

## Application of electron microprobe studies to determining genesis of chromite mineralization in the Qaranaz - Alamkandi area, west of Zanjan

Parham Ahrabian Fard<sup>1</sup>, Ghasem Nabatian<sup>1\*</sup>, Mir Ali Asghar Mokhtari<sup>1</sup>, Maryam Honarmand<sup>2</sup>, Hosein Kouhestani<sup>1</sup>

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

2- Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan 45137-66731, Iran

**Keywords:** Mineral chemistry of chromite, Podiform chromite, Sanandaj-Sirjan Zone, Qaranaz - Alamkandi, Zanjan

### 1-Introduction

The chromite mineral is a primary mineral in mantle peridotites and classified as spinel group minerals. According to Malekghasemi and Karimzadeh Somarin (2005), chromite deposits in Iran occurred in Paleozoic and Mesozoic ophiolites complexes that are associated with serpentinite and serpentinitized peridotites and dunites (Ghazi et al., 2004; Shafaii Moghadam and Stern, 2014). More than 74 chromite deposits have been found in these complexes, mainly of alpine-type (Yaghoobpour, 2005). Iranian ophiolite complexes are part of Tethyan belts which link to other Asian ophiolites belts such as Pakistan and Tibetan in the east as well as to ophiolites in the Mediterranean region such as Turkey, Troodos, Greek, and East Europe in the west (Hassanipak and Ghazi, 2000; Yaghubpur and Hassannejad, 2006).

The new data in the current research are used to infer the geology, type of mineralization, mineralogy, mineral chemistry and tectonic setting, and chemical composition of the primary magma and the origin of Qaranaz - Alamkandi chromite. The Qaranaz - Alamkandi area is located in the west of Zanjan Province, between longitudes 47 °24' 10" to 47 ° 27' 10" east and latitudes 36 ° 43' 30" to 36 ° 45' 30" North. We present new field observation, lithological characteristics of the host rock, mineral chemistry, mineralization, mineralogy, the texture of ore minerals and rock-forming minerals, and chromites' genesis. In this regard, the chemical composition of olivine, pyroxene, and chromite minerals have been investigated in the Qaranaz - Alamkandi area. Finally, the tectonic setting and genesis of the Qaranaz - Alamkandi chromite deposit have been determined.

### 2- Material and methods

A detailed field study has been carried out at different scales in the Qaranaz - Alamkandi area. During fieldwork studies, sampling of rock units was performed in the study area. During fieldwork studies and based on the geological map of Takab (scale: 1:250,000; Alavi et al., 1976) and geological map of Takht-e-Soliman (scale: 1:100,000; Babakhani and Qalamqash, 1996), the geological map of Qaranaz - Alamkandi area (scale 1:20000) was prepared. In the next step, 18 thin sections and 23 polished-thin sections were prepared to study the microscopic features of the host rock and mineralogy and structure of the ore minerals. In addition, seven polished-thin sections of various rock units, including peridotite host rocks of serpentinitized dunite and serpentinitized lherzolite, and two chromite samples were analyzed by electron microprobe analysis (EPMA) in the Iran Mineral Processing Research Center, Karaj, Iran. Totally 128 points selected for EPMA, including 22 points on olivine, 48 points on clinopyroxene, 22 points on orthopyroxene, 36 points on chromite. Mineral analyses were performed by using of EPMA model SX100 manufactured by Cameca, France. A 15 kV electron beam accelerating voltage, probe current of 20 nA with a beam size of 5 microns diameter were applied. To analyze the electron microprobe, the samples were coated with ten nanometers thick layers of carbon. EPMA analysis was performed with a voltage of (15 kV), a current (20 nA) diameter of 5 microns.

