

## شیمی کانی کروم اسپینل در هارزبورژیت های مجموعه افیولیتی اُشنویه

ایوب ویسی نیا<sup>۱\*</sup>، ایمان منصف<sup>۲</sup>، بهمن رحیم زاده<sup>۱</sup>، محمد رهگشای

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، کد پستی ۴۵۱۳۷-۶۶۷۳۱، ایران

آدرس پستی نویسنده مسئول a.vaisy69@gmail.com

### چکیده

مجموعه افیولیتی شمال شرق اُشنویه (افیولیت دالامپر) بخش ناشناخته ای از افیولیت نئو تتیس است که بین افیولیت های پیرانشهر و سلماس در داخل کمر بند دگرگونی سندج - سیرجان در شمال غرب ایران قرار دارد. پریدوتیت های سرپانتینی شده، بازالت بالشی، گابرو، سنگ آهک پلاژیک و رادیولاریت همراه با واحدهای رسوبی-آتشفشانی از انواع سنگ های اصلی در این منطقه هستند. پریدوتیت های مجموعه تحت تاثیر دگرسانی گرمایی به صورت کامل و یا بخشی با سرپانتینیت جایگزین شده اند. بافت های موجود در پریدوتیت های دالامپر، همچون جهت یافتگی، کشیدگی و انحنا در بلورها و وجود تیغه های جدایشی کلینوپیروکسن در اورتوپیروکسن نشان می دهد که این سنگ ها در شرایط گوشته بالایی تشکیل و سپس در محیط پوسته ای قرار گرفته اند. داده های به دست آمده از تجزیه نقطه ای الیون بیانگر میزان بالای فورستريت (Fo) ۹۰-۹۲ است. اسپینل ها دارای عدد منیزیم Mg# بین ۶۴ تا ۶۸، مقادیر بالای عدد کروم Cr# (۷۷-۸۳) و محتوای پایین TiO<sub>2</sub> هستند که نشان دهنده خاستگاه گوشته ای تهی شده آنهاست. ترکیب شیمی کانی کروم اسپینل در هارزبورژیت ها نشانگر آن است که این سنگ ها به پریدوتیت های آبیسال شباهت دارند و در گروه پریدوتیت های تهی شده و پسماندی که باقی مانده های ناشی از جدایش مذاب های با ترکیب مورب می باشند و احتمالاً در یک محیط حوضه پیشانی کمان شکل گرفته اند.

**کلیدواژه ها:** شیمی کانی، ذوب بخشی، گوشته پسماندی، پریدوتیت، زون فرا فرورانش.

## The mineral chemistry of Cr-spinel in Harzburgite from Oshnavieh ophiolitic complex

Ayoub Veisia<sup>1\*</sup>, Iman Monsef<sup>2</sup>, Bahman Rahimzadeh<sup>1</sup>, Mohammad Rahgoshay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Mineral Resource and Groundwater, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Iran,  
a.vaisy69@gmail.com

<sup>2</sup> Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran

### Abstract

The Northeast Oshnavieh ophiolite complex (Dalampar ophiolite) is an unknown part of the Neo-Tethys ophiolite located between the Piranshahr and Salmas ophiolites within the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt in northwestern Iran. Serpentinized peridotites, pillow basalt, various gabbro, pelagic limestone, and radiolarite along with volcano-sedimentary units are the main rock types in the area. Peridotite rocks in the complex were replaced by serpentinite completely or partly due to hydrothermal alteration. Textures such as orientation and elongation of crystals, clinopyroxene exsolution lamellae in orthopyroxenes and different generations of minerals in these rocks show that they have been formed in the upper mantle and then emplaced in the crust. The chrome spinels have Mg# (64-68), high Cr# (77-83), and very low TiO<sub>2</sub> amount, which is show the chromium spinels

belong to the mantle and have ophiolitic and depleted nature. The mineral chemistry of Cr-spinel in Harzburgite shows that these rocks are similar to abyssal peridotites and belong to depleted and residual peridotites remaining after the extraction of mid-ocean ridge basalt (MORB) and they were likely formed in a forearc basin setting.

