بیست و سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران
۲۰ و ۲۱ آبانماه ۱۳۹۹
The 23rd Symposium of Geological Society of Iran
10-11 November, 2020

دماسنجی گارنت-بیوتیت و فشارسنجی گارنت-آلومنوسیلیکات-پلاژیوکلاز-کوارتز (GASP) در زون سنندج-سیرجان: بلوک تنبور، جنوب ایران

پریسا قریب نژاد*، علی کنعانیان، جعفر عمرانی

*دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران

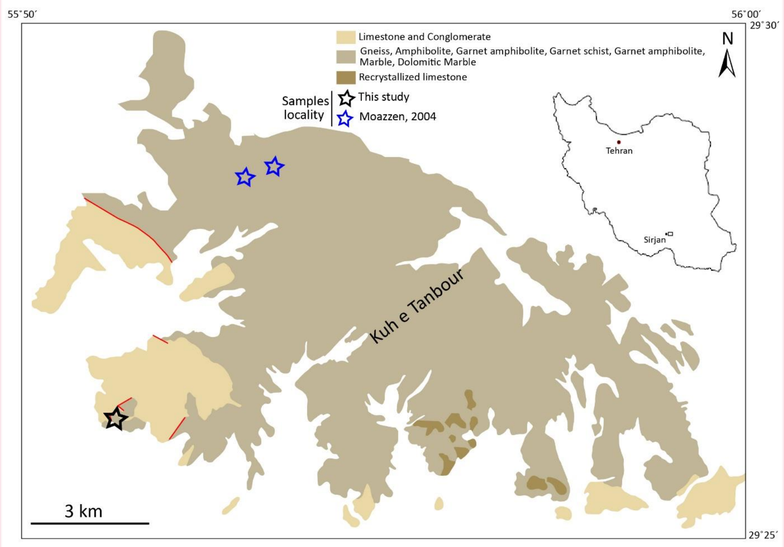
چکیده

متاپلیت های درجات بالای دگرگونی در بلوک تنبور (بخش جنوبی زون سنندج - سیرجان)، با حضور فازهای گارنت، کیانیت، بیوتیت و فنژیت علاوه بر دانه های کوارتز و فلدسپار مشخص می شوند. ترمومتر گارنت - بیوتیت و بارومترGASP به جهت تخمین شرایط دگرگونی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. با درنظر گرفتن مفروضات کالیبراسیون‌های متفاوت و وجود تعادل میان حاشیه گارنت و بیوتیت های زمینه، دمای تخمین زده شده برای اوج دگرگونی ۶۵۹°C و ۶۷۲°C بوده و فشار دگرگونی با استفاده از بارومتر GASP، توأم با تخمین دما ۶۷۰°C~ ، بیش از ۸ kbar ارزیابی شده است. بر اساس نتایج فشار و دما، شرایط اوج دگرگونی در حدود متوسط رخساره آمفیبولیتی می‌باشد. نتایج مطالعه حاضر ضمن در نظر گرفتن مطالعات پیشین، مسیر ساعتگرد را برای تحولات P-T دگرگونی در محدوده مورد مطالعه نشان می دهد که حاکی از رخداد دگرگونی مرتبط با برخورد است.

مقدمه

متاپلیت‌ها از سنگ‌های دگرگونی مهم در بررسی و ارزیابی شرایط دما و فشار دگرگونی هستند. با توجه به تنوع درجات دگرگونی این گروه‌های سنگی، به جهت استخراج شرایط دگرگونی آن‌ها روش‌های متنوعی وجود دارد که درمواردی مستقل از درجه دگرگونی بوده و به صورت همسان برای انواع این سنگ ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که روش‌های مبتنی بر مدل‌سازی (استفاده از سودوسکشن ها) از این جمله هستند. در مواردی نیز روش‌هایی مختص ارزیابی دما و فشار مبتنی برکالیبراسیون‌های درجات بالا و پایین پیشنهاد شده‌اند و عمدتاً شامل دماسنج‌ها و فشارسنج‌های کلاسیک (Conventional) می باشند.

