

دما-فشارسنجی سنگ‌های گابرویی منطقه رزق (افیولیت ملانژ جنوب بیرجند)

سید سعید محمدی^{۱*}، سون لین چانگ^۲، ملیحه نخعی^۴

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- گروه پژوهشی علوم زمین، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- انستیتو علوم زمین، آکادمیا سینیکا، تایپه، تایوان

۴- گروه مهندسی معدن، دانشکده عمران، معدن و شیمی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

ssmohammadi@birjand.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، شرایط دما و فشار تبلور گابروهای منطقه رزق در افیولیت ملانژ جنوب بیرجند با استفاده از دما-فشارسنجی پیروکسن‌ها بررسی شده است. گابروهای مورد مطالعه عمدتاً دارای بافت گرانولار بوده و از پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و مقادیری الیوین تشکیل شده‌اند. بر اساس نتایج تجزیه ریزکاو الکترونی، گستره ترکیبی پلاژیوکلازها بین $Ab_{6.78}/An_{93.07}$ تا $Ab_{9.29}/An_{90.48}$ تغییر نموده و از نوع آنورتیت هستند. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های مورد مطالعه، در محدوده پیروکسن‌های کلسیم-منیزیم-آهن دار است و دارای ترکیب اوزیت هستند. دمای تشکیل کلینوپیروکسن‌های مورد بررسی، ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد و فشار در زمان تبلور کلینوپیروکسن، ۵ تا ۶ کیلو بار تعیین گردید.

کلیدواژه‌ها: دما-فشارسنجی، کلینوپیروکسن، گابرو، رزق، افیولیت ملانژ جنوب بیرجند

Thermobarometry of gabbroic rocks from Razgh area (south of Birjand ophiolitic mélange)

Seyyed Saeid, Mohammadi^{1*}; Sun-Lin, Chung^{2,3}; Malihe, Nakhaei⁴

1-Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Earth Sciences Research Group, University of Birjand, Birjand, Iran
ssmohammadi@birjand.ac.ir

3-Institute of earth sciences, Academia Sinica, Taipei, Taiwan

4- Department of mining engineering, Faculty of civil, mining and chemistry, Birjand university of technology, Birjand, Iran

Abstract

In this study, the temperature and pressure conditions of crystallization of the Razgh gabbros in the South Birjand ophiolitic mélange were investigated using pyroxene thermobarometry. The studied gabbros are mainly characterized by a granular texture and are composed of plagioclase, clinopyroxene, and minor amounts of olivine. Based on electron microprobe analyses, the compositional range of plagioclase varies from $Ab_{6.78}-An_{93.07}$ to $Ab_{9.29}-An_{90.48}$, indicating an anorthitic composition. The chemical composition of the analyzed pyroxenes falls within the Ca-Mg-Fe pyroxene group and corresponds to augite. The crystallization temperature of the studied clinopyroxenes was determined to be between 1150 and 1200 °C, while the pressure at the time of clinopyroxene crystallization was estimated to be 5–6 kbar.