**Keywords:** mineral chemistry, partial melting, residual mantle, peridotite, Suprasubduction zone.

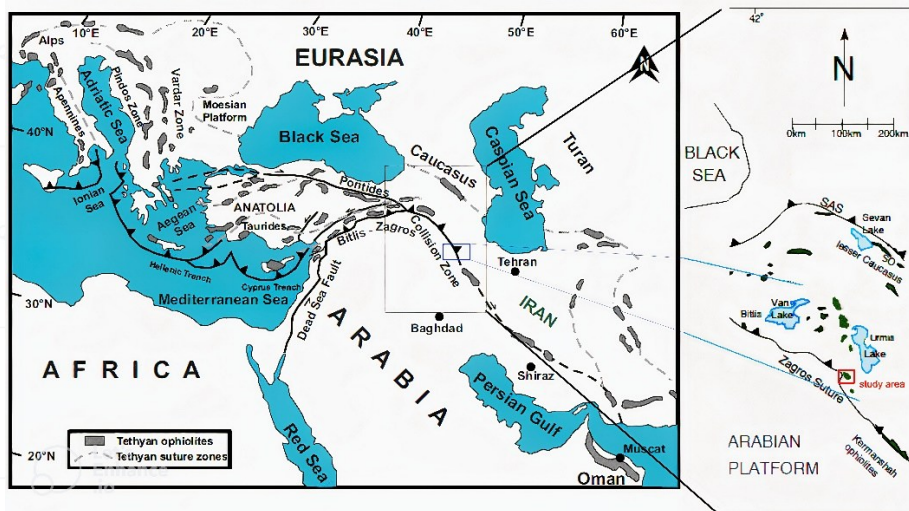
## ۱- مقدمه

متن بخش‌هایی از لیتوسفر اقیانوسی قدیمی که در کمربندهای کوهزایی حفظ شده‌اند، مجموعه‌های افیولیتی را تشکیل می‌دهند که آرشیوهای سه بعدی برای بررسی محصولات فرآیندهای ژئوشیمیایی، ماگمایی، متاسوماتیک و تکتونیکی که در مراکز گسترش کف دریا و محیط‌های منطقه فرورانش در گذشته زمین عمل می‌کردند را، فراهم می‌کنند (Furnes et al., 2018; Dilek and Yang, 2015). بررسی داده‌های کانی‌شناختی و سنگ‌شناختی واحدهای گوناگون سنگی گوشته بالایی در مجموعه‌های افیولیتی، برای ارزیابی فرآیندهای تأثیرگذار در پیدایش مجموعه افیولیتی، تعیین دما و فشار تعادلی و شناخت جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها اهمیت بسیاری دارد. با وجود پیچیدگی فراوان ویژگی‌های زمین‌شناسی پریدوتیت‌ها، داده‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی موجود در این سنگ‌ها برای تشخیص جایگاه ژئوتکتونیکی و تعیین دما و فشار تعادلی مجموعه‌های افیولیتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند (Ahmed et al., 2005).

