

دما-فشارسنجی سنگ‌های بازالتی سلطان میدان، شمال شاهرود، شمال شرق ایران

قاسم قربانی^{۱*}، محمود صادقیان^۲، هادی شفایی مقدم^۱

۱- دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران؛ ghorbani@du.ac.ir

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده

منطقه مورد مطالعه در حدود ۷۰ کیلومتری شمال شاهرود و در زون ساختاری البرز شرقی واقع شده است. چندین رخمون از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی سیلورین (سازند سلطان میدان) در این منطقه وجود دارند که بازگو کننده تاریخچه‌ای از اقیانوس پالئوتتیس می‌باشند. سنگ‌های آتشفشانی را گدازه‌های بازالتی تا آندزیت بازالتی و سنگ‌های پیروکلاستیکی وابسته تشکیل می‌دهند. اجزاء اصلی کانی‌شناسی این سنگ‌ها متشکل از اولیوین، پیروکسن، پلاژیوکلاز و کانی‌های اوپک می‌باشند. بر اساس شواهد مختلف ژئوشیمیایی، سنگ‌های بازالتی دارای سری آلکالن - ساب آلکالن هستند. مقادیر بالای Zr، Ti و $Zr/Y (>4)$ و نسبت‌های عناصر Zr-Ti-Y سازگار با موقعیت درون صفحه‌ای بازالت‌های سلطان میدان هستند. بازالت‌های سیلورین سلطان میدان در داخل ریف‌های درون قاره‌ای تشکیل شده و بر اساس نمودارهای تمایز تکتونیکی مختلف نیز در جایگاه‌های درون صفحه‌ای پلات می‌شوند و از گوشته لیتوسفری غنی شده زیر قاره‌ای سرچشمه گرفته‌اند. دما-فشارسنجی‌های انجام گرفته در این سنگ‌ها بیانگر دماهای توقف تبادل و تعادل نهایی کانی‌های پیروکسن در دماهای ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۲ تا ۵ کیلو بار (معادل با عمق ۷ تا ۱۸ کیلومتری پوسته) برآورد می‌شود.

کلیدواژه‌ها: بازالت، پیروکسن، ژئوترمو بارومتری، خوش ییلاق، پالئوتتیس، شمال ایران

Geothermobarometry of basaltic rocks from Soltan Maidan, N Shahrood, NE Iran

Ghasem Ghorbani¹; Mahmoud Sadeghian²; Hadi Shafaii Moghadam¹

¹ School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran, ghorbani@du.ac.ir

² Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Abstract

The studied area is located about 70 km in north of Shahrood, NE Iran, and in the east of Alborz structural zone. There are several outcrop of Silurian volcano-sedimentary rocks (Soltan Maidan Formation, SMF) in this area, that provide a record of the history of the Paleo-Tethys ocean. The volcanic rocks consist of basalt to basaltic andesite lavas and associated pyroclastic rocks. The main constituents of the rocks are olivine, plagioclase, pyroxene, and opaque minerals. According to different geochemical evidence, basaltic rocks have alkaline-subalkaline nature. The high Ti and Zr, and high $Zr/Y (>4)$ values and Zr-Ti-Y elemental ratios are consistent with a within-plate setting for Soltan maidan basalts. Silurian Soltan Maidan basalts occur within the intracontinental rift, and on the basis of different tectonic discrimination diagrams, also they plot in within-plate setting and generated from enriched sub-continental lithospheric mantle. Geothermobarometry of pyroxenes suggest crystallization equilibrium temperatures at 1150-1200°C and pressures between 2 to 5 kbar (depths of 7 to 18 km of the crust).

Keywords: Basalt, Pyroxene, Geothermobarometry, Khosh Yeilagh, Paleo-Tethys, Northern Iran.