\*Corresponding author: gh.nabatian@znu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.30512.2025

Received 2019-07-31

Accepted 2020-07-31

### 3- Discussion and conclusion

The studied chromite mineralization in the Qaranaz - Alamkandi area is located in the west of the Zanjan Province and Sanandaj-Sirjan Zone. The outcrops rock units in the study area consist of amphibolite, granitic gneiss, marble, amphibole schist, garnet mica schist, and also ultrabasic sequences. Chromite mineralization occurred as linezolid, veinlets. These minerals disseminated within the peridotite host rocks, such as serpentinized dunite, serpentinized harzburgite, and serpentinite. Olivine, orthopyroxene, clinopyroxene, serpentine, asbestos, chromite, and magnetite are the main minerals at these rock units. Mineral chemistry of olivines indicates that the olivines in the peridotites are rich in magnesium and show forsterite composition. Clinopyroxene in the peridotites is iron - magnesium - calcium rich with mainly augite in composition. Orthopyroxene minerals show mainly bronzite composition with minor amounts of hypersthene composition. The mineral chemistry of chrome spinels indicates that the chromite mineralization in the study area classified as podiform type chromite, which enriched in Cr and Mg and depleted in Ti. Besides, the mineral chemistry of olivines, clinopyroxene, and chrome spinels show that the host rocks of chromite mineralization and dunite-lherzolite suffered at least 20% and 40% partial melting, respectively. On the other hand, it can be stated that both partial melting and depleted mantle melt had an essential role in the formation of peridotite in the Qaranaz - Alamkandi area (Ahrabian, 2018). According to this study, it can be noted that the chromite mineralization in the study area is ophiolite type mineralization and formed from a boninitic magma in the supra subduction zone during the subduction of Proto-Tethys ocean beneath the Iranian block at Precambrian - Cambrian time.

### Acknowledgments

All logistical supports during field studies came from the University of Zanjan, Iran. We are thankful to the Iranian Mines & Mining Industries Development & Renovation Organization for supporting this study financially. The authors also acknowledge valuable comments from the editor of the Journal of Advanced Applied Geology and anonymous reviewers which improved the manuscript's quality.

### References

- Ahrabian, P., 2018. Geology, Geochemistry and Genesis of chromite mineralization of Gharenaz- Alamkandi area, west of Zanjan, Iran, M.Sc Thesis, University of Zanjan, Iran. (In Persian).
- Alavi, M., Amidi, M., 1976. Geology Map 1: 250,000 Takab, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (In Persian).
- 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. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 147(2), 145-154.
- Babakhani, A., Ghalamghash, J., 1996. Geology Map 1: 100,000 Takhte Soleiman, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. (In Persian).
- Ghazi, A., Hassanipak, A., Mahoney, J., Duncan, R., 2004. Geochemical characteristics,  $40\text{Ar}-39\text{Ar}$  ages and original tectonic setting of the Band-e-Zeyarat/Dar Anar ophiolite, Makran accretionary prism, SE Iran. *Tectonophysics* 393, 175-196.
- Hassanipak, A.A., Ghazi, A.M., 2000. Petrology, geotectonic setting of the Khoy ophiolite, Northwest Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 18, 43-55.
- Malekghasemi, F., Karimzadeh Somarin, A., 2005. Petrology and origin of chromite mineralisation in the Khoy Area, NW Iran. *Berg Huettenmaenn Monatsh* 150, 358-366.
- Shafaii Moghadam, H., Stern, R.J., 2014. Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia: (I) Paleozoic ophiolites. *Journal of Asian Earth Sciences* 91, 19-38.
- Yaghobpour, A., 2005. Mineral Deposits of Iran: A Brief Review. Mineral Resources and Development, Daya Publishing House, Delhi-110035, p. 191-202.
- Yaghubpur, A., Hassannejad, A.A., 2006. The Spatial Distribution of Some Chromite Deposits in Iran, Using Fry Analysis. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran* 17(2), 147-152.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ahrabian Fard, P., Nabatian, Gh., Mokhtari, M.A.A., Honarmand, M., Kouhestani, H., 2021. Application of electron microprobe studies to determining genesis of chromite mineralization in the Qaranaz-Alamkandi area, west of Zanjan. *Adv. Appl. Geol.* 11(2), 198-224.