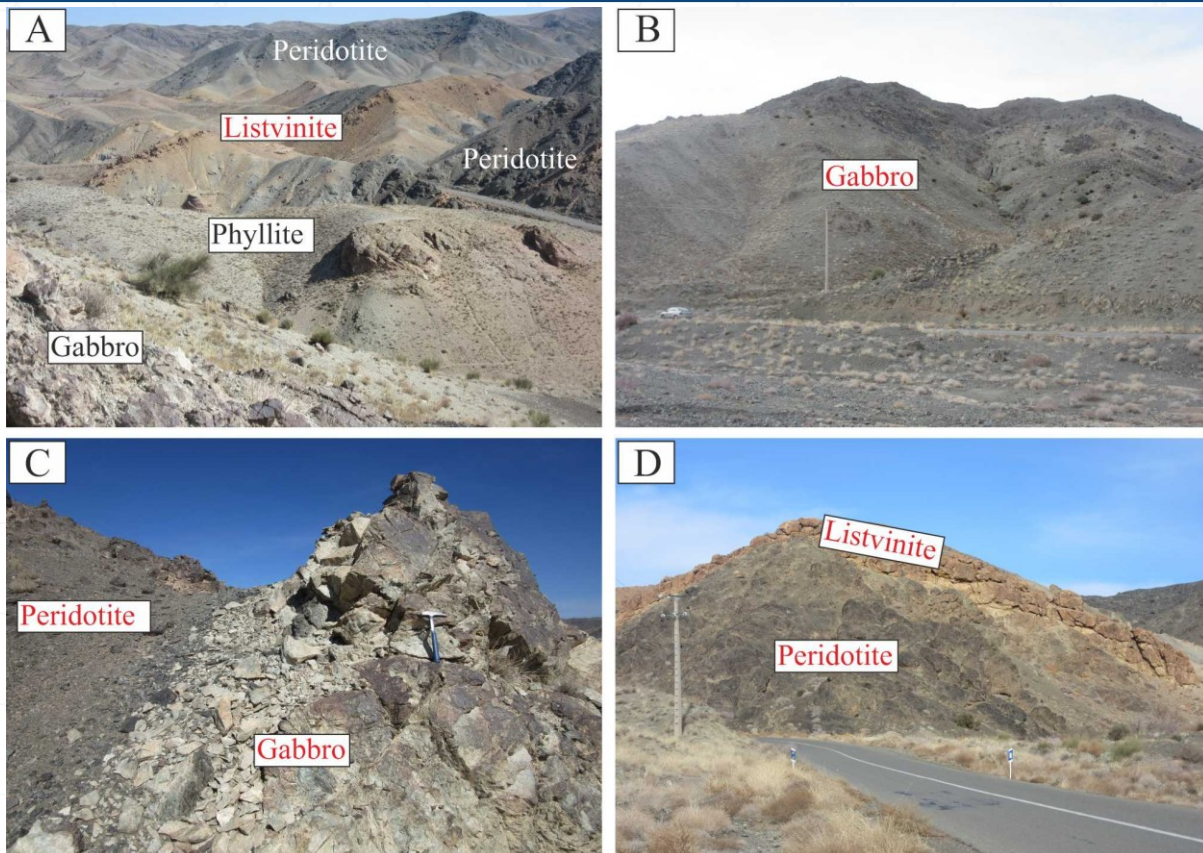
Keywords: Thermobarometry, Clinopyroxene, Gabbro, Razgh, South of Birjand ophiolitic mélange

مقدمه

منطقه مورد مطالعه در ۵۴ کیلومتری جنوب شرق بیرجند در بخش جنوب شرقی نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند (اوهانیان و طاطاوسیان، ۱۹۷۸) با امتداد شمال غرب-جنوب شرق از جنوب تا غرب روستای رزق رخنمون دارد. از دیدگاه تقسیم‌بندی ساختمانی ایران این منطقه در بخش شمالی زون زمین‌درز سیستان (Tirrul et al., 1983) قرار گرفته است. این زون بقایایی از یک باریکه اقیانوسی است که به‌عنوان یکی از سرشاخه‌های نئوتتیس مطرح بوده و قبل از ۸۶ میلیون سال پیش بسته شده است (Zarrinkoub et al., 2012). زون سیستان در نتیجه برخورد دو بلوک لوت و افغان تشکیل شده و با استفاده از روش‌های متفاوت سن-سنجی، زمان بسته شدن آن را مربوط به کرتاسه پایانی می‌دانند (Brocker et al., 2013; Angiboust et al., 2013; Zarrinkoub et al., 2012). در منطقه رزق، واحدهای مختلف مجموعه افیولیتی متشکل از پریدوتیت، گابرو، دیاباز، شیسست و فیلیت متعلق به کرتاسه فوقانی همراه برونزدهایی از لیستوینیت با روند کلی شمال غرب-جنوب شرق مشاهده می‌شود. کاتیون‌های شرکت‌کننده در ساختار کانی کلینوپیروکسن در تعادل با ماگمای میزبان می‌باشند و می‌تواند منعکس‌کننده منشأ ماگمای والد، تحولات پترولوژیکی، سری ماگمایی، شرایط دما-فشار و موقعیت تکتونوماگمایی ماگمای میزبان باشد (Morimoto et al., 1988; Nimis and Ulmer, 1998; Putirka, 2008; Cheng et al., 2020). این پژوهش با هدف بررسی شیمی کانی‌ها و استفاده از آن جهت تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی تبلور سنگ‌های گابرویی منطقه رزق انجام شده است.

