

پetroloژی توده نفوذی مافیک آلماقولاغ در شمال زون سندج-سیرجان

محبوبه جمشیدی‌بدر*

* گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
m_jamshidi@pnu.ac.ir

چکیده

این پژوهش به بررسی زمین‌شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی توده نفوذی مافیک آلماقولاغ در شمال غربی ایران (زون ساختاری سندج-سیرجان) می‌پردازد. سن توده در محدوده اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه قرار دارد. بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهد که سنگ‌های این توده عمدتاً از نوع دیوریت و پیروکسن دیوریت با کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن (اوژیت) و آمفیبول (فروهورنبلند تا چرماکیت) هستند و بافت‌هایی گرانولار، اینترگرانولار و گاه پورفیری دارند. داده‌های ژئوشیمیایی حاکی از تعلق سنگ‌ها به سری ماگمایی کالکوالکالن با غنی‌شدگی در عناصر LILE نظیر Rb، Cs، K و تهی‌شدگی در عناصر HFSE به ویژه Nb، Ti، Zr، P است. الگوی عناصر نادر خاکی (REE) نرمالیزه شده به کندریت تقریباً مسطح تا دارای اندکی غنی‌شدگی در LREE نسبت به HREE است و فاقد ناهنجاری Eu آشکار می‌باشد. این ویژگی‌ها همراه با نسبت‌های ایزوتوپی Sr و Nd مقادیر پایین $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و مقادیر مثبت ϵNd نشان‌دهنده منشأ گوشته‌ای ماگما در یک محیط فرورانشی مرتبط با قوس جزیره‌ای و تأثیر سیالات ناحیه فرورانش است. همچنین، شواهد ژئوشیمیایی دلالت بر تبلور تفریقی ماگما با نقش مهم پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک و نیز وجود گارنت به عنوان فاز باقیمانده در منبع ذوب در عمق زیاد (پایداری گارنت) دارد. مطالعه حاضر نشان می‌دهد که توده مافیک آلماقولاغ به عنوان بخشی از فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش در زون سندج-سیرجان در مرز ژوراسیک-کرتاسه تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: توده مافیک، آلماقولاغ، سندج-سیرجان، ژئوشیمی، پتروژنز، فرورانش، نئوتتیس

Petrology of the Almogholagh Mafic Intrusion in the Northern Sanandaj-Sirjan Zone

Mahboobeh Jamshidibadr*

* Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

Abstract

This research investigated the geology, petrography, and geochemistry of the Almogholagh mafic intrusion in northwestern Iran (Sanandaj-Sirjan structural zone). The intrusion age ranges from Late Jurassic to Early Cretaceous. Petrographic studies reveal that the rocks are predominantly diorite and pyroxene diorite, with essential minerals including plagioclase, clinopyroxene (augite), and amphibole (ferrohornblende to tschermakite). They exhibit granular, intergranular, and locally porphyritic textures. Geochemical data indicate that the rocks belong to the calc-alkaline magmatic series, enriched in Large-Ion Lithophile Elements (LILE) such as Rb, Cs, and K, and depleted in High Field Strength Elements (HFSE), particularly Nb, Ti, Zr, and P. The chondrite-normalized Rare Earth Element (REE) patterns are relatively flat to slightly enriched in Light Rare Earth Elements (LREE) compared to HREE, with no significant Eu anomaly. These characteristics, combined with Sr and Nd isotopic ratios (low $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ initial ratios and positive ϵNd values), suggest a mantle-derived magma source within a subduction-related environment, specifically an island arc setting, influenced by subduction zone fluids. Furthermore, geochemical evidence points to magmatic differentiation through fractional

crystallization involving significant roles of plagioclase and mafic minerals, as well as the presence of garnet as a residual phase in the deep melting source (garnet stability field). The present study demonstrates that the Almogholagh mafic intrusion formed as part of subduction-related magmatic activities in the Sanandaj-Sirjan Zone during the Jurassic-Cretaceous boundary.