DOI: 10.22055/AAG.2020.30512.2025

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15854.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15854.html?lang=en)

## کاربرد مطالعات الکترون مایکروپروب در تعیین زایش کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز - علم-کندی،

### باختر زنجان

پرهام اهرابیان فرد

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

قاسم نباتیان\*

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

میر علی اصغر مختاری

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

مریم هنرمند

دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

حسین کوهستانی

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۰

\* gh.nabatian@znu.ac.ir

### چکیده

کانه‌زایی کرومیت مورد مطالعه در منطقه قره‌ناز - علم‌کندی و در باختر استان زنجان و در پهنه سنندج - سیرجان واقع شده است. واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل آمفیبولیت، گرانیت گنایسی، مرمر، آمفیبول‌شیت، گارنت میکاشیست و همچنین واحدهای اولترامافیک است. کانه‌زایی کرومیت در واحدهای اولترامافیک و درون سنگ‌میزبان دونیت و هارزبورژیت سرپانتینی شده و سرپانتینیت‌ها به صورت عدسی شکل، رگه - رگچه‌ای و دانه‌پراکنده قابل مشاهده است. کانی‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها عمدتاً شامل الیوین، ارتوپروکسن، کلینوپروکسن، سرپانتین، آزبست، کرومیت و مگنتیت است. مطالعات شیمی کانی اولیوین نشان می‌دهد که اولیوین‌های موجود در پریدوتیت‌های این منطقه عمدتاً غنی از منیزیم بوده و ترکیب فورستریتی دارند. کلینوپروکسن‌های موجود در پریدوتیت‌ها نیز از نوع آهن - منیزیم - کلسیم‌دار بوده و اکثراً ترکیب اوژیت از خود نشان می‌دهند. ارتوپروکسن‌ها از نوع برونزیت و مقدار اندکی از نوع هیپرستن می‌باشند. مطالعات شیمی کانی کروم‌اسپینل‌های منطقه مورد مطالعه بر این دلالت دارد که کانه‌زایی کرومیت در این منطقه از نوع پادیفرم، غنی در Cr و Mg و فقیر از Ti است. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که کرومیت‌های این منطقه در دسته کانسارهای کرومیت افیولیتی قرار گرفته و از یک ماگمای بونینیتی و در یک محیط فرافروانشی در اثر فروانش اقیانوس پروتوتیس به زیر بلوک ایران در زمان پرکامبرین - کامبرین تشکیل شده است.

**کلمات کلیدی:** شیمی کانی کرومیت، کرومیت پادیفرم، پهنه سنندج - سیرجان، قره‌ناز - علم‌کندی، زنجان

### مقدمه

تعیین گردد. در این راستا، خصوصیات شیمی کانی‌های اولیوین، پروکسن و کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی براساس نتایج آنالیزهای الکترون مایکروپروب مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای مهم و مرتبط با شیمی کرومیت و نمودارهای مربوط با محیط تکنونوماگمایی آنها ارائه شده است. در نهایت، محیط تشکیل و زایش کانسار کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی تعیین شده است.

### روش کار

کانی کرومیت عضوی از گروه اسپینل بوده و یک کانی اولیه در پریدوتیت‌های گوشته‌ای به شمار می‌رود. مطالعات زمین‌شیمیایی این کانی می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد محیط تشکیل، نوع کانه‌زایی و

کانی کرومیت عضوی از گروه اسپینل بوده و یک کانی اولیه در پریدوتیت‌های گوشته‌ای به شمار می‌رود. مطالعات زمین‌شیمیایی این کانی می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد محیط تشکیل، نوع کانه‌زایی و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ماگمای مادر در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش سعی بر آن است که کانی‌سازی کرومیت در منطقه قره‌ناز - علم‌کندی واقع در باختر زنجان (بین طول‌های جغرافیایی ۱۰° ۲۴' ۴۷" تا ۱۰° ۲۷' ۴۷" خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۳۰° ۳۶' ۳۰" تا ۳۶° ۴۵' ۳۰" شمالی) به لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ‌میزبان و شیمی کانی‌های آن، کانی‌سازی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی (شیمی کانی کرومیت) مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت با استفاده از آنها، ژنز کرومیت‌های این منطقه

واحد، بافت شاخص است. در داخل این واحد، گاه رگه‌های کوارتز - فلدسپاتی قابل مشاهده می‌باشد.