زمین‌شناسی منطقه

منطقه رزق در بخش جنوب شرقی نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بیرجند (اوهانیان و طاطاوسیان، ۱۹۷۸) واقع شده است. واحدهای آمیزه افیولیتی با سن قبل از کرتاسه فوقانی تا کرتاسه فوقانی (اوهانیان و طاطاوسیان، ۱۹۷۸) شامل سنگ‌های اولترامافیک و مافیک به طور گسترده در منطقه جنوب بیرجند پراکنده هستند. سنگ‌های اولترامافیک (پریدوتیت‌ها) عمدتاً دارای ترکیب هارزبورژیت، لیزولیت و سرپانتینیت می‌باشند. سنگ‌های مافیک با ترکیب گابرو، دیاباز و بازالت (گاهی دارای ساخت بالشی) از مهمترین واحدهای سازنده آمیزه افیولیتی جنوب بیرجند هستند. در منطقه رزق در حدفاصل روستاهای رزق تا کلاته سلیمان، رخنمون گسترده‌ای از پریدوتیت و گابرو همراه فیلیت و رگه‌هایی از لیستوینیت رخنمون دارد (شکل ۱-۱A). پریدوتیت‌ها در بسیاری جاها فرآیند سرپانتینی شدن را متحمل شده و رگچه‌های کریزوتیل و آربست تشکیل شده است که بافت مشبک را در سنگ ایجاد کرده است. گابروها دارای ساختار توده‌ای بوده (شکل ۱-۱B) و به رنگ سبز مایل به خاکستری مشاهده می‌شوند (شکل ۱-۱B و C). بافت آن‌ها اغلب دانه‌ای بوده و در برخی نفاط با ریزتر شدن اندازه دانه‌ها به میکروگابرو و دیاباز متمایل شده است. مرز بین پریدوتیت و گابرو اغلب به صورت تدریجی بوده اما گاهی مرز تند بین آن‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱-۱C). گابروها در برخی نقاط رودنگیتی شده و به صورت عدسی‌های روشن رنگ (سفید مایل به سبز) رخنمون دارند. فلش‌های متعلق به کرتاسه فوقانی از دیگر واحدهای سنگی آمیزه رنگین جنوب بیرجند و منطقه مورد مطالعه هستند. این واحد عمدتاً از شیل‌های سبزرنگ، ماسه سنگ و فیلیت تشکیل شده است. در بعضی موارد، شیل‌ها شدیداً کربناتیزه می‌باشند. در منطقه رزق، فیلیت‌های سبز روشن در مجاورت گابرو و پریدوتیت قرار گرفته است (شکل ۱-۱A). لیستوینیت یکی دیگر از واحدهای سنگی است که در مناطق گسلی به صورت رگه‌ها و عدسی‌های نامنظم، رخنمون دارد. در منطقه مورد مطالعه، لیستوینیت به صورت رگه‌هایی با امتداد کلی شمال غرب-جنوب شرق تا شرقی-غربی با رنگ قهوه‌ای مایل به قرمز و زرد در امتداد گسل‌ها و درون پریدوتیت مشاهده می‌شود (شکل ۱-۱A و D) که حاوی کانی‌های مختلف از جمله کربنات‌ها (کلسیت، دولومیت، منیزیت)، کوارتز، کلسدوئن، اوپال، تالک، کلریت، سرپانتین و برخی کانی‌های فلزی می‌باشد.



شکل ۱- تصاویر صحرایی از واحدهای سنگی منطقه رزق؛ (A) نمای کلی از واحدهای سنگی منطقه (دید به شمال شرق)، (B) ساختار توده ای در گابرو (دید به جنوب غرب)، (C) مرز تند بین گابرو و پریدوتیت (دید به شمال غرب)، (D) وجود رگه لیستوینیت درون پریدوتیت (دید به شمال شرق).