مطالعه پیش رو، با هدف تخمین شرایط دگرگونی متاپلیت‌های بلوک تنبور، واقع در شرق محدوده سیرجان (جنوب زون سنندج - سیرجان) انجام شده است. در این راستا از فشارسنجی و دماسنجی به روش‌های کلاسیک استفاده شده که با توجه به ماهیت نمونه مورد مطالعه (میکاشیست حاوی گارنت وکیانیت) و فرض تعادل میان فازهای موجود در شرایط اوج دگرگونی، دماسنج گارنت - بیوتیت و فشارسنج GASP (Garnet-Aluminosilicate-Plagioclase-Quartz) مورد استفاده قرارگرفته اند.



شکل ۱. نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ محدوده بلوک تنبور در بخش جنوبی زون سنندج - سیرجان، راهنمای نقشه به ترتیب واحدهای متعلق به دونین، پالئوزوئیک زیرین (کامبرین- اردویسین) و الیگومیوسن را نشان می دهد.

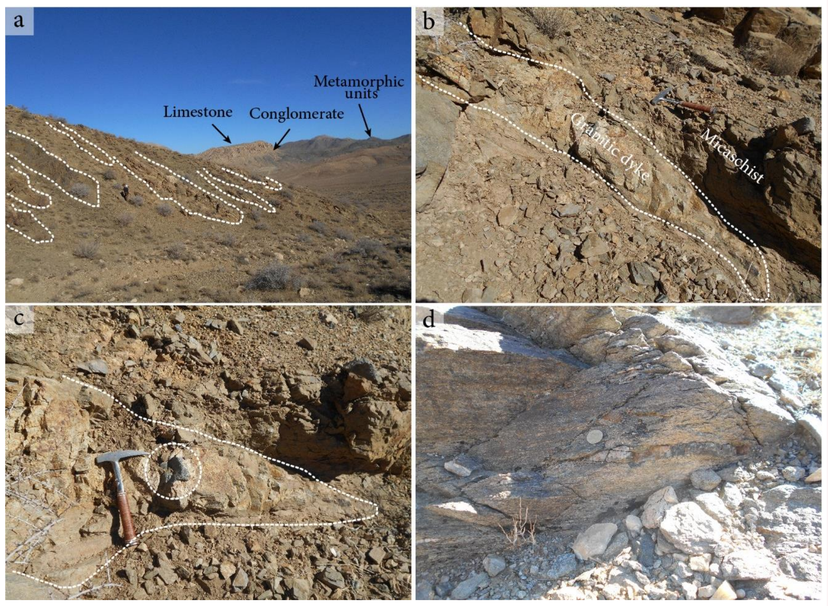
مواد و روش کار

ارزیابی شیمی کانی‌ها تحت شرایط کلاسیک آنالیز (ولتاژ ۱۵ kv، جریان پرتو ۱۰nA و با قطر حدود ۳μm) در آزمایشگاه CAMPARIS دانشگاه سوربن فرانسه و با استفاده از Cameca SX-100 انجام شد. به جهت به حداقل رساندن درصد خطای انسانی، تمامی نمونه‌ها صرفاً توسط فردی که مطالعهٔ میکروسکوپی مقاطع را انجام داده و به روابط پاراژنتیکی آن‌ها آشنا بوده، آنالیز شدند و در راستای کاهش خطای سیستماتیک تمام نمونه‌ها توسط یک مایکروپروب مشخص آنالیز شدند.

داده‌های خام حاصل از آنالیز EPMA نمونه ks.71، براساس ۱۲ اکسیژن برای گارنت و ۱۱ اکسیژن برای بیوتیت نرمالایز گردید و به جهت محاسبهٔ فرمول ساختاری کانی‌های آنالیز شده، از نرم افزار AX استفاده شد.