۱- مقدمه

منطقه مورد مطالعه در شمال شاهرود و در زون ساختاری البرز مرکزی واقع است (شکل ۱). حجم زیادی از سنگ‌های بازالتی تحت عنوان بازالت‌های سلطان میدان طی فعالیت ماگمایی پالئوزوئیک پیشین ایران واقع در پهنه البرز شرقی و در شمال شرق شاهرود رخنمون دارد و این مجموعه روی سازند قلی به سن اردوئین پایانی و در زیر سازند پادها به سن دونین پیشین قرار دارد (شکل ۱). ترکیب سنگ‌شناسی آنها متشکل از بازالت، آندزیت بازالت و آندزیت است و ترکیب ژئوشیمیایی آنها نشان دهنده سری ماگمایی آلکالن تا سری انتقالی است و از منشأ گوشته لیتوسفری زیر قاره‌ای سرچشمه گرفته است (قربانی، ۲۰۱۹؛ درخشی و همکاران، ۲۰۱۴). پژوهشگران چندی از جنبه پترولوژی به مطالعه سنگ‌های آتشفشانی این نوار ماگمایی پرداخته‌اند، اما در خصوص شرایط ترمودینامیکی آنها کمتر مطالعه شده است. در این پژوهش بر اساس داده‌های جدید، شرایط ترمودینامیکی آنها از طریق شیمی کانی‌های پیروکسن مورد بررسی و مطالعه قرار خواهند گرفت. تجربیات محققین مختلف نشان داده است که ترکیب شیمیایی پیروکسن، رابطه مستقیمی با فشار و درجه حرارت تبلور آنها دارد و از اینرو می‌توان برای محاسبات ژئوترموبارومتری استفاده نمود (Soesoo, 1997).

۲- مواد و روش‌ها

پس از تهیه مقاطع نازک صیقلی و مطالعات سنگ‌نگاری، برای بررسی کانی‌شناسی دقیق سنگ‌های بازالتی مورد مطالعه به منظور استفاده جهت تعیین دما-فشارسنجی، دو نمونه از مقاطع نازک صیقلی از سنگ‌های بازالتی مورد مطالعه با دستگاه ریزگمانه الکترونی در کشور یونان مورد آنالیز قرار گرفته‌اند. محاسبه کاتیون‌ها و فرمول ساختاری کانی‌های پیروکسن بر اساس ۶ اکسیژن انجام گرفته است.

۳- بحث

منطقه مورد مطالعه بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ خوش ییلاق (اشتامفلی و همکاران، ۲۰۰۴) می‌باشد و در حدود ۶۰ کیلومتری شمال شاهرود واقع شده است. سنگ‌های مورد مطالعه سازند سلطان میدان در صحرا به رنگ سبز تیره و با راستای شمال شرق- جنوب غرب دارای گسترش زیادی (شکل‌های ۱ و ۲) در منطقه پیرامون روستای خوش ییلاق داشته و به صورت گدازه و معادل‌های پیروکلاستیکی آنها رخنمون دارند و از نظر پتروگرافی دارای ترکیب اولیوین بازالت، بازالت، آندزیت بازالت و آندزیت و از کانی‌های اصلی اولیوین، پیروکسن و پلاژیوکلاز، کانی‌های فرعی آپاتیت و کانی‌های اوپک و کانی‌های دگرسانی کلسیت، کانی‌های رسی، زئولیت و کلریت تشکیل شده‌اند. بافت غالب آنها پورفیریک، حفره‌ای، اینترگرانولار تا اینترسرتال، بادامکی، و گلومروپورفیریک هستند (شکل ۳). در بخش‌هایی از سازند سلطان میدان لایه‌هایی از کنگلومرای با قطعات مختلف گرانیتی، بازالتی و ماسه‌سنگی وجود دارد که عمده قطعات آن را قله‌های گرانیتی گردشده و در اندازه‌های چند سانتی‌متر تا حد چند ده سانتی‌متر و به رنگ صورتی است که به علت وجود کانی‌های ارتوکلاز صورتی است. کانی‌های عمده این سنگ‌ها را ارتوکلاز و کوارتز تشکیل می‌دهند. دیگر قطعات تشکیل دهنده این کنگلومرا را قله‌های بازالتی و ماسه‌سنگی تشکیل می‌دهند. قطعات گرانیتی موجود در کنگلومرای سازند سلطان میدان دانه‌درشت تا دانه‌متوسط بوده و به جهت رنگ صورتی و گردشگی خیلی خوب جلب توجه نموده و در صحرا به سادگی قابل تشخیص بوده و به لحاظ ماهیت و شرایط تشکیل بسیار حائز اهمیت می‌باشند. کنگلومرای مشابهی همچنین در قاعده‌ی سازند پادها نیز وجود دارد و حاوی قطعات گرانیتوئیدی فراوانی می‌باشد. اندازه این قطعات گرانیتی نیز تا حد چند ده سانتی‌متر و تا متر نیز می‌رسد. واحد کنگلومرای حاوی قطعات درشت صورتی و سفید رنگ گرانیتوئیدی را در بسیاری از رخنمون‌های مجموعه بازالتی سلطان میدان به عنوان یک لایه کلیدی ذکر کرده‌اند.

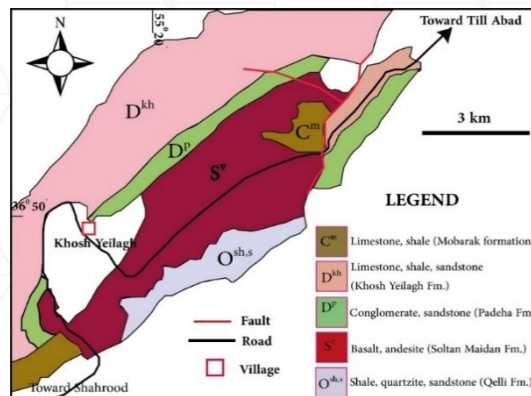
همچنانکه اشاره شد سنگ‌های مورد مطالعه شامل سنگ‌های بازالتی و آندزیت بازالتی و از کانی‌های اصلی پیروکسن و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. کلینوپيروكسن‌های مورد مطالعه در نمودار مرسوم تقسیم‌بندی (Morimoto, 1988) در گستره‌ی پیروکسن‌های کلسیک قرار می‌گیرند نمودار فت کومولایی هستند و از نوع اوژیت و دیوپسید هستند. ویژگی‌های ژئوشیمیایی کلینوپيروكسن‌های اولیه برای تعیین ماهیت ماگمایی بیشتر سنگ‌های بازیک قابل استفاده هستند و همچنین به خوبی معین شده است که ترکیب کلینوپيروكسن بر اساس شیمی گدازه‌های میزبان‌شان و همچنین عمق و درجه حرارت تبلور تغییر می‌کند (Leterrier et al., 1982; Soesoo, 1997). در نمودار Al در مقابل $Ti+Cr+Na$ (Berger et al., 2005) پیروکسن‌های مورد مطالعه به جز دو نمونه در محدوده پیروکسن‌های آذرین قرار می‌گیرند (شکل ۴). توزیع عناصر کمیاب (Al و Ti) در پیروکسن توسط دو فاکتور رشد پیروکسن (نرخ سردشدن) و تغییر ترکیب مذاب توسط فرایند تبلور-تفریق کنترل می‌شود (Hammer, 2006). به طور کلی تغییرات میزان Al پیروکسن به فوگاسیته‌ی اکسیژن حساس نیست، اما نسبت Ti/Al برای همه پیروکسن‌های تشکیل شده در نرخ سردشدگی معین، به طور معکوس با fO_2 منطبق می‌شوند (Hammer, 2006). در حالت عدم اشباع از پلاژیوکلاز، نسبت Ti/Al پیروکسن عمدتاً توسط ترکیب مذاب و بنابر این مدال و ترکیب اکسیدهای Fe-Ti در حال تبلور کنترل می‌شود. حتی اگر تیتان اوژیت در حال تشکیل در شرایط اکسیدان باشد نسبتاً از Ti فقیر است و مذاب در مقایسه با شرایط متوسط یا احیاء، از Ti تهی می‌شود، تا جایی که دیگر تیتانومگنتیتی متبلور نمی‌شود. کنترل تیتانومگنتیت بر روی میزان Ti مذاب، منجر به پیروکسن‌های با نسبت‌های Ti/Al بین یک چهارم تا یک هشتم می‌شود و تبلور پلاژیوکلاز اثر معکوس بر روی نسبت Ti/Al پیروکسن دارد، زیرا مقدار Al مذاب را تهی می‌نماید (Hammer, 2006). در نمودار Ti در مقابل Al (Hammer, 2006) نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو میزان یک دوم تا یک هشتم قرار می‌گیرند و این مسئله نشان می‌دهد که تیتانومگنتیت تا حدودی روی مقدار Ti مذاب تأثیر گذاشته و منجر به تشکیل پیروکسن‌های با نسبت Ti/Al نسبتاً پایین گردیده است. بلورهای پیروکسن با نسبت بالای Ti/Al در محدوده یک دوم قرار می‌گیرند و به این معنی است که مقدار پلاژیوکلاز فراوان است (Hammer, 2006). بنابر این، نسبت Ti/Al تقریباً پایین در کلینوپيروكسن‌های مورد مطالعه نشانگر محیط تشکیل اکسیدان و عدم اشباع مذاب از پلاژیوکلاز می‌باشد. همچنین در نمودار $Na+Al^{IV}$ در مقابل $Al^{VI}+2Ti+Cr$ (Schweitzer et al., 1978)، همه نمونه‌ها در بالای خط Fe^{3+} قرار می‌گیرند و بیانگر بالا بودن فوگاسیته‌ی اکسیژن هستند (شکل ۵). کلینوپيروكسن‌های سنگ‌های بازالتی مورد مطالعه در نمودار Y_{PT} در مقابل X_{PT} با استفاده از روش Soesoo (1997) به نظر می‌رسد در دماهای ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشار حدود ۲ تا ۵ کیلو بار (معادل با عمق ۷ تا ۱۸ کیلومتری پوسته) متبلور شده‌اند (شکل ۶). پارامترهای X_{PT} و Y_{PT} در این روش با استفاده از روابط زیر محاسبه شده‌اند:

$$X_{PT} = 0.446SiO_2 + 0.187TiO_2 - 0.404Al_2O_3 + 0.346FeO^t - 0.052MnO + 0.309MgO + 0.431CaO - 0.446Na_2O$$

$$Y_{PT} = -0.369SiO_2 + 0.535TiO_2 - 0.317Al_2O_3 + 0.323FeO^t + 0.235MnO - 0.516MgO - 0.167CaO - 0.153Na_2O$$

۴- نتیجه‌گیری

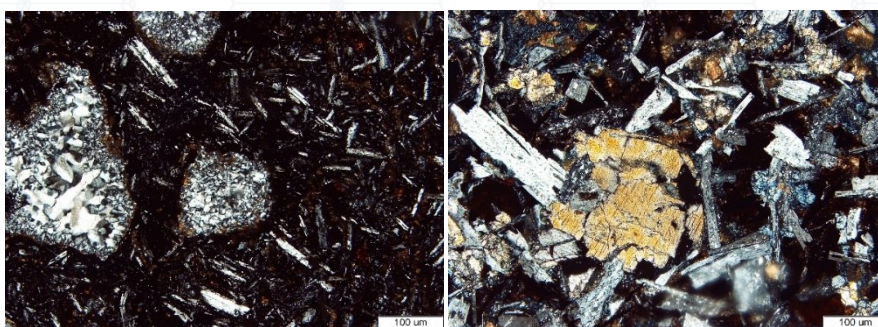
سنگ‌های بازالتی مورد مطالعه سلطان میدان واقع در شمال شاهرود عمدتاً دارای ماهیت آکالان - ساب‌کالک‌آکالان دارند و مقادیر پایین عناصر Al، Ti و Cr کلینوپيروكسن‌های سنگ‌های مورد مطالعه نشان‌دهنده آن است که این کانی‌ها در فشارهای متوسط تا پایین تشکیل شده‌اند. همچنین مقدار پایین نسبت Ti/Al در آنها نشان‌دهنده آن است که شرایط تشکیل‌شان اکسیدان بوده است. دما-فشارسنجی‌های انجام شده بر مبنای کانی‌های کلینوپيروكسن‌ها دماهای بین ۱۱۵۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد و فشارهای حدود ۲ تا ۵ کیلو بار را نشان می‌دهند.



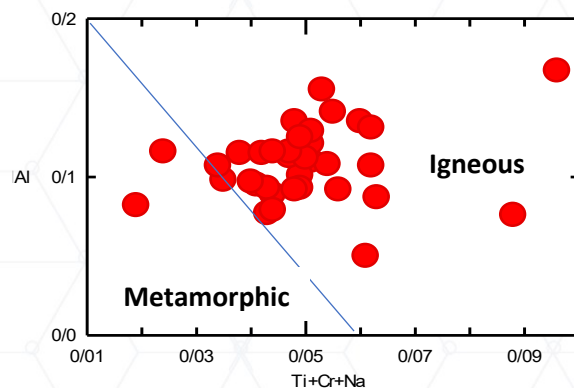
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه خوش‌بیلاق واقع در شمال شاهرود (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی خوش‌بیلاق با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، اشتامفلی و همکاران، ۲۰۰۴).



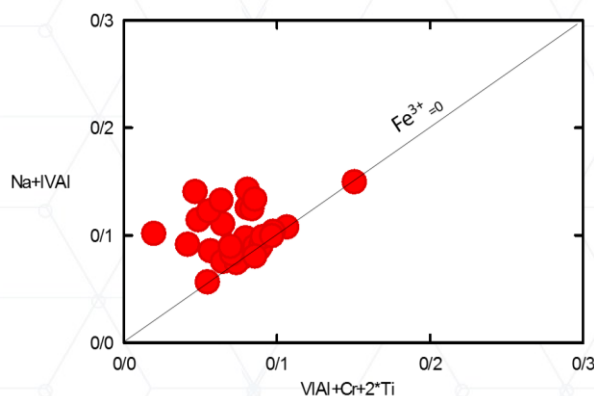
شکل ۲ نمایشی نسبتاً نزدیک از رخنمون سازند سلطان میدان و پادها بر روی آن، دید به سمت شمال.



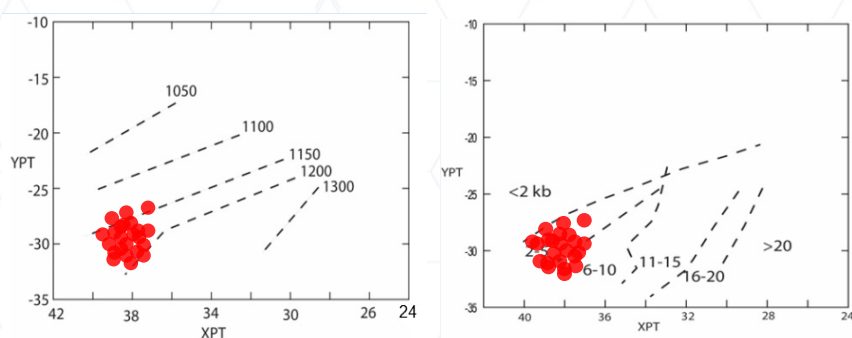
شکل ۳ مقطع میکروسکوپی از بازالت‌های سلطان میدان با کانی‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز با بافت اینترگرانولار و حفره‌ای.



شکل ۴ - نمودار Al در مقابل $Ti+Cr+Na$ (Berger et al., 2005) برای تفکیک پیروکسن‌های آذرین و دگرگونی از یکدیگر.



شکل ۵ نمودار $Na+Al^{IV}$ در مقابل $Al^{VI}+2Ti+Cr$ (Schweitzer et al., 1978) برای تعیین میزان فوگاسیته‌ی اکسیژن نمونه‌های مورد مطالعه.



شکل ۶ نمودارهای YPT در برابر XPT (Soesoo, 1997) برای دما-فشارسنجی با استفاده از شیمی کلینوپیروکسن برای نمونه‌های بازالتی مورد مطالعه سازند سلطان میدان واقع در شمال شاهرود.

۵- مراجع

- Berger J., Femenlas O., J. C. C. Mercier J.C.C., And Demaiffe D., 2005, Ocean-floor hydrothermal metamorphism in the Limousin ophiolites (western French Massif Central): evidence of a rare preserved Variscan oceanic marker, *J. metamorphic Geol.*, 23, 795–812, J doi:10.1111/j.1525-1314.2005.00610.x
- Derakhshi M., Ghasemi H., Sahami T., 2014. Geology and petrology of the Soltan Maidan complex in Northeast of Shahrood, Eastern Alborz, N Iran. *Scientific Quaterly Journal, Geosciences*, vo. 23, No. 91, 63-73p.
- Ghorbani G., 2009. Geochemistry of Paleozoic basaltic rocks from north of Shahrood, N Iran, *MITT. OSTERR, Miner. Ges*, 155.
- Ghasemi H., Khanalizadeh R., 2011. Tuye-Darvar A-type granitoid southwest of Damghan: constrains on the Paleotethyan extentional basin of lower Paleozoics in Alborz, Iran. *J. Crystallogr. Mineral.* 20, 3-24.
- Hammer, J.E., 2006. Influence of fO₂ and cooling rate on the kinetics and energetics of Fe-rich basalt crystallization. *Earth and Planetary Science Letters* 248, 618–637.
- Leterrier, J., Maury, R.C., Thonon, P., Girard, D., Marchal, M., 1982. Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth and Planetary Science Letters* 59, 139–154.
- Le Bas N.J., 1962, The role of aluminous in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage, *Am.J.Sci.* 260, 267-288.
- Morimoto N., 1988, Nomenclature of pyroxenes. *Bull. Mineral.*, 111, 535-550.
- Naderi A., Ghasemi H., Santos J.F., Rocha F., Griffin W.L., Shafaii Moghadam H., Papadopoulou L., 2018. Petrogenesis and tectonic setting of the Tuyeh-Darvar Granitoid (Northern Iran): Constraints from zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotope geochemistry. *Lithos* 318-319, p. 494-508.
- Soesoo, A., 1997. A multivariate statistical analysis of clinopyroxene composition: empirical coordinates for the crystallisation PT-estimations. *GFF*, Vol. 119 (Pt. 1, March), pp. 55–60. Stockholm. ISSN 1103–5897.
- Schweitzer E. L., Papike, J. J., & Bence, A. E., 1978, Clinopyroxenes from deep sea basalts: A statistical analysis. *Geophysical Research Letters*, 5(7), 573-576.
- Shafaii Moghadam H., Li Z.H., Griffin W.L., Stern R.J., Thomsen T.B., Meinhold G., Aharipour R., O'Reilly Z.Y., 2017. Early Paleozoic tectonic reconstruction of Iran: Tales from detrital zircon geochronology. *Lithos* 268-271, p. 87-101.
- Stamphfli A.G.M., Jafarian M.P., Jalali A., 2004. Geological map of Khoshyeilagh, 1:100000 scale, Geological Survey and mineral exploration of Iran.