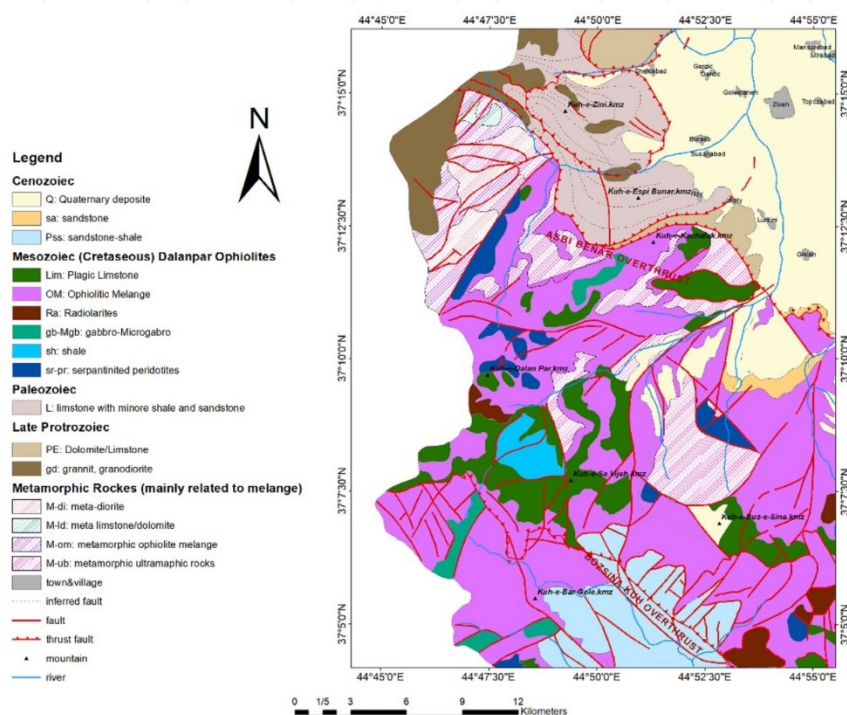
## زمین‌شناسی عمومی و صحرایی

زمین درز نئوتتیس منطبق بر گسل اصلی راندگی زاگرس بوده (Agard et al., 2005) و افیولیت‌ها در امتداد این منطقه به صورت پراکنده قرار دارند (شکل ۱). تحولات تکتونیکی اقیانوس نئوتتیس در شمال غرب زاگرس خیلی پیچیده بوده و با وجود پژوهش‌های انجام گرفته (Hassanzadeh and Wernicke, 2016; Ao et al., 2020) هنوز اطلاعات ما در این باره کم می‌باشد. به طور خاص برخی از افیولیت‌های شمال غرب زاگرس در امتداد مرز ایران-عراق-ترکیه، با این که فاقد سن‌های ایزوتوپی هستند می‌توانند حاوی اطلاعات مهم و ارزشمندی درباره تاریخچه تشکیل و انباشت افیولیت‌ها در این قسمت از کوهزاد زاگرس باشند (Ao et al., 2020). مکانیسم جایگیری توده‌های افیولیتی اشنویه بر روی خرد قاره ایران و تکامل ساختاری آن هنوز ناشناخته است و به خوبی درک نشده است. ملاثر افیولیتی دالامپر به عنوان بخشی از افیولیت اشنویه در تقسیم بندی زون‌های ساختاری ایران توسط Ghasemi و Talbot (2006) در محدوده سنندج سیرجان واقع شده است (شکل ۲). در منطقه دالامپر مجموعه‌ای از افیولیت‌های زاگرس با واحدهای متناوب سنگی و رخنمون‌های گسترده وجود دارند. در آمیزه رنگی دالامپر که روستاهای کچله، سوسن آباد، سوره دوکل، پروانه، چریک آباد و گند ملاعیسی را شامل می‌شود: مجموعه‌ای از سنگ‌های الترامافیک سرپانتینیته شده (هارزبورژیت و دونیت) با ساختار ورقه‌ای و به رنگ سبز روشن تا تیره، خاکستری و سیاه رنگ، انواع مختلف گابرو (میکروگابرو، پگماتیت گابرو)، بازالت، دیوریت، دیاباز، توف‌های آتشفشانی، شیل، چرت‌های رادیولاریت دار و سنگ آهک پلاژیک گلوبوترونکانایی (Arabshahi and Sabzeie, 2013) همراه با مقداری سنگ‌های دگرگونه با همبری گسله، واحد افیولیتی منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۳ a). سنگ‌های هارزبورژیتی گسترده‌ترین واحد سنگی مجموعه پریدوتیتی منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند (شکل ۳ b). در نمونه دستی، این سنگ‌ها در قسمت‌های هوازده، به رنگ قهوه‌ای بوده و در سطوح شکست تازه به رنگ سیاه تا سبز تیره دیده می‌شوند. پریدوتیت‌ها در امتداد مناطق برشی و شکستگی‌ها در اثر دگرسانی خرد شده و اغلب به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند.