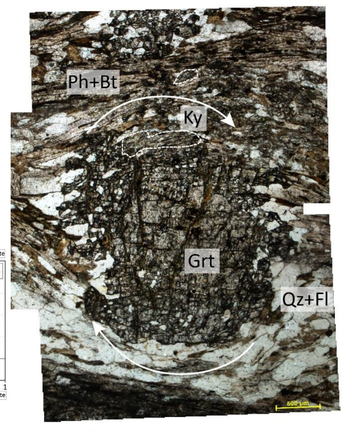
بحث

در محدوده بلوک تنبور، سنگ‌های دگرگونی درجات پایین (اسلیت و فیلیت) و درجات بالاتر نظیرگارنت میکاشیست و آمفیبولیت به ترتیب منتسب به پرمین زیرین و فوقانی هستند. مجموعاً در غیاب داده‌های سن سنجی، انتساب واحدها به پالئوزوئیک علاوه بر معدود شواهد فسیل شناسی (Mijalkovic and Saric, 1973) عمدتاً بر مبنای مشابهت لیتولوژیک با سایر واحدهای پالئوزوئیک جنوب SSZ بوده است. واحدهای آهکی (دگرگون نشده) با ناپیوستگی بر روی واحدهای دگرگون شده پالئوزوئیک قرار دارند (شکل ۲a) و با استناد به شواهد فسیل شناسی به الیگومیوسن نسبت داده شده‌اند. واحدهای دگرگون شده در نقاط مختلف توسط دایک هایی با ترکیب گرانیتی و گابرویی (دیاباز) قطع شده‌اند (شکل ۲a). اگر چه معدودی از واحدهای گنیسی در محدوده دیده می‌شوند اما در بیشتر موارد واحدهای مزبور در واقع گرانیت‌های دگرشکل شده‌ای هستند که در نتیجه برش، فابریک میلونیتی نشان می‌دهند. با استناد به روابط صحرایی، نفوذ دایک‌ها به داخل واحدهای دگرگونی (شکل ۲b)، رخداد ذوب بخشی و وجود باقی مانده‌های دیرگداز در متن گرانیتی (شکل ۲c)، گنیس‌های مورد اشاره، ارتوگنیس هستند.

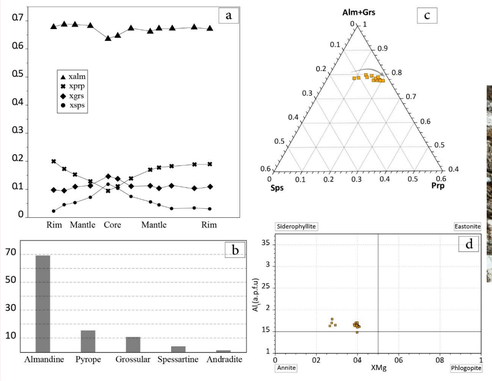


شکل ۲. تصاویر ماکروسکوپی از محدوده مورد مطالعه، a) قطع شدن واحدهای دگرگون شده توسط مجموعه‌ای از دایک ها با ترکیب گرانیتی تا دلریتی، b) تزریق دایک گرانیتی میان مجموعه میکاشیستی، c) نفوذ زبانه گرانیتی داخل میکاشیست و حضور باقی مانده دیرگداز (سورمیکاسه) در متن گرانیتی، d) رخنمون میکاشیست واجد گارنت و کیانیت (محل نمونه برداری نمونه ks.71).