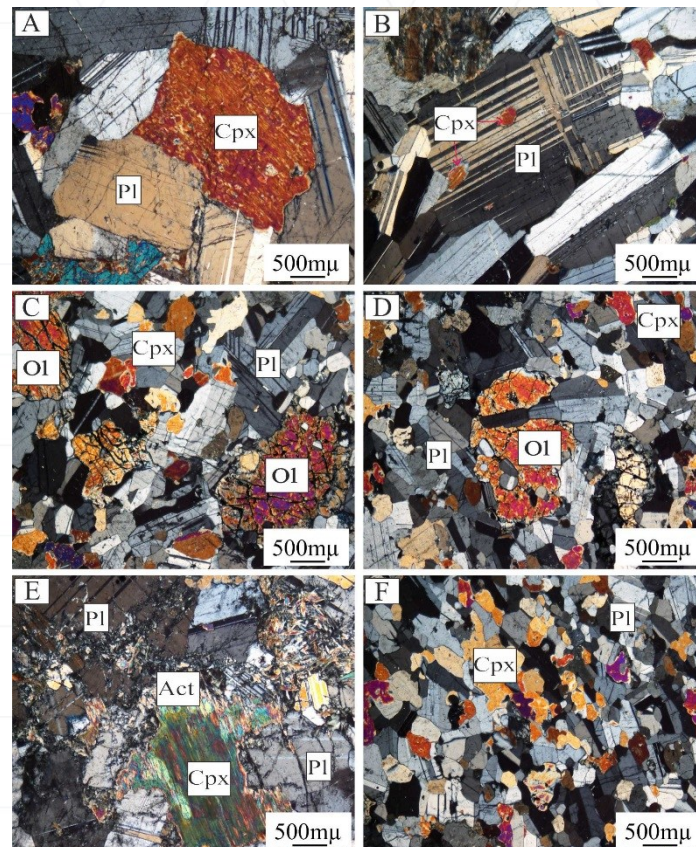
روش انجام پژوهش

برای انجام این پژوهش، طی پیمایش‌های صحرایی، از رخنمون‌های مناسب نمونه‌برداری انجام شد. سپس از نمونه‌های مناسب، مقطع نازک تهیه و مورد مطالعات سنگ‌نگاری قرار گرفت. به منظور بررسی شیمی کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در گابرو، مقاطع نازک صیقلی تهیه و پس از انجام مراحل آماده‌سازی، در انستیتو علوم زمین آکادمی سینیکا در شهر تایپه کشور تایوان مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه ریزپردازشی الکترونی کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن توسط دستگاه مدل JEOL EPMA JXA-8900R مجهز به چهار طیف‌سنج با طول موج انتشاری، با شتاب دهنده‌ای با ولتاژ ۱۵ کیلوولت و جریان پرتوی ۱۲ نانوآمپر انجام شد. پس از آن، نمودارهای لازم با استفاده از نرم افزار Minpet ترسیم گردید.

سنگ‌نگاری

گابروهای منطقه رزق در رخنمون‌های صحرایی و نمونه دستی به صورت درشت بلور و با رنگ سبز مایل به خاکستری مشاهده می‌شوند. مطالعه سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که بافت غالب در گابرو بافت گرانولار است (شکل ۲-A). اما در برخی نمونه‌ها به دلیل وجود بلورهای ریز کلینوپیروکسن درون پلاژیوکلازها، بافت پوئیکلیتیک نیز مشاهده می‌شود (شکل ۲-B). کانی‌های سازنده گابرو شامل پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و الیون هستند. پلاژیوکلاز به صورت بلورهای درشت بی شکل تا نیمه شکل دار (شکل ۲-A و B) عموماً با ماکل پلی سنتتیک، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. این کانی عموماً سالم بوده اما در برخی نمونه‌ها شواهدی از دگرسانی به سریسیت و اپیدوت نشان می‌دهد. بلورهای درشت کلینوپیروکسن به صورت بی‌شکل (شکل ۲-A)، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده است. در برخی نمونه‌ها، الیون به صورت بلورهای بی‌شکل و دارای شکستگی فراوان به میزان حدود ۱۰ درصد وجود دارد (شکل ۲-C و D). درون برخی الیون‌ها،

ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز به حالت پوئیکلیتیک دیده می‌شود (شکل ۲- D). برخی بلورهای پلاژیوکلاز به صورت متقاطع با الیوین رشد کرده‌اند (شکل ۲- D) که بیانگر تبلور همزمان آن‌ها می‌باشد. در برخی نقاط، به دلیل رخداد دگرسانی، پیروکسن‌ها به اکتینولیت تبدیل است که به صورت بلورهای رشته‌ای در کناره‌های پیروکسن وجود دارد (شکل ۲- E). به دلیل تشکیل کانی‌های دگرسانی مانند سیریسیت، اپیدوت و اکتینولیت، برخی نمونه‌ها را می‌توان متاگابرو نامید. در برخی قسمت‌ها کانی‌های تشکیل دهنده سنگ، ریزبلور است که به میکروگابرو و دیاباز متمایل شده است (شکل ۲- F).