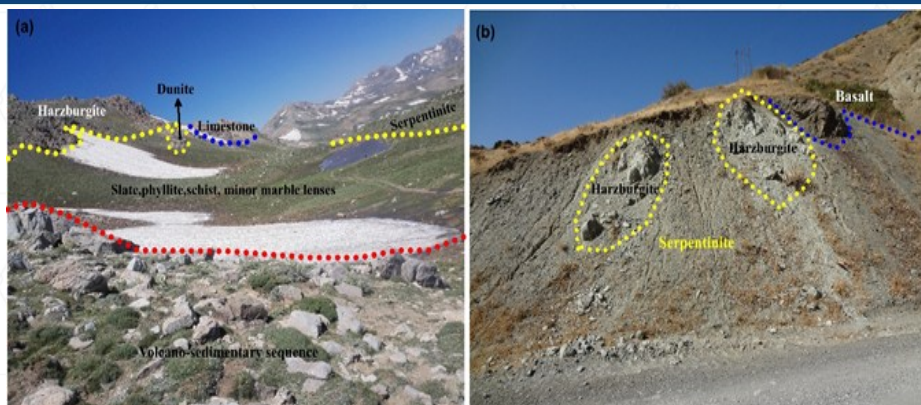




شکل ۱: نقشه تکتونیکی ساده شده نواحی شرق مدیترانه که توزیع افیولیت های نئوتتیس و زمین درزها را نشان می دهد (Dilek et al., 2007).



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ساده شده ملائز افیولیتی دالامپر.



شکل ۳: (a) نمایی کلی ملائز افیولیتی دالامپر و مرز تدریجی بین این واحد و واحد دگرگونی؛ (b) رخنمون سنگ‌های هارزبورژیتی (Hz).

## ۲- مواد و روش‌ها

به منظور بررسی شیمی کانی‌ها، تعداد 3 مقطع نازک- صیقلی از نمونه‌های هارزبورژیتی تهیه شد. پس از مشخص کردن کانی‌های مورد نظر برای آنالیز نقطه‌ای به روش میکروپروب و پس از انجام پوشش کربنی، از کانی‌های مزبور توسط دستگاه میکروسوند الکترونی مدل JEOL.JXA-8600 در دانشگاه یاماگاتا در کشور ژاپن با ولتاژ ۲۰ کیلو وات و جریان  $2 \times 10^{-8}$  آمپر با روش WDS انجام شد. قطر پرتوی الکترونی ۵ میکرون و غلظت داده‌ها بر اساس برنامه کامپیوتری ZAF محاسبه شده‌است.