- مجموعهٔ کانیایی پیک دگرگونی میکاشیست‌های محدوده بلوک تنبور: Qz + Pl + Bt + Ph ± Grt ± Ky + Rt
- رخداد اوج دگرگونی تحت شرایط نسبتاً فشار بالا در حدود رخسارهٔ آمفیبولیتی
- دگرگونی قهقرایی نمونه‌ها، با رشد سریسیت و کلریت درحواشی و میان ترک‌های دانه‌های گارنت، جایگزینی کامل و یا بخشی فلدسپارها و کیانیت‌ها با سریسیت و رشد روتیل در اطراف ایلمنیت مشخص می‌شود (شکل ۳).
- دانه‌های گارنت در بیشتر موارد عاری از میان بار هستند و در مواردی حاوی میان بارهایی ازکوارتز، ایلمنیت و روتیل می‌باشند که آرایش حلزونی و یا S ـ شکل (شکل ۳) یافته‌اند. الگوی میانبارهای موجود، معرّف شرایط رشد همزمان با تکتونیک است.
- رشد بیوتیت و کلریت ثانوی و جایگزینی ناقص آن‌ها در امتداد ترک‌های گارنت‌های همزمان با تکتونیک دال بر رخداد دگرگونی قهقرایی پس از رشد گارنت و وقوع دگرشکلی مورد بحث، از حدود بالای رخسارهٔ آمفیبولیتی تا شیست سبز (LP-LT) است.



شکل ۳. تصویر میکروسکوپی از نمونه ks.71، گارنت همزمان با تکتونیک و مجموعه فازهای مرتبط با پیک دگرگونی (به انضمام میان بار روتیل در گارنت)



شکل ۴. a) زونینگ نرمال گارنت در نمونه ks.71 ، b) توزیع میانگین ترکیب گارنت در نمونه های گارنت میکاشیست بلوک تنبور، c) نمایش تغییر ترکیب شیمیایی گارنت از هسته به حاشیه بر روی نمودار مثلثی، d) ترکیب شیمیایی بیوتیت

شیمی گارنت و بیوتیت

- دانه‌های گارنت در نمونهks.71، از نوع آلماندن هستند (Alm63-74؛ شکل ۴b) و پایین‌ترین مقدار را برای عضو انتهایی گروسولار (Grs8-14) نشان می‌دهند. بر اساس داده‌های آنالیز EPMA (شکل ۴a)، نمونه حاوی گارنت‌هایی با منطقه بندی نرمال است که حاکی از رشد گارنت طی افزایش دما (دگرگونی پیشرونده) می‌باشد (شکل های ۴a, c). این نوع منطقه بندی نتیجه‌ای از تبلور تفریقی (Hollister, 1966; Atherton, 1968) و یا تبلور تفریقی تحت تأثیر تغییر شرایط فیزیکی (Kretz, 1973; Loomis and Nimick, 1982) تفسیر شده است.
- بیوتیت در نمونه مورد مطالعه، در شکل ثانویه حاصل دگرگونی قهقرایی گارنت و فنژیت است. بر اساس داده های EPMA، مقدار عدد منیزیم برای بیوتیت ها $[Mg^{+2}/(Mg^{+2}+Fe^{+2})]$ با متوسط ۰/۳۸ درگستره ای از ۰/۲۷ تا ۰/۴۱ متغیر است (شکل ۴d) و ترکیب آن ها متمایل به قطب آنیت است. مقدار Al_t و Ti به ترتیب درگستره ۱/۷-۱/۵ و ۰/۱۲-۰/۰۷ متغیر هستند.

نتیجه گیری

ترمومتری تبادل کاتیونی Fe-Mg میان بیوتیت و گارنت

دماسنجی مبتنی بر تبادل کاتیونی Fe-Mg میان بیوتیت و گارنت (e.g., Kretz, 1959; Frost, 1962; Dahl, 1969; Lyons and Morse, 1970; Dallmeyer, 1974) مورد استفاده قرارگرفته است.

دماسنج گارنت - بیوتیت در نمونه های گارنت واجد زونینگ، با درنظرگرفتن وجود تعادل میان گارنت و بیوتیت زمینه، به جهت تخمین دمای اوج دگرگونی مورد استفاده قرار می‌گیرد (e.g., Gulbin, 2012).