واحدهای مرمری نیز در منطقه مورد پژوهش دارای رخنمون‌های چشم‌گیری می‌باشند (شکل ۳c). این واحد اکثراً با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور و شیب بین ۴۰ تا ۵۰ درجه به سمت شمال‌خاور در منطقه مشاهده می‌شوند. مرمرها به دو حالت در منطقه قابل مشاهده می‌باشند. حالت اول، به صورت میان‌لایه در بین دیگر واحدهای دگرگونی حضور دارند و حالت دوم که به عنوان مرمر جانگوتاران در نظر گرفته می‌شود، در ارتفاعات جنوبی منطقه با ضخامت قابل توجهی مشاهده می‌شوند (شکل ۲). واحدهای مرمر با سن اواخر پرکامبرین و اوایل پالئوزوئیک ( Babakhani and Ghalamghash, 1996 ) می‌باشند.

از دیگر واحدهای موجود در منطقه مورد پژوهش، می‌توان به سنگ‌های شیستی اشاره کرد که در بین واحدهای دگرگونی، با گسترش زیادی قابل مشاهده می‌باشند. این واحد شامل آمفیبول شیست، بیوتیت گارنت‌شیست و بیوتیت مسکوویت شیست می‌باشد که عموماً در مقیاس ماکروسکوپی به رنگ تیره مشاهده می‌شوند. شیست‌های منطقه مورد پژوهش با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور و شیب ۶۰ تا ۶۵ درجه به سمت شمال‌خاور رخنمون دارند. این سنگ‌ها در تناوب با واحد آمفیبولیتی قرار دارند. در این سنگ‌ها، برگ‌وارگی مشخصی به چشم می‌خورد و بعضاً توسط دایک‌های پگماتیته و گرانیتی قطع شده‌اند (شکل ۳d).

در برخی نقاط، در داخل دیگر واحدهای منطقه مورد مطالعه، دایک‌های پگماتیته مشاهده می‌شوند که عمده‌تاً با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور و شیب ۵۰ تا ۶۵ درجه به سمت شمال‌خاور در منطقه رخنمون دارد. رخنمون‌های پگماتیت با طول تا بیش از ۱۰۰ متر و ضخامتی حدود ۱/۵ متر دیده می‌شوند.

در بخش شمال‌خاوری منطقه مورد پژوهش، یکسری توده‌های اولترامافیک در داخل مجموعه دگرگونی پرکامبرین - کامبرین قرار دارند. این توده‌های اولترامافیک، از هارزبورژیت، دونیت و لرزولیت سرپانتینیته تشکیل شده‌اند که در برخی نقاط با کانه‌زایی کرومیت همراه می‌باشند (شکل ۳e). یک توده‌ی اولترامافیک دیگر در بخش جنوبی و خارج از منطقه مورد مطالعه قرار دارد که در همراهی با آن، توده‌های گابرویی و دایک‌های دیابازی نیز مشاهده می‌شود. بخش‌های هارزبورژیتی واحد اولترامافیک منطقه، علاوه بر کانه‌زایی کرومیت، دارای رگه‌های نازک و فراوان سرپانتین (کریزوتیل) درشت‌بلور نیز می‌باشند. به‌طور کلی، بخش‌های دونیتی و هارزبورژیتی به میزان بیشتری حاوی بلورهای پراکنده کرومیت می‌باشند. در برخی نقاط، سنگ‌های اولترامافیک به شدت دگرسان - شده و به سرپانتینیت، سرپانتین‌شیست و تالک‌شیست تبدیل شده است.

ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ماگمای مادر در اختیار ما قرار دهد. در این پژوهش سعی بر آن است که کانی‌سازی کرومیت در منطقه قره - ناز - علم‌کندی واقع در باختر زنجان (بین طول‌های جغرافیایی " ۱۰' ۴۷" تا " ۳۰' ۴۷" خاوری و عرض‌های جغرافیایی " ۳۰' ۳۶" تا " ۴۵' ۳۶" شمالی) به لحاظ ویژگی‌های سنگ‌شناسی سنگ میزبان و شیمی کانی‌های آن، کانی‌سازی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی (شیمی کانی کرومیت) مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت با استفاده از آنها، زایش کرومیت‌های این منطقه تعیین گردد. در این راستا، خصوصیات شیمی کانی‌های اولیوین، پیروکسن و کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی براساس نتایج آنالیزهای الکترون مایکروپروب مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهای مهم و مرتبط با شیمی کرومیت و نمودارهای مربوط با محیط تکتونوماگمایی آنها ارائه شده است. در نهایت، محیط تشکیل و ژنز کانسار کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی تعیین شده است.

## بحث

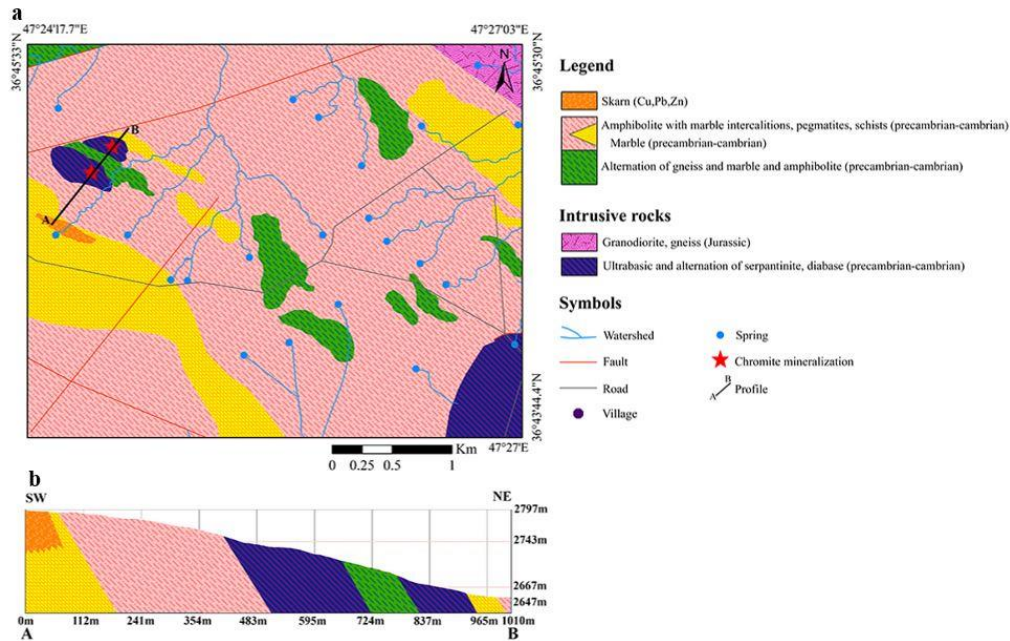
### زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

براساس تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری - رسوبی ایران (Stöcklin, 1968)، منطقه مورد پژوهش در پهنه سندج - سیرجان و در محل تلاقی پهنه‌های البرز - آذربایجان، ایران مرکزی و سندج - سیرجان قرار دارد. طبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰,۰۰۰ تهیه‌شده از منطقه مورد مطالعه (شکل ۱a)، این منطقه متشکل از واحدهای متنوعی شامل سنگ‌های اولترامافیک (دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و سرپانتینیت) به همراه واحدهای آمفیبولیتی، گرانیت گنایسی، مرمر، کوارتزیت و شیست به همراه دایک‌های پگماتیته است (شکل ۲). با توجه به پروفیل عرضی تهیه شده، روند عمومی واحدهای مزبور، شمال‌باختر - جنوب‌خاور با شیب به سمت شمال - خاور می‌باشد (شکل ۱b).