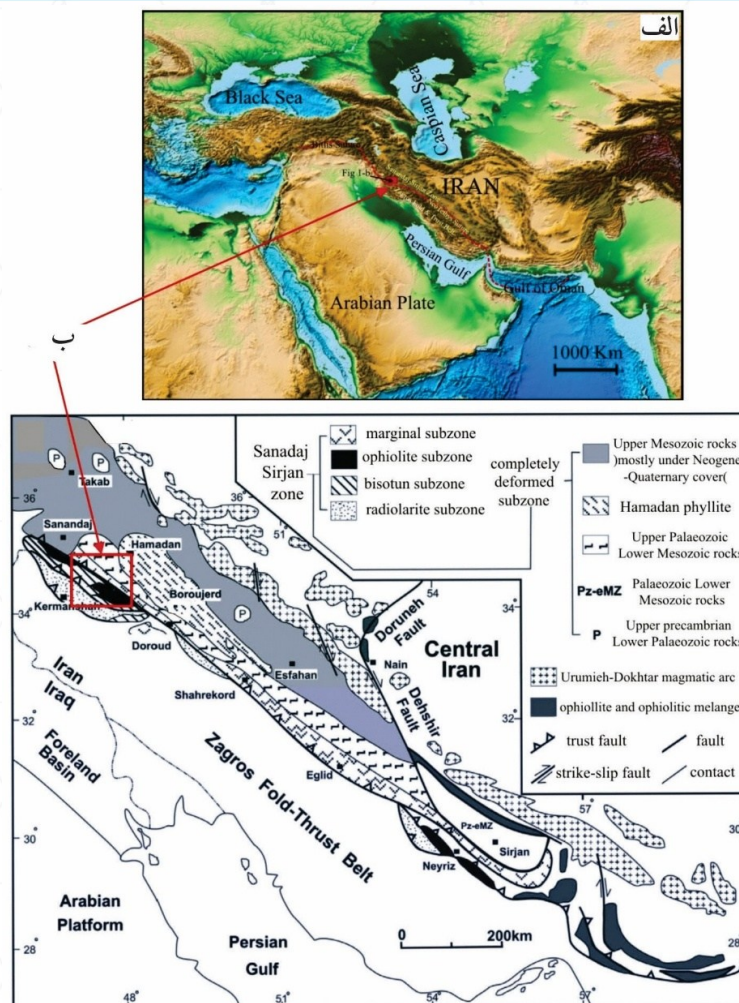
Keywords: Mafic intrusion, Almogholagh, Sanandaj-Sirjan Zone, Geochemistry, Petrogenesis, Neotethys subduction.

۱- مقدمه

توده نفوذی مافیک آلماقولاغ در برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توپسرکان واقع در شمال زون ساختاری سنندج-سیرجان معرفی شده است. این توده به عنوان یکی از قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در کوه آلماقولاغ، بخشی از مجموعه رسوبی-آتشفشانی با ضخامت حدود ۳۰۰-۴۰۰ متر را تشکیل می‌دهد (Jamshidibadr et al., 2018). زون سنندج-سیرجان عرصه رویدادهای دگرگونی، ماگماتیسیم و پلوتونیسیم گسترده‌ای است و مطالعه توده‌های نفوذی آن در درک تک‌تونیوم‌گمایی این زون کلیدی محسوب می‌شود. هدف این تحقیق، ارائه تحلیلی جامع از ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و جایگاه تکتونیکی توده مافیک آلماقولاغ و مقایسه آن با توده‌های همسان در زون سنندج-سیرجان است (شکل ۱).