## ۳- بحث

### سنگ نگاری

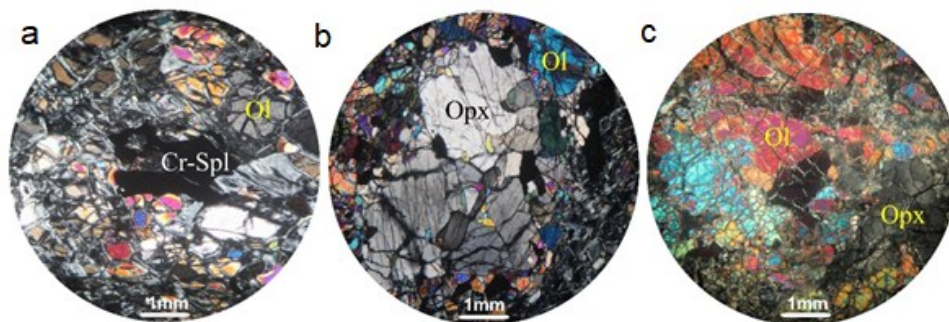
هارزبورژیت: این سنگ‌ها از نظر ترکیب کانیایی دارای الیوین (۶۰-۷۰ درصد)، ارتوپیروکسن (۱۰-۲۰ درصد) و کروم اسپینل (حدود ۲-۵ درصد) هستند. هارزبورژیت‌ها دارای بافت گرانولار (مشبک) و پورفایروکلاست می باشند (شکل ۴a). بافت اولیه الیوین‌ها دانه ای بوده و به شدت شکسته شده اند که در امتداد این شکستگی‌ها سرپانتین تشکیل شده است. کلینوپیروکسن بی شکل بوده و بقایای آن خیلی کم و به صورت بین بلوری در بین الیوین و ارتوپیروکسن‌ها دیده می شوند. ارتوپیروکسن‌ها دارای حواشی سینوسی و به صورت بلورهای نیمه شکل دار، خرد شده و در برخی موارد دگرشکل دیده می شوند (شکل ۴b). حضور شکنج در الیوین (شکل ۴c)، ارتوپیروکسن‌های دانه درشت و کلینوپیروکسن را می توان دال بر تغییر شکل پلاستیک گوشته ای در دمای بالا دانست. اسپینل‌ها نیز عمدتاً بی شکل تا نیمه شکل دار و به رنگ قرمز تا قهوه ای هستند.

### شیمی کانی

#### کروم اسپینل

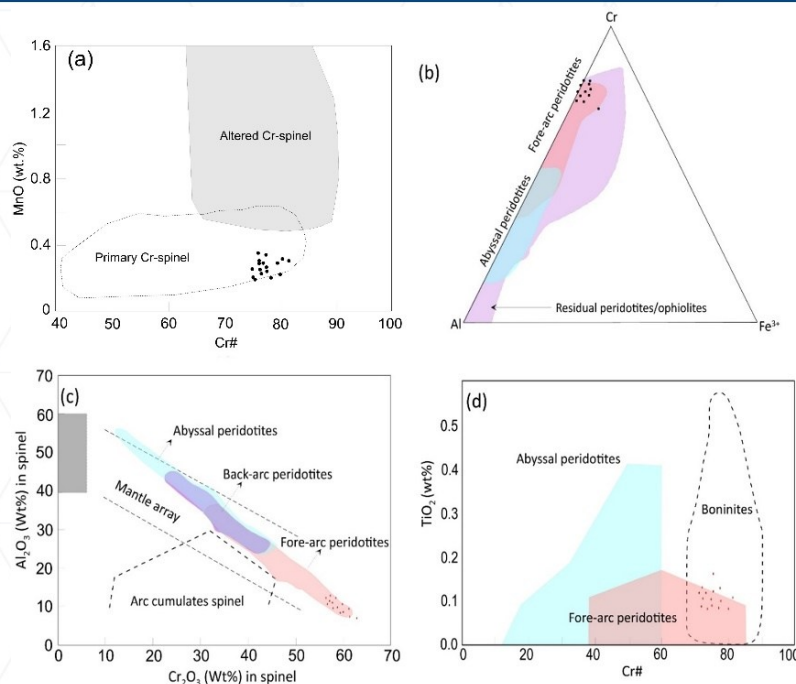
مقادیر عدد کروم (Cr#) و عدد منیزیم (Mg#) در کروم اسپینل‌ها به ترتیب از ۷۷ تا ۸۳ و ۶۴ تا ۶۸ درصد تغییر می‌کند. میزان تغییرات  $Al_2O_3$  و  $Cr_2O_3$  نیز به ترتیب بین ۸-۱۲ و ۴۵-۵۹ درصد وزنی است. دیک و بولن (Dick and Bullen, 1984) اسپینل‌های غنی از کروم و فقیر از آلومینیوم را به عنوان بازمانده و تفاله فرآیندهای ذوب بخشی گوشته در شرایط ذوب بالا و یا به عنوان محصول تبلور بخشی در نظر می‌گیرند. در نمودار Cr# در مقابل MnO اسپینل‌ها در محدوده اسپینل





