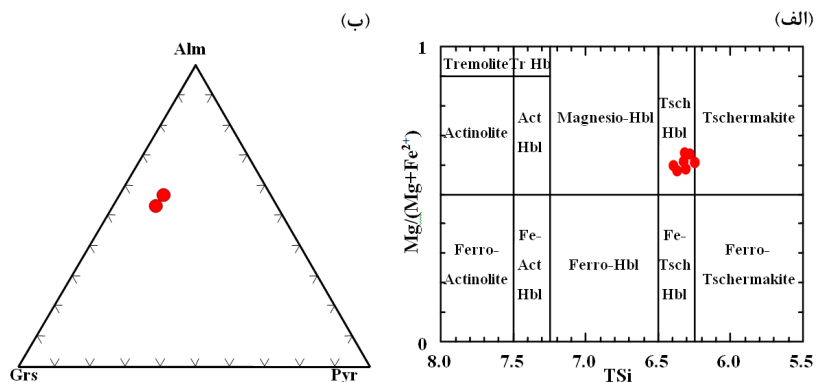
(الف) پتروگرافی آمفیبولیت‌ها: بر اساس مطالعات ترابی و همکاران (۱۳۸۷) و شیردشت زاده (۱۳۸۶)، آمفیبولیت‌های افیولیت نائین عمدتاً از هورنبلند که در امتداد شیبستوزیته قرار دارد و پلاژیوکلازهای دگرسان شده‌ای که در بین آمفیبول‌ها اند، تشکیل گردیده اند. سایر کانی‌های موجود در آنها نیز شامل کلینوپیروکسن، گارنت، اسفن، کلریت، کلسیت، کوارتز، پرهنیت، مگنتیت و ایلمنیت می‌باشند. تفریق دگرگونی در آمفیبولیت‌های این مجموعه افیولیتی را می‌توان به صورت تفکیک کانی‌های تیره (مثل آمفیبول و کلینوپیروکسن) و لایه‌های روشن (مثل پلاژیوکلاز و کوارتز) مشاهده کرد. بلورهای آمفیبول غالباً خرد شده و در حال تبدیل به کانی‌های کلینوزویزیت، پرهنیت، کلریت و کلسیت بوده و در مواردی هم درون گارنت‌ها ادخال‌هایی از پیروکسن، پرهنیت و کلسیت دیده می‌شود. کلینوپیروکسن‌ها دارای ادخال‌هایی از اسفن می‌باشد. پدیده تبدیل کلینوپیروکسن به آمفیبول‌ها از کناره‌ها و در امتداد رخ‌ها قابل مشاهده است. کانی‌های دیگر حاصل از آلتراسیون کلینوپیروکسن‌ها شامل کلریت، اپیدوت و پرهنیت می‌باشند. گارنت نیز اغلب در اندازه‌های بسیار ریز تا بزرگ (۴-۵ میلیمتر) در این سنگ‌ها مشاهده می‌شود. قطعات درشت تر گارنت‌ها دارای ادخال‌هایی از کلینوپیروکسن، کوارتز، پلاژیوکلاز و اپیدوت می‌باشند. شکل ۱، نمونه‌ای از گارنت موجود در آمفیبولیت‌ها را نشان می‌دهد که از اطراف در حال تجزیه به پرهنیت، کلسیت و اپیدوت می‌باشد و شکستگی‌های آن توسط پرهنیت پر شده است.

(ب)

(الف)



شکل ۱: تصاویر XPL از: (الف): بلور درشت گارنت موجود در آمفیبولیت‌ها در زمینه‌ای از آمفیبول. گارنت توسط رگه‌های پرهنیت قطع شده و از اطراف در حال تجزیه به پرهنیت، کلسیت و اپیدوت می‌باشد؛ (ب): گارنت موجود در آمفیبولیت و کلینوزویزیت حاصل از آن. شکل قرار گرفتن سوزن‌های آمفیبول که تحت تاثیر وجود قطعه گارنت قرار گرفته است.



شکل ۲: (الف) نمایش ترکیب آمفیبول‌های آمفیبولیت‌ها بر روی دیاگرام تقسیم بندی آمفیبول‌ها (برگرفته از روش هاوتورن، ۱۹۸۱) [Tsch Hbl=Tschermakitic Hornblende]؛ (ب) موقعیت ترکیبی گارنت‌های موجود در آمفیبولیت‌ها، افیولیت ملانژ ناین.

جدول ۱: نتایج آنالیز میکروپروب آمفیبول و گارنت موجود در آمفیبولیت‌های افیولیت ملانژ ناین (بر حسب wt% و محاسبه فرمول ساختاری و اعضای نهایی آنها (بر حسب a.p.f.u.)).