۲- زمین‌شناسی عمومی

توده مذکور با نام توده متادیوریت-گابرو آلماقولاغ در نقشه زمین‌شناسی توپسرکان نمایش داده شده است و در سه نقطه برون‌زد دارد. وسعت آن به مراتب کمتر از توده گابرویی الوند است. سنگ‌ها عموماً به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره بوده و گاه لکه‌های سبز یا تیره در آن‌ها دیده می‌شود. از نظر بافتی، سنگ‌ها گرانوبلاستیک و اپیدیوبلاستیک بوده و بافت‌های اولیه شامل پورفیری، دانه‌ریز تا متوسط بلوری، افیتیکی و در مواردی دلریتی است. فنوکریست‌های اصلی پلاژیوکلاز بوده که شدیداً تحت تأثیر دگرسانی و متاسوماتیسیم قرار گرفته و به کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلریت، اپیدوت و کائولینیت تبدیل شده‌اند. حضور کانی‌های مافیک سدی‌دار ثانویه در شکستگی‌ها، همراه با رگه‌های اکسید آهن آبدار و کربنات کلسیم، نشانه‌هایی از احتمال تشکیل اسکارن در ارتباط با این توده است. درجه دگرگونی در حد رخساره شیست سبز ارزیابی می‌شود.



شکل ۱. الف) جایگاه زون سنندج-سیرجان اقتباس از (Mohajjel et al., 2003)، ب) برونزد توده‌های فلسیک و مافیک در زون سنندج-سیرجان، محدوده‌ی آلفاقولاغ به شکل مربع نشان داده شده است (Ashragi and Mahmoudi Garaii, 2003).

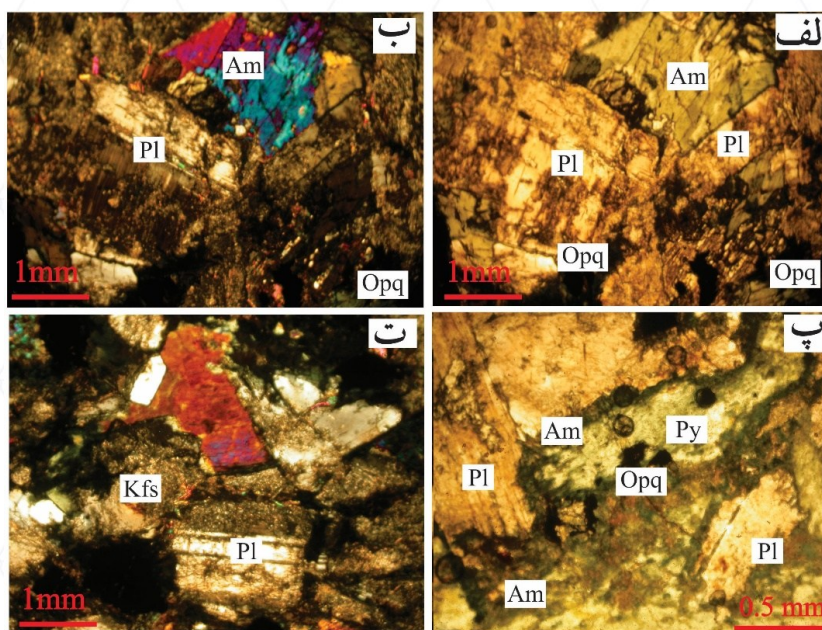
۳- مواد و روش‌ها

شش نمونه از سنگ‌های نفوذی مافیک آلفاقولاغ که کمترین میزان دگرسانی را نشان می‌دهند، انتخاب و برای تعیین عناصر اصلی و فرعی، آنالیز ICP-MS با حد آشکارسازی عناصر فرعی بین ۰.۱-۰.۲ ppm در آزمایشگاه Labwest Minerals Analysis کشور استرالیا با کدهای آنالیز MMS-01 و WR-01 انجام گرفت و آنالیز XRF در شرکت مطالعات مواد معدنی زرآما تهران - ایران انجام گرفت.