شکل ۴: (a) بافت مشبک و بقایای الیوین در میان شبکه‌های سرپانتینی؛ (b) کشیدگی بلور ارتوپیروکسن دارای نوارهای شکنجی، حاشیه سینوسی و خلیج خوردگی؛ (c) ساختار کینک باند (نوار شکنجی) در پورفیروکلاست‌های الیوین دارای ساختار کشیده.

های اولیه قرار می‌گیرند (شکل a ۵). بررسی کروم اسپینل‌ها در نمودار سه تایی  $\text{Cr-Al-Fe}^{3+}$  (Proenza et al., 2007) نیز نشان می‌دهد که این کانی‌ها از نوع افیولیتی بوده و دارای ماهیت پسماندی هستند (شکل b ۵). بنا بر بررسی‌های کامنتسکی و همکاران (Kamenetsky et al., 2001)، کروم اسپینل‌ها با میزان پایین  $\text{Cr\#}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$  بالا و مقادیر پایین  $\text{TiO}_2$  اسپینل‌هایی را نشان می‌دهند که از یک پسماند با ترکیب MORB متبلور شده‌اند، در حالی که اسپینل‌های با میزان بالای  $\text{Cr\#}$  نشانگر تبلور از گدازه‌های بونینیتی است که خود حاکی از محیط زمین‌ساختی فرورانشی است. پریدوتیت‌های شکل گرفته در محیط‌های SSZ با حضور کروم اسپینل‌هایی با عدد کروم  $\text{Cr\#}$  بسیار بالاتر از آنچه در پریدوتیت‌های پشته‌های میان اقیانوسی موجود است، از یکدیگر جدا می‌شوند. مقادیر  $\text{Cr\#}$  اسپینل‌ها در هارزبورژیت‌های مورد مطالعه، پریدوتیت‌های فرافروانش را در بر می‌گیرد و همپوشانی کاملی با مقادیر  $\text{Cr\#}$  اسپینل در پریدوتیت‌های حوضه‌های پیشانی قوس دارد. بر این اساس کروم اسپینل‌های موجود در پریدوتیت‌های افیولیت دالامپر در نمودار  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  در برابر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Kepezhinskas et al., 1995)، علاوه بر اینکه دارای آرایه گوشته‌ای بوده در قلمرو جلو قوس نیز قرار می‌گیرند (شکل c ۵). در نمودار  $\text{TiO}_2$  در برابر  $\text{Cr\#}$ ، نیز نمونه‌ها در محدوده پریدوتیت‌های جلو قوس و بونینیتی قرار گرفته‌اند (شکل d ۵).



شکل ۵: (a) ویژگی‌های ژئوشیمیایی کروم اسپینل در نمودار MnO در برابر Cr# (Khedr and Arai, 2017); (b) نمودار سه تایی Cr-Al-Fe<sup>3+</sup> ترکیب کانی کروم اسپینل (Barnes and Roeder, 2001); (c) نمودار عدد کروم Cr# در برابر TiO<sub>2</sub> (Jan and Windley, 1990); (d) نمودار Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در برابر Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> محدوده‌ها از (Arai et al., 2004).