شکل ۲- A) بافت دانه‌ای در گابرو، B) حضور ادخال‌های پیروکسن درون پلاژیوکلاز، C و D) حضور بلورهای الیوین در گابرو، E) تبدیل پیروکسن به آمفیبول (اکتینولیت) و دگرسانی پلاژیوکلاز به سیریسیت و اپیدوت، F) بافت ریزدانه در میکروگابرو. نور در شکل‌ها XPL است. علائم اختصاری کانی‌ها برگرفته از (Whitney and Evans, 2010).

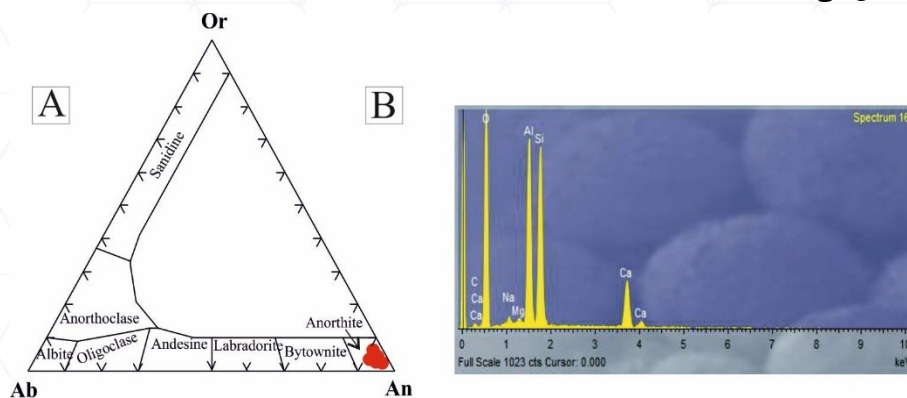
شیمی کانی‌ها

برای پی‌بردن به ترکیب شیمیایی کانی‌ها و شرایط انجماد ماگما، کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در سنگ‌های گابرویی منطقه رزق مورد تجزیه ریزکاو الکترونی قرار گرفت.

شیمی پلاژیوکلاز

ترکیب پلاژیوکلاز در سنگ‌های گابرویی مورد مطالعه از نوع غنی از کلسیم می‌باشد به طوریکه گستره ترکیبی پلاژیوکلازها در گابروهای رزق بین $An_{93/07}$ ، $Ab_{66/78}$ تا $An_{90/48}$ ، $Ab_{9/29}$ تغییر نموده و از نوع آنورتیت هستند (شکل ۳- A). تصویر برگزیده از آنالیزهای کیفی انجام‌شده بر روی کانی پلاژیوکلاز به روش EDS در شکل ۳- B نشان داده شده است. همانگونه که

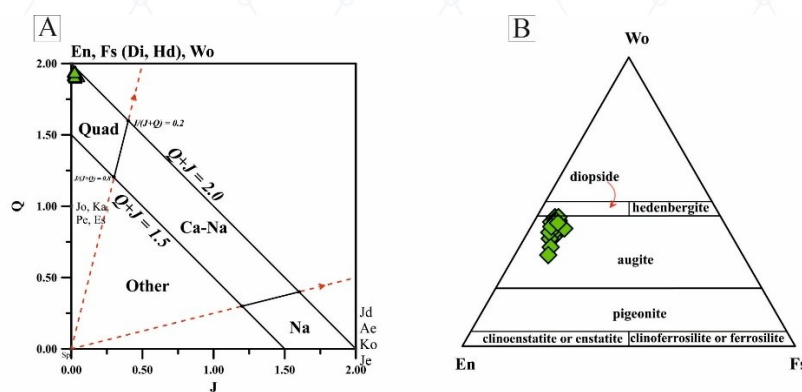
مشاهده می‌شود در ترکیب پلاژیوکلازهای بررسی شده، پیک Ca در مقایسه با Na ، از شدت بالایی برخوردار است که بیانگر ترکیب بازیک برای آن می‌باشد.