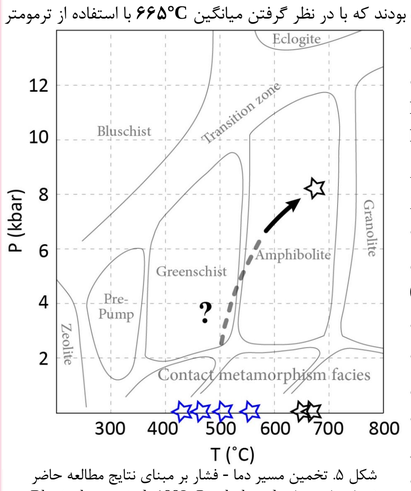
فشارسنج GASP (Garnet-Aluminosilicate-Plagioclase-Quartz)

در این مطالعه، ژئوبارومتر GASP در تلفیق با ترمومترهای گارنت – بیوتیت با کالیبراسیون‌های متفاوت (e.g., Bhattacharya et al. 1992) استفاده شده است. شایان ذکر است که ترمومتری تبادل کاتیونی مستقل از بارومتر GASP به دست آمده‌اند، که با نتایج ترمومتری همزمان با بارومتری سازگار هستند. بر مبنای استفاده از بارومتر GASP شرایط اوج دگرگونی تحت فشار ۸/۲۴ kbar رخ داده است.

نتایج ژئوترموبارومتری نمونه ks.71 (T76: Thompson 1976; FS78: Ferry and Spear 1978; HS82: Hodges and Spear 1982; PL83: Perchuk and Lavrenteva 1983; B92: Bhattacharya et al., 1992).

Conventional Thermobarometery Garnet-Biotite (Bhattacharya et al., 1992) + GASP		Garnet-Biotite Conventional Thermometry (°C)					
T (°C)	P (kbar)	B92 (HW)	B92 (GS)	FS78	HS82	T76	PL83
673	**8.24**	**672**	**681**	**721**	**760**	**724**	**659**

به جهت محدود نمودن تنوع دمایی حاصل، از محدودیت‌ها و مفروضات کالیبراسیون استفاده شد. در مجموع کالیبراسیون‌های Bhattacharya et al. (1992) نوع HW و Perchuk and Lavrenteva (1983) به شرایط ژئوشیمیایی و آنالیز نمونه ks.71 نزدیک‌تر هستند. لذا دماهای حاصل از این دو ترمومتر (**۶۷۲°C و ۶۵۹°C**) برای نمونه مورد نظر از اعتبار بیشتری برخوردار هستند. پیش از این براساس مطالعه انجام شده بر روی متاپلیت‌های بلوک تنبور (Moazzen, 2004)، دماسنج کلریت - کلریتوئید دماهای ۵۱۵°C و ۵۵۷°C و ترمومتر کلریت - گارنت دماهای ۴۴۲°C و ۴۶۰°C را پیشنهاد داده بودند که با در نظر گرفتن میانگین **۶۶۵°C** با استفاده از ترمومتر گارنت - بیوتیت (مطالعه حاضر)، به ترتیب تفاوت ۱۳۰°C~ ۲۱۵°C~ را نشان می‌دهند. دماهای حاصل از کالیبراسیون‌های Bhattacharya et al. (1992) و Perchuk and Lavrenteva (1983) به همراه نتیجه دماسنجی توأم با فشار سنجیGASP (۶۷۳°C ، ۸/۲۴kbar) حاکی از وقوع اوج دگرگونی ناحیه ای HT/MT-MP تحت درجات متوسط رخساره آمفیبولیتی است (شکل ۵). دماهای استخراج شده توسط مؤذن (2004) اشاره به درجات پایین دگرگونی در حدود رخساره شیست سبز دارد که با استناد به ماهیت نمونه مورد مطالعه مربوط به پیشروی دگرگونی طی مراحل اولیه است. بدین ترتیب، در مورد متاپلیت‌های بلوک تنبور، مسیر دما – فشار دگرگونی ساعتگرد برای این مجموعه پیشنهاد می‌شود (شکل ۵).