۴- بحث

۴-۱- پتروگرافی

سنگ‌های توده مذکور با رنگ خاکستری تا خاکستری تیره و متوسط بلور، دارای کانی‌شناسی مشخصی هستند. کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز (۴۰-۶۰ درصد حجمی، صفحه‌ای شکل، شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار)، کلینوپیروکسن (۱۰-۳۸ درصد حجمی، از نوع اوژیت که اغلب در حاشیه به آمفیبول تبدیل شده) و آمفیبول (۱۲-۲۵ درصد حجمی، از نوع فروهورنبلند تا چرماکیت) می‌باشند. مقادیر کم (کمتر از ۵ درصد) کوارتز و آلکالی فلدسپار نیز مشاهده می‌شود. بافت سنگ‌ها عمدتاً گرانولار و اینترگرانولار است. کانی‌های ثانویه شامل اپیدوت و کلریت بوده و ایلمنیت کانی فرعی اصلی است. بر اساس ترکیب کانی‌شناختی، سنگ‌ها در رده دیوریت و پیروکسن دیوریت طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۲).



شکل ۲. الف) و ب) بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار با بافت گرانولار و اینترگرانولار در نور PPL و XPL. پ) پیروکسن‌هایی که توسط آمفیبول در بخش حاشیه جایگزین شده‌اند، ت) بافت اینترگرانولار (علائم اختصاری از Whitney and Evans, 2010).

۲-۴- ژئوشیمی

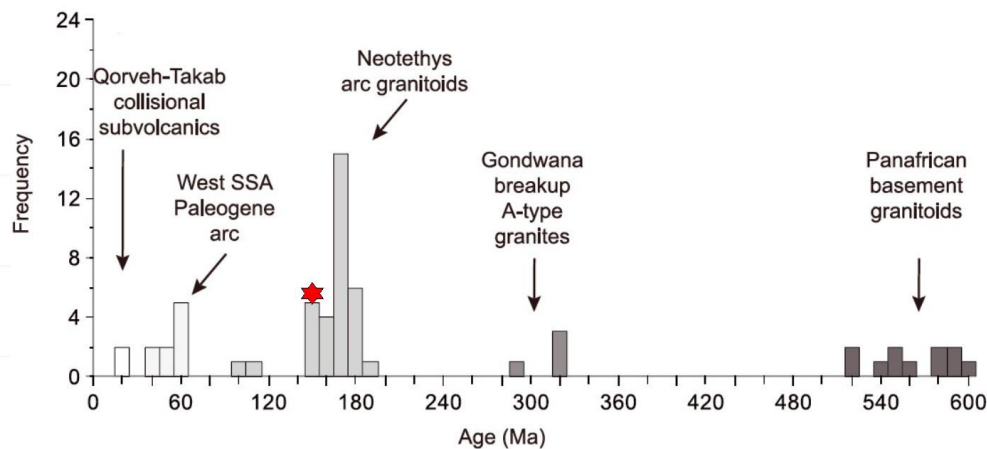
آنالیز عناصر اصلی و فرعی بر روی شش نمونه با حداقل آلتراسیون انجام گرفته است. با افزایش SiO_2 ، مقادیر FeO ، TiO_2 ، Eu و Sr روند کاهشی نشان می‌دهند که بیانگر تبلور تفریقی ماگما با مشارکت پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک مانند هورنبلند است. در نمودار عناصر ناسازگار نرمالیزه شده به گوشته اولیه، غنی شدگی در عناصر LILE مانند Rb ، K ، Cs و تهی شدگی بارز در عناصر Ti ، Zr ، Nb و P مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر سیالات فرورانشی و حضور کانی‌های مقاوم مانند زیرکن و روتیل در منبع است (Sun and McDonough, 1989). الگوی REE نرمالیزه شده به کندریت، تقریباً مسطح تا دارای غنی شدگی خفیف LREE نسبت به HREE بوده و فاقد ناهنجاری Eu واضح است. در نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی پیرس و همکاران (۱۹۸۴)، نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های مرتبط با قوس‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند.