شکل ۳- (A) ترکیب پلاژیوکلازهای بررسی شده در نمودار تقسیم‌بندی فلدسپارها (Deer et al., 1991)، (B) تصویر برگزیده از آنالیزهای کیفی انجام‌شده به روش EDS در کانی پلاژیوکلاز.

شیمی پیروکسن

بر طبق نمودار Q-J پیروکسن‌ها به چهار گروه شامل پیروکسن‌های سدیک، پیروکسن‌های سدیک-کلسیک، پیروکسن‌های کلسیم - منیزیم- آهن‌دار (Quad) و پیروکسن‌های دیگر تقسیم می‌شوند (Morimoto et al., 1988; Morimoto et al., 1989). نمودار Q-J بر اساس دو شاخص $Q = Ca + Mg + Fe^{2+}$ و $J = 2Na$ معرفی شده است. ترکیب شیمیایی پیروکسن‌های مورد مطالعه بر طبق این نمودار، در محدوده پیروکسن‌های کلسیم- منیزیم- آهن‌دار (Quad) قرار می‌گیرند (شکل ۵- A). برای شناسایی نوع پیروکسن، از نمودار مثلثی Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1988) استفاده شد. در این نمودار، کینوپيروکسن‌های مورد مطالعه دارای ترکیب اوژیت هستند (شکل ۵- B).

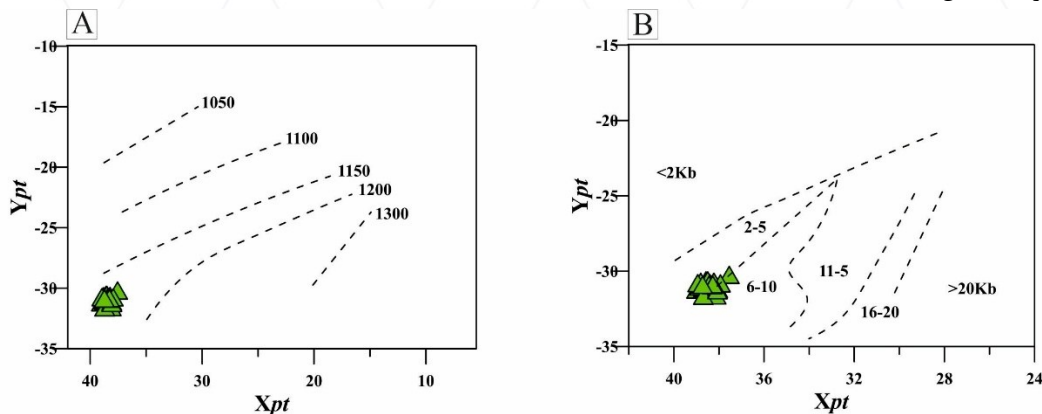


شکل ۵- (A) موقعیت کینوپيروکسن‌های گابرو رزق در نمودار Q-J (Morimoto et al., 1988; Morimoto et al., 1989)، (B) موقعیت کینوپيروکسن‌های گابرو رزق در نمودار نامگذاری پیروکسن‌ها (Morimoto et al., 1988).

دما-فشارسنجی

با استفاده از ترکیب شیمیایی پیروکسن‌ها می‌توان دما و فشار تشکیل سنگ‌های در بر دارنده آنها را تخمین زد. برای بررسی دمای تشکیل پیروکسن‌ها روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. در یکی از روش‌ها، تخمین دما بر اساس محاسبه دو شاخص YPT و XPT با کمک داده‌های آنالیز نقطه‌ای انجام می‌شود (Soesoo, 1997). بر اساس این روش، دمای تشکیل کینوپيروکسن‌های مورد بررسی، ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد تعیین گردید (شکل ۶- A). ارزیابی فشار حاکم بر تشکیل

سنگ‌های دارای پیروکسن از روش‌های متعددی امکان‌پذیر است. در روش (Soesoo, 1997) که لازمه تخمین فشار با استفاده از تعیین دو شاخص XPT و YPT است، فشار محاسبه شده در زمان تبلور کلینوپیروکسن در گابروهای رزق، ۵ تا ۶ کیلو بار تعیین گردید (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲ تعیین دمای تبلور پیروکسن با استفاده از نمودار YPT در مقابل XPT (B) تعیین فشار تبلور پیروکسن در گابروهای رزق با استفاده از نمودار YPT در مقابل XPT (Soesoo, 1997).