گسترده‌ترین واحد سنگی در محدوده مورد مطالعه، واحد آمفیبولیتی است. این واحد با امتداد شمال‌باختر - جنوب‌خاور و شیب بین ۵۰ تا ۶۰ درجه به سمت شمال‌خاور رخنمون داشته و به‌طور کلی شامل آمفیبولیت و آمفیبول شیست می‌باشند که در مقیاس ماکروسکوپی به رنگ تیره مشاهده می‌شوند (شکل ۳a). واحد آمفیبولیتی مربوط به زمان پرکامبرین - کامبرین بوده و برگ‌وارگی مشخصی را نشان می‌دهد ( Babakhani and Ghalamghash, 1996 ). واحد آمفیبولیتی را یکسری دایک‌های گرانیتی با ضخامت‌های مختلف عموماً در امتداد برگ‌وارگی قطع کرده‌اند.

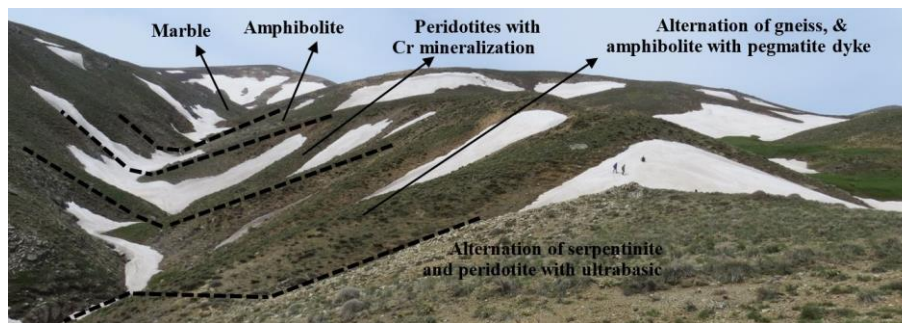
در بخش شمالی منطقه مورد پژوهش، واحد گرانیت گنایسی به صورت فراوان رخنمون دارد (شکل ۳b). این واحد در رخنمون صحرایی و نمونه‌دستی به رنگ روشن دیده می‌شود. واحد گرانیت گنایسی تحت تأثیر فرایندهای دگرگونی - دگرشکلی قرار گرفته که منجر به تشکیل فابریک‌های گنایسی شده است. بافت چشمی در این





شکل ۱- (a) نقشه زمین شناسی ۱:۲۰,۰۰۰ تهیه شده از منطقه مورد مطالعه (Ahrabian Fard, 2018) و (b) پروفیل عرضی تهیه شده از واحدهای موجود در منطقه مورد مطالعه.

Fig.1. (a) Geological map of the study area in scale of 1:20000 (Ahrabian Fard, 2018) and (b) Schematic profile prepared from units in the study area.



شکل ۲- نمایی از توالی واحدهای سنگی موجود در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب باختر).

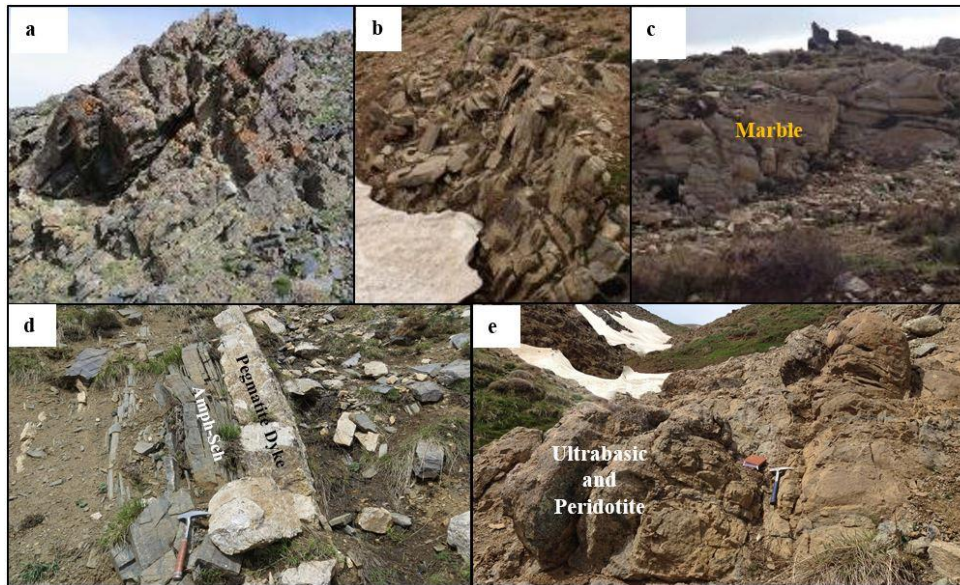
Fig. 2. View of different sequence of rock units in the study area (view to the southwest).

صدفی هستند. در اکثر بخش‌ها، کانی اولیوین به شدت به کانی‌های ثانویه از جمله سرپانتین، کلریت و کانی‌های کدر دگرسان شده و تنها بقایایی از آنها به صورت جزیره‌ای در زمینه سرپانتین‌ها باقی مانده است. پیروکسن موجود در هارزبورژیت‌ها و دونیت‌ها اکثراً از نوع ارتوپیروکسن و به مقدار کمتر کلینوپیروکسن است که در فضای بین سرپانتین‌ها به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار قرار گرفته‌اند (شکل b4 و c) کلینوپیروکسن در لرزولیت‌ها از فراوانی بالاتری برخوردار است که برخی از آنها توسط کلسیت و کلریت جایگزین شده‌اند (شکل d4). علاوه بر این، رگچه‌های تأخیری کلسیت و کلریت مجموعه کانی‌های سنگ را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. در برخی نمونه‌های لرزولیتی، تمرکز پیروکسن‌ها (کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن) افزایش قابل توجهی داشته و ترکیب سنگ به سمت اولیوین پیروکسنیت (اولیوین و بستریت) میل می‌کند.

### سنگ‌شناسی پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی

به منظور تفکیک واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه و بررسی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز - علم‌کندی، مطالعات سنگ‌شناسی و بافت بر روی ۱۸ مقطع نازک انجام گرفت. براساس مطالعات سنگ‌شناسی، سنگ میزبان کانه‌زایی منطقه مربوط به پریدوتیت‌ها است که دارای ترکیب سنگ‌شناختی دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت بوده و به شدت سرپانتینی شده‌اند.

کانی‌های اصلی در هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی شامل اولیوین، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن می‌باشند که با درجات مختلفی به کانی‌های ثانویه از جمله سرپانتین، کلسیت و کلریت دگرسان شده‌اند. در این سنگ‌ها اولیوین به عنوان کانی اولیه اغلب به صورت برجسته و جزیره‌ای در فضای بین سرپانتین‌ها پراکنده است (شکل a4). اولیوین‌ها گاه دارای شکستگی



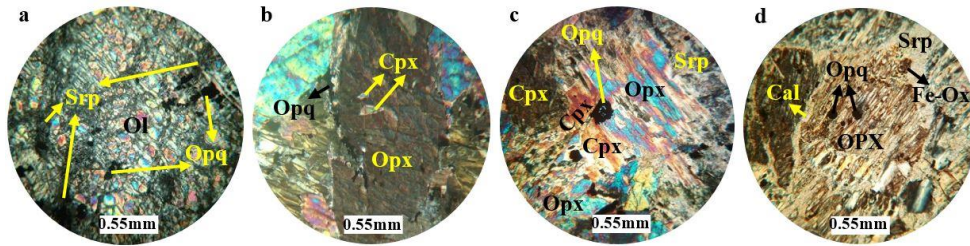
شکل ۳- (a) نمای نزدیک از رخنمون صحرایی از آمفیبولیت‌های منطقه (دید به سمت شمال‌خاور)، (b) نمایی از واحد گرانیت گنایسی در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب‌باختر)، (c) رخنمونی از واحد مرمر در منطقه مورد مطالعه (دید به سمت شمال‌خاور)، (d) رخنمون صحرایی از لایه‌های آمفیبول‌شیسست که توسط دایک پگماتیته قطع شده است و (e) رخنمون صحرایی از واحد اولترامافیک و سنگ میزبان پریدوتیتی (دید به سمت شمال‌باختر).

Fig. 3. (a) Closed view of the amphibolites in the study area (view to the northeast), (b) View of the gneiss granite unit in the study area (southwest view), (c) Outcrop of marble unit in the study area (view to the northeast), (d) Amphibole-schist unit which is cutted by pegmatite dyke, and (e) Field outcrop of ultramafic unit and peridotitic host rock (northwest view).

کلریت و همچنین رگچه‌های سرپانتینی همراه با کانی‌های کدر تأخیری، این سنگ‌ها را در جهات مختلف قطع کرده‌اند. بافت اولیه هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌ها گرانولار می‌باشد که به دلیل دگرسانی نسبتاً گسترده سرپانتینیتی، در حال حاضر بافت مش و شبکه‌ای در این سنگ‌ها غالب است. در این بافت، سرپانتین‌ها یک حالت شبکه‌مانند دارند که در فضای بین آنها، بلورهای اولیوین و پیروکسن (عمدتاً از نوع ارتوپروکسن) پراکنده هستند. بقایای بلورهای اولیوین و پیروکسن اولیه به‌صورت جزیره‌ای در متن سرپانتین‌ها قابل مشاهده است. بافت اکسلوشن شامل تیغه‌هایی از بلورهای کلینوپروکسن در داخل ارتوپروکسن‌ها در این سنگ‌ها قابل مشاهده است (شکل ۴b). بافت کومولایی نیز در پریدوتیت‌ها مشاهده می‌شود که شامل آدکومولا و مزوکومولا می‌باشد. به این صورت که بلورهای کانی‌های کدر با فراوانی بسیار کم در بین بلورهای اولیوین، ارتوپروکسن و کلینوپروکسن قرار گرفته‌اند (شکل ۴c). بافت کروئایی نیز در در اطراف برخی بلورهای اولیه موجود در هارزبورژیت‌ها و دونیت‌ها مشاهده می‌شود که از حاشیه به سرپانتین دگرسان شده‌اند (شکل ۴d). بافت پرشی و دگرشکلی نیز در قسمت‌هایی از پریدوتیت‌ها به چشم می‌خورد. در برخی نقاط، حالت میلیونیتی شدن نیز در پریدوتیت‌های سرپانتینیتی شده قابل مشاهده است که در امتداد جهت یابی حاصل از میلیونیتی شدن، کانی‌های کدر به‌صورت عدسی شکل مشخص می‌باشد.

از مهم‌ترین کانی‌های فرعی در هارزبورژیت‌ها، دونیت‌ها و لرزولیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، می‌توان به کانی‌های کدر عمدتاً از نوع کروم اسپینل اشاره کرد که در برخی نقاط، تمرکز آنها قابل توجه بوده و کانسنگ کرومیتی را به‌وجود آورده‌اند. به‌طور کلی، سه نوع کانی کدر در پریدوتیت‌های منطقه وجود دارد: ۱- کانی‌های کدر اولیه که هم‌زمان با تشکیل اولیوین به‌صورت دانه‌پراکنده و بلورهای تقریباً درشت تا متوسط و ریز در متن سنگ و همراه با اولیوین‌ها و سرپانتین وجود دارند. این گروه از کانی‌های کدر عمدتاً از نوع کروم اسپینل و به مقدار خیلی کم‌تر مگنتیت می‌باشند (شکل ۴a و ۴b). ۲- کانی‌های کدر ثانویه که محصول دگرسانی کانی‌های اولیه مثل اولیوین و پیروکسن‌ها هستند که در اطراف سرپانتین‌ها تشکیل شده و از نوع اکسید آهن می‌باشند (شکل ۴d). ۳- گروه سوم کانی‌های کدر تأخیری (عمدتاً اکسید آهن) بوده و به‌صورت رگه - رگچه‌ها در