۳-۴- جایگاه تکتونیکی و منشأ ماگما

ویژگی‌های ژئوشیمیایی از جمله سری کالکوالکالان، الگوی خاص عناصر ناسازگار و نسبت‌های REE، همگی دلالت بر تشکیل توده در یک محیط فرورانشی مرتبط با جزایر قوسی دارند. مقادیر پایین Y و Yb و شیب ملایم REE ها، همراه با شواهدی مانند آنومالی منفی Nb و Ti، مؤید وجود فازهای باقیمانده غنی از گارنت و آمفیبول/پیروکسن در منبع ذوب در عمق زیاد (پایداری گارنت) است (e.g., Wang et al., 2015; Jiang et al., 2013; Sun and McDonough, 1989). نسبت‌های ایزوتوپی Sr و Nd مقادیر $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ بین ۰/۷۰۲۴ تا ۰/۷۰۶۹ و ϵNd مثبت بین ۲.۳+ تا ۳.۳+ که از مطالعات شهبازی و همکاران (۲۰۱۵) و امیری و همکاران (۲۰۱۷) استفاده شده است، منشأ گوشته‌ای ماگما و ارتباط آن با محیط فرورانش را تأیید می‌کنند. بر اساس سناریوهای تکتونیکی ارائه شده توسط حسن زاده و ورنیکه (۲۰۱۶) برای زون سنندج-سیرجان، جایگیری توده‌های مافیک آلفاقولاغ نیز همانند سایر توده‌های مافیک زون سنندج-سیرجان همانند توده نفوذی مافیک کانگرو (Azizi et al., 2015) و توده نفوذی مافیک قروه (Mahmoudi et al., 2011) در بازه اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه رخ داده است (جدول ۱).

جدول ۱. توده های نفوذی مافیک زون سنندج-سیرجان در بازه زمانی اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه.

نام توده نفوذی	نوع سنگ	نوع سن سنجی	روش	سن (Ma)	رفرنس	نوع سنگ
آلفاقولاغ	مونزونیت (دگرگون و تغییر شکل یافته)	تیتانیت	U(Th)- Pb	۱۳۸-۹۵	Shahbazi et al. (2015)	سنگ‌های مافیک زون سنندج-سیرجان
آلفاقولاغ	دیوریت	سنگ کل	Rb-Sr	۱۷± ۱۴۴	Valizadeh & Zarian (1976)	
کانگرو (DKDJ-1)	گابرو	زیرکن	U-Pb	۳/۶ ± ۱۴۸/۳	Azizi et al. (2015)	
کانگرو (KMS-1)	گابرو	زیرکن	U-Pb	۸/۷± ۱۴۶/۹	Azizi et al. (2015)	
قروه	گابرو	زیرکن	U-Pb	۱۴۹/۲± ۰/۳	Mahmoudi et al. (2011)	



شکل ۳. نمایش جایگاه سن توده های نفوذی و مافیک آلماقولاغ (علامت ستاره) در هیستوگرام سنی توده های نفوذی زون سنندج-سیرجان که توسط حسن زاده و ورنیکه (۲۰۱۶) ارائه شده است.

۵- نتیجه گیری

توده نفوذی مافیک آلماقولاغ به عنوان بخشی از فعالیت های پلوتونیک مرتبط با فروانش در زون سنندج-سیرجان، در اواخر ژوراسیک تا اوایل کرتاسه در یک محیط قوس جزیره ای تشکیل شده است. ترکیب کانی شناختی، ژئوشیمی کالکوالکالن، الگوی غنی شدگی LILE و تهی شدگی HFSE، ویژگی های REE و داده های ایزوتوپی Sr-Nd همگی بر منشأ گوشته ای ماگما تحت تأثیر سیالات ناحیه فروانش و تبلور تفریقی آن در طول صعود دلالت دارند. وجود گارنت به عنوان فاز باقیمانده در منبع، نشان دهنده تشکیل ماگما در عمق قابل توجهی از گوشته است. این مطالعه گامی در جهت درک بهتر تاریخچه پیچیده تکتونوماگمایی زون سنندج-سیرجان در طی کرتاسه پایینی محسوب می شود.