شکل ۵. تخمین مسیر دما - فشار بر مبنای نتایج مطالعه حاضر (ستاره‌های سیاه: Bhattacharya et al.,1992; Perchuk and Lavrenteva, 1983 و مطالعه انجام شده توسط Moazzen, 2004 (ستاره‌های آبی)

منابع

Atherton, M. (1968). The variation in garnet, biotite and chlorite composition in medium grade pelitic rocks from the Dalradian, Scotland, with particular reference to the zonation in garnet. Contributions to Mineralogy and Petrology, 18, 347-371.
Bhattacharya, A., Mohanty, L., Maji, A., Sen, S., & Raith, M. (1992). Non-ideal mixing in the phlogopite-annite binary: constraints from experimental data on Mg–Fe partitioning and a reformulation of the biotite-garnet geothermometer. Contributions to Mineralogy and Petrology, 111(1), 87-93.
Dahl, O. (1969). Irregular distribution of iron and magnesium among coexisting biotite and garnet. Lithos, 311-22.
Dallmeyer, R. (1974). The role of crystal structure in controlling the partitioning of Mg and Fe2+ between coexisting garnet and biotite. Am. Mineralogist, 201–203.
Dimitrivic, M. (1973). Geology of Kerman region. Report No. 52/YU , Iranian Geological Survey. .
Ferry, J., & Spear, F. (1978). Experimental Calibration of the Partitioning of Fe and Mg between Biotite and Garnet,. Contrib. Mineral. Petrol., 66, 113–117.
Frost, M. (1962). Iron-magnesium distribution between co-existing garnet-biotite and garnet-hornblende. Geology, 427-438.
Gulbin, Y. (2012). Garnet–Biotite Geothermometer and Estimation of Crystallization Temperature of Zoned Garnets from Metapelites: I. Reconstruction of Thermal History of Porphyroblast Growth. Geology of Ore Deposits, 602–615.
Hodgea, K., & Spear, F. (1982). Geothermometry, geobarometry and the Al2SiO5 triple point at Mt. Moosilauke, New Hampshire. American Mineralogist, 67(11-12), 1118-1134.
Hollister, L. (1966). Garnet zoning: an interpretation based on the Rayleigh fractionation model. Science, 154(3757), 1647-1651. doi:10.1126/science.154.3757.1647
Kretz, R. (1959). Chemicz| study of garnet, biotite and hornblende from gneisses of south-western Quebec, with emphasis on distribution of elements in coexisting minerals. Geology, 371-402.
Kretz, R. (1973). Kinetics of the crystallization of garnet at two localities near Yellowknife. The Canadian Mineralogist, 12, 1-20.
Loomis, T., & Nimick, F. (1982). Equilibrium in Mn-Fe-Mg aluminous pelitic compositions and the equilib-rium growth of garnet. The Canadian Mineralogist, 20(3), 393-410.
Lyons, J., & Morse, S. (1970). Mg/Fe partitioning in garnet and biotite from some granitic, pelitic and calcic rocks. . American Mineralogist , 231-244.
Mijalkovic, N., & Saric, V. (1973). Exploration for ore deposits in Kerman region. Report No. YU/53, Geological Survey of Iran. .
Moazzen, M. (2004). Chlorite-Chloritoid-Garnet equilibria and geothermometry in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, southern Iran. Iranian Journal of Science & Technology, Transaction A., 28, 65-78.
Perchuk, L., & Lavernt'eva, I. (1983). Experimental investigation of exchange equilibria in the system cordierite-garnet-biotite. Kinetics and Equilibrium in Mineral Reactions, Advances in Physical Geochemistry., 199-239.
Thompson, A. (1976). Mineral reactions in pelitic rocks: II. Calculation of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations. American Journal of Science, 276, 401-454.
Tracy, R. (1982). Compositional zoning and inclusions in metamorphic minerals. . Geology.
Whitney, D., & Evans, B. (2010). Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals. Journal of American Mineralogist, 95, 185-187.
Wu, C., & Cheng, B. (2006). Valid garnet–biotite (GB) geothermometry and garnet–aluminum silicate–plagio clase–quartz (GASP) geobar ometry in metapelitic rocks. Lithos, 89, 1 – 23.