Sample	515	517	528	529
Mineral Type	Amp	Grt	Grt	Amp
SiO ₂	41.683	37.877	38.717	42.628
Al ₂ O ₃	12.798	21.48	21.875	12.757
TiO ₂	1.332	0.191	0.092	1.038
Cr ₂ O ₃	0.036	0.026	0.011	0.071
FeO*	15.748	24.321	23.689	17.386
MgO	10.242	2.952	3.058	9.692
MnO	0.246	3.284	1.152	0.303
CaO	11.356	10.4	12.127	11.706
Na ₂ O	1.602	0.033	0.094	1.748
K ₂ O	0.632	0	0	0.305
NiO	0	0	0	0
Total	95.675	100.564	100.815	97.634
Oxygen p.f.u.	23	12	12	23
Si	6.305	2.969	3.005	6.347
Al	2.061	9.031	8.995	2.061
Ti	0.152	0.011	0.005	0.116
Cr	0.004	0.002	0.001	0.008
Fe ²⁺	1.612	1.54	1.538	1.757
Fe ³⁺	0.38	0.055	0	0.408
Mg	2.31	0.345	0.354	2.151
Mn	0.032	0.218	0.076	0.038
Ca	1.841	0.873	1.008	1.867
Na	0.47	0.005	0.014	0.505
K	0.122	0	0	0.058
Ni	0	0	0	0
Total Cations	15.289	15.049	14.996	15.316
Almandine		51.11%	51.24%	
Grossular		27.73%	33.48%	
Pyrope		11.50%	11.79%	
Spessartine		7.27%	2.52%	
Schorlomite-Al		0.56%		
Andradite		0.73%		
NaTi garnet			0.27%	
Uvarovite		0.08%	0.03%	

نوع پلاژیوکلازها آندزین تا لابرادوریت می‌باشد و نوع کلینوپیروکسن آمفیبولیت‌ها دیوپسید بوده و بر اساس شواهد میکروسکوپی، بقایای همان کلینوپیروکسن‌های اولیه و آذرین می‌باشند (ترابی و

همکاران، ۱۳۸۷). آمفیبول از نوع هورنبلند چرماکیتی می‌باشند (جدول ۱ و شکل ۲). محاسبه فرمول شیمیایی گارنت‌ها بر اساس ۱۲ اتم اکسیژن و ۱۵ کاتیون صورت پذیرفته و برای تفکیک آهن از روش دروپ (۱۹۸۷) استفاده شد. در این روش تخمین مقدار آهن فریک (Fe^{3+}) بر اساس استکیومتری (Stoichiometric) انجام گرفت. محاسبه اعضای نهایی و توزیع عناصر در سایت‌های این کانی بر اساس دیر و همکاران (۱۹۹۲) و ریکوود (۱۹۶۸) انجام شد. این آنالیزها نشان می‌دهند که ترکیب گارنت موجود در آمفیبولیت‌ها از نوع آلماندین تا گراسولار می‌باشد (جدول ۱ و شکل ۲).

(ب) ژئوترموتری آمفیبولیت‌ها:

کاربرد روش ژئوترموتری آمفیبول - پلاژیوکلاز، دمای $654/8$ تا $799/5$ درجه سانتیگراد را برای تشکیل آمفیبولیت‌ها پیشنهاد نموده است (شیردشت زاده و همکاران، ۲۰۰۸). در حقیقت ژئوترموتری هورنبلند- پلاژیوکلاز بر اساس میزان Si و Al^{IV} موجود در موقعیت تتراندر هورنبلندها و نوع پلاژیوکلازهای همراه آنها، در سنگ‌های اشباع از سیلیس است (بلوندی و هلند، ۱۹۹۰). البته کالیبراسیون‌های مختلف آن در دماهای بسیار بالا و تنها برای برخی لیتولوژی‌ها قابل استفاده است (پلی و اشمیت، ۱۹۹۲)، اما با تغییراتی که هلند و بلوندی (۱۹۹۴) بر روی این ترمومتر دادند این ترمومتر برای سنگ‌های متابازیت کوارتز دار نیز قابل استفاده شد. لذا تاثیر تغییرات فشار که منجر به افزایش Al موجود در آمفیبول می‌گردند بر روی مقادیر حاصل از این کالیبراسیون تاثیر گذاشته و موجب افزایش مقادیر دما می‌شوند. لذا در این مطالعه به بررسی دمای تشکیل آمفیبولیت‌ها با استفاده از روش ژئوترموتری گارنت-هورنبلند پرداخته می‌شود.

ژئوترموتری گارنت - هورنبلند تاکنون توسط Powell (۱۹۸۵)، Graham & Powell (۱۹۸۴)، Perchuk و همکاران (۱۹۸۵) و Krogh Ravna (۲۰۰۰) مورد بررسی قرار گرفته است. در هورنبلند در فشار و دمای متوسط دگرگونی، Fe^{2+} و Mg در موقعیت‌های $M1$ و $M3$ وارد می‌شوند و موقعیت $M2$ توسط Al^{3+} ، Ti^{4+} و Fe^{3+} و موقعیت $M4$ توسط Ca و تا حدودی هم Na پر می‌شوند. همچنین Fe^{3+} وارد $M4$ و مقادیری از Mg و Fe^{2+} هم وارد $M2$ می‌شود (Krogh Ravna، ۲۰۰۰). این ژئوترموتری بر اساس توزیع Fe^{2+} - Mg بین گارنت و هورنبلند موجود در ترکیبات حدواسط تا بازالتی کالبره شده است. به این ترتیب با استفاده از روش ژئوترموتری گارنت-آمفیبول مقادیر $564/81$ و $627/70$ درجه سانتیگراد برای دمای تعادل تشکیل کانی‌های مذبور تعیین گردید. این مقادیر با شرایط دمایی رخساره آمفیبولیت تطابق دارد. در این روش محاسبه مقادیر دما بر اساس فرمول زیر انجام می‌پذیرد:

$$T (^{\circ}C) = \frac{1504 + 1784 \left(X_{Ca}^{Grt} + X_{Mn}^{Grt} \right)}{\ln K_{D(Fe^{2+}/Mg)}^{Grt-Hbl} + 0.720} - 273$$

نتیجه گیری

روش ژئوترموتری گارنت-آمفیبول مقادیر $564/81$ و $627/70$ درجه سانتیگراد برای دمای تعادل تشکیل کانی‌های مذبور پیشنهاد نموده است. این مقادیر با شرایط دمایی اوایل رخساره دگرگونی آمفیبولیت تطابق دارد. همانگونه که مشاهده می‌شود این روش ترمومتری به دلیل آنکه کمتر تحت تاثیر

فشار و در نتیجه تغییرات مقدار Al قرار می گیرد لذا تا حدودی شرایط دمایی کمتری را (نزدیک به ۱۰۰ درجه سانتیگراد) نسبت به روش ژئوترموتری آمفیبول - پلاژیوکلاز نشان می دهد.

سپاسگزاری

از همکاری علمی و حمایت های مالی دانشگاه های اصفهان و کانازاوی ژاپن سپاسگزاری می شود.

منابع

۱. ترابی ق.، شیردشت زاده ن.، نوربهشت ا.، پیرنیا ت.، ۱۳۸۷، مطالعه آمفیبولیت ها و دایک های آمفیبولیتی موجود در افیولیت ملانژ های نایب و عشین زوار. مجله علمی پژوهشی علوم پایه دانشگاه اصفهان، جلد ۲۹، شماره ۳، ص ۱۰۹-۱۲۸.
۲. شیردشت زاده، ن.، ۱۳۸۶، پترولوژی سنگ های دگرگونی افیولیت ملانژ نایب (استان اصفهان). پایان نامه کارشناسی ارشد گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان، ۱۹۴ ص.
3. Blundy J.D., Holland T.J.B. (1990): Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. **104**, pp. 208-224.
4. Davoudzadeh M. (1972): Geology and petrography of the area north of Nain, Central Iran. Geological survey of Iran Report, no. **14**, 89 pp.
5. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. (1992): An Introduction to the Rock forming Minerals. Second Editions, Longman, London, 696 pp.
6. Droop G.T.R. (1987): A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, *Mineralogical Magazine*, v. **51**, pp. 431-435.
7. Graham C.M., Powell R. (1984): A garnet-hornblende geothermometer: calibration, testing, and application to the Pelona Schist, Southern California. *Journal of Metamorphic Geology*, v. **3**, pp. 13-21.
8. Hawthorne F.C. (1981): Crystal chemistry of the amphiboles. In D.R. Veblen, Ed., Amphiboles and other hydrous pyriboles-mineralogy. *Reviews in Mineralogy*, Mineralogical Society of America, Washington, D.C., v. **9A**, pp. 1-102.
9. Holland T.J.B., Blundy J. (1994): Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. **116**, pp. 433-447.
10. Krogh-Ravna E. (2000): Distribution of Fe²⁺ and Mg between coexisting garnet and hornblende in synthetic and natural systems: an empirical calibration of the garnet-hornblende Fe-Mg geothermometer. *Lithos*, v. **53**(3-4), pp. 265-277.
11. Perchuk L.L., Aranovich L.Ya., Podlesskii K.K., Lavrent'eva I.V., Gerasimov V.Y., Fed'kin V.V., Kitsul V.-I., Karsakov L.P., Berdnikov N.V., (1985): Precambrian granulites of the Aldan shield, eastern Siberia, USSR. *Journal of Metamorphic Geology*, v. **3**, pp. 265-310.
12. Poli S., Schmidt M.W. (1992): A comment on "Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase thermometer" by JD Blundy and TJB Holland (*Contributions to Mineralogical and Petrology*, 1990, v. 104, p. 208-224). *Contributions to Mineralogical and Petrology*, v. **111**, pp. 273-282.
13. Powell R. (1985): Regression diagnostics and robust regression in geothermometer/geobarometer calibration: the garnet clinopyroxene geothermometer revisited, *Journal of metamorphic Geology*, v. **3**, pp. 231-243.
14. Rikwood P.C. (1968): On recasting analyses of garnet into end-member molecules. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. **18**, pp. 175-198.
15. Shirdashtzadeh N., Torabi G., Arai S. (2008, in press): Metamorphism and metasomatism in the Jurassic of Nain ophiolitic mélangé, Central Iran. *N. Jb. Geol. Paläont. Abh., Stuttgart*.