#### ۴- نتیجه‌گیری

شواهد صحرایی، سنگ نگاری و شیمی کانی‌ها نشان می‌دهد که توالی گوشته‌ای افیولیت دالامپر، تحولی چند مرحله‌ای را تجربه کرده است، به گونه‌ای که در مرحله اول در یک محیط پشته میان اقیانوسی تشکیل و سپس به محیط مرتبط با فروران‌ش منتقل شده و تحت تأثیر سیال‌های برخاسته از پوسته فرورونده قرار گرفته است. بررسی شیمی کانی کروم اسپینل و الیون که کانی باقی‌مانده از پریدوتیت‌های گوشته اولیه در نظر گرفته می‌شوند، نشان می‌دهد که کروم اسپینل‌ها غنی از Cr بوده و مقادیر پایین Ti و Al دارند که مشابه با کروم اسپینل‌های موجود در هارزبورژیت‌های جلوقوس هستند. شیمی کانی کروم اسپینل در هارزبورژیت‌ها بیانگر این است که مذاب بونینیتی وابسته به محیط جلوی قوس مسئول شکل‌گیری کانی کرومیت با Cr# و Mg# بالا و مقدار پایین Ti و Al در هارزبورژیت‌های افیولیت دالامپر است.

#### ۵- مراجع

- Ahmed A.H., Arai S., Abdel-Aziz Y.M. and Rahimi A., 2005. Spinel composition as a petrogenetic indicator of the mantle section in the NW Eoproterozoic Bou Azzer ophiolite, Anti-Atlas, Morocco, Precambrian Research, 138, 225-234.
- Ao, S., Mao, Q., Khalatbari-Jafari, M., Windley, B.F., Song, D., Zhang, Z., Zhang, J., Wan, B., Han, C. and Xiao, W., 2020. U-Pb age, Hf-O isotopes, and geochemistry of the Sardasht ophiolite in the NW Zagros orogen: Implications for the tectonic evolution of Neo-Tethys. Geological Journal 56, 1315-1329.

- Arabshahi, A. H., Sabzei, M., 2013. Geological 1:25000 map of Silvaneh1. No.4964 II NW: Geological Survey of Iran. Tehran.
- Arai, S., Uesugi, J., Ahmed, A.H., 2004. Upper crustal podiform chromitite from the northern Oman ophiolite as the stratigraphically shallowest chromitite in ophiolite and its implication for Cr concentration. *Contrib. Miner. Petrol.* 147, 145-154.
- Barnes, S.J., Roeder, P.L., 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.* 42, 2279–2302.
- Dick, H. J. B. and Bullen, T., 1984. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 86: 54-76.
- Dilek, Y., Yang, J. S., 2018. Ophiolites, diamonds, and ultrahigh-pressure minerals: new discoveries and concepts on upper mantle petrogenesis *Lithosphere*, 10,3-13.
- Furnes, H., Dilek, Y., de Wit, M., 2015. Precambrian greenstone sequences represent different ophiolite types *Gondwana Res.*, 27,649-68.
- Ghasemi, A., Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 683-693.
- Hassanzadeh, J., Wernicke, B. P., 2016. The Neotethyan Sanandaj-Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin-arc transitions. *Tectonics* 35,586-621.
- Jan, M.Q., Windley, B.F., 1990. Chromian spinel-silicate chemistry in ultramafic rocks of the Jijal Complex, northwest Pakistan. *J. Petrol.* 31, 667-715.
- Kamenetsky, V. S., Crawford, A. J., Meffre, S., 2001. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology* 42: 655-671.
- Kepezhinskas, P. K., Defant, M. J. and Drummond, M. S., 1995. Na metasomatism in the island-arc mantle by slab melt-peridotite interaction: evidence from mantle xenoliths in the North Kamchatka arc. *Journal of petrology* 36: 1505-1527.
- Khedr, M.Z., Arai, S., 2017. Peridotite–chromitite complexes in the Eastern Desert of Egypt: insight into Neoproterozoic sub-arc mantle processes. *Gondwana Research*, 52, 59-79.
- Proenza, J. A., Zaccarini, F., Lewis, J. F., Longo, F. and Garuti, G., 2007. Chromian spinel composition and the platinum-group minerals of the PGE-rich Loma Peguera chromitites, Loma Caribe peridotite, Dominican Republic. *The Canadian Mineralogist* 45: 631-648.