نتیجه‌گیری

در حفاصل روستاهای رزق تا کلاته سلیمان در جنوب شرق بیرجند، رخنمون گسترده‌ای از پریدوتیت و گابرو همراه فیلیت و رگه‌هایی از لیستونیت رخنمون دارد. پریدوتیت‌ها در بسیاری جاها فرآیند سرپانتینی شدن را متحمل شده و رگچه‌های کریزوتیل و آزبست تشکیل شده است که بافت مشبک را در سنگ ایجاد کرده است. گابروها دارای ساختار توده‌ای بوده و به رنگ سبز مایل به خاکستری مشاهده می‌شوند. بافت آن‌ها اغلب دانه‌ای بوده و در برخی نفاط با ریزتر شدن اندازه دانه‌ها به میکروگابرو و دیاباز متمایل شده است. مرز بین پریدوتیت و گابرو اغلب به صورت تدریجی بوده اما گاهی مرز تند بین آن‌ها مشاهده می‌شود. گابروها در برخی نقاط رودنگیتی شده و به صورت عدسی‌های روشن رنگ (سفید مایل به سبز) رخنمون دارند. در برخی نقاط، به دلیل رخداد دگرسانی، پیروکسن‌ها به اکتینولیت تبدیل است که به صورت بلورهای رشته‌ای در کناره‌های پیروکسن وجود دارد. در برخی قسمت‌ها کانی‌های تشکیل دهنده سنگ، ریزبلور است که به میکروگابرو و دیاباز متمایل شده است.

مراجع

اوهانیان، ت، طاطاوسی، ش، ۱۹۷۸، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند، ورقه ۷۸۵۵، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Angiboust, S., Agard, P., De Hoog, J.C.M., Omrani, J. and Plunder, A., 2013. Insights on deep, accretionary subduction processes from the Sistan ophiolitic "melange" (Eastern Iran). *Lithos*, 156–159:139–158.

Brocker, M., Fotoohi Rad, Gh.R., Burgess, R., Theunissen, S., Paderin, I., Rodionov, N. and Salimi, Z., 2013. New age constraints for the geodynamic evolution of the Sistan Suture Zone, eastern Iran. *Lithos*, 170–171:17–34.

Cheng, Zh., Guo, Zh., Dingwell, B., Li, X., Zhan, M., Liu, J., Zhao, W., and Lei, M. 2020 "Geochemistry and petrogenesis of the post-collisional high-K calc-alkaline magmatic rocks in Tengchong, SE Tibet", *Journal of Asian Earth Sciences* 193, 104309.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1991. An introduction to the rock forming minerals. Longman Scientific and Technical, 528 P.

Johannes, W., 1978, Melting of plagioclase in the system Ab-An-H₂O at P H₂O = 5Kbar an equilibrium problem". *Contributions to Mineralogy and Petrology* 66, 295-303.

- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K., Gottardi, G., 1988. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52, 535-550.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A.K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K., Gottardi, G., 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Journal* 14(5), 198-221.
- Morimoto, N., Fabrise, J., Ferguson, A., Ginzburg, I.V., Ross, M., Seifert, F.A., Zussman, J., Akoi, K.I., Gottardi, G. (1988) Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Magazine* 52: 535 – 55.
- Putirka, K. D. 2008. "Thermometers and Barometers for Volcanic Systems", *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 69, 61-120.
- Soesoo, A., 1997. A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation P/T estimations., *Geological Society of Sweden (Geologiska Föreningen)* 119, 55-60.
- Tirrul, R. ., Bell, L.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134-150.
- Whitney, D., Evans, B., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185–187.
- Zarrinkoub, M.H., Pang, K.N., Chung, S.L., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y. and Lee, H.Y., 2012. Zircon U-Pb and geochemical constraints on the origin of the Birjand ophiolite Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 154: 392-405.