۶- تقدیر و تشکر

از پشتیبانی های ارزشمند معاونت پژوهشی دانشگاه پیام نور که انجام این پژوهش را میسر ساخت قدردانی می نمایم. افزون بر این، قدردانی صمیمانه خود را از برگزارکنندگان محترم همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران اعلام می دارم که فرصت ارائهی دستاوردهای این تحقیق را فراهم آوردند.

۷- مراجع

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine* 148, 692–725.
- Amiri, M., Ahmad Khalaji, A., Tahmasbi, Z., Francisco Santos, J., Zarei Sahamieh, R., Zamanian, H., 2017. Geochemistry, petrogenesis, and tectonic setting of the Almogholagh batholith in the Sanandaj-Sirjan zone, western Iran. *Journal of African Earth Sciences* 134, 113–133.
- Ashragi, S. A., Mahmoudi Garaii, M., 2003. Geological report of the Tuyserkan Sheet, scale (1:100000). Iran Geological Survey and Mineral Exploration country, Tehran, 12 p.

- Azizi, H., Najari, M., Asahara, Y., Catlos, E. J., Shimizu, M., Yamamoto, K., 2015. U-Pb zircon ages and geochemistry of Kangareh and Taghiabad mafic bodies in northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran: Evidence for intra-oceanic arc and back-arc tectonic regime in Late Jurassic. *Tectonophysics* 660, 47–64.
- Hassanzadeh, J., Wernicke, B. P., 2016. The Neotethyan Sanandaj-Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin-arc transitions. *Tectonics* 35 (3), 586–621.
- Jamshidibadr, M., Collins, A. S., Salomao, G. N., Costa, M., 2018. U-Pb zircon ages, geochemistry and tectonic setting of felsic and mafic intrusive rocks of Almogholagh complex, NW Iran. *Periodico di Mineralogia* 87, 21–53.
- Jiang, Y. H., Jia, R. Y., Liu, Z., Liao, S. Y., Zhao, P., Zhou, Q., 2013. Origin of Middle Triassic high-K calc-alkaline granitoids and their potassic microgranular enclaves from the western Kunlun orogen, northwest China: a record of the closure of Paleo-Tethys. *Lithos* 156–159, 13–30.
- Mahmoudi, S., Corfu, F., Masoudi, F., Mehrabi, B., Mohajjel, M., 2011. U-Pb dating and emplacement history of granitoid plutons in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 41 (2), 238–249.
- Mohajjel, M., Fergusson, C. L., Sahandi, M. R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21 (4), 397–412.
- Pearce, J. A., Harris, N. B., Tindle, A. G., 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25 (4), 956–983.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Ghorbani, M., Pourmoafae, M., Sepahi, A. A., Vousoughi Abedini, M., Shang, C. K., 2015. The Almogholagh pluton, Sanandaj-Sirjan zone, Iran: geochemistry, U-(Th)-Pb titanite geochronology and implications for its tectonic evolution. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen. Journal of Mineralogy and Geochemistry* 192, 85–99.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (Eds.), *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications 42, 313–345.
- Valizadeh, M. V., Zarian, S., 1976. A petrological study of the Almogholagh, Asadabad and Hamedan plutons. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 8, 49–59.
- Wang, G. C., Jiang, Y. H., Liu, Z., Ni, C. Y., Qing, L., Zhang, Q., 2015. Elemental and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on the origin of Late Jurassic adakitic granodiorite in central Fujian province, southeast China. *Mineralogy and Petrology* 109 (4), 501–518.
- Whitney, D. L., Evans, B. W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95 (1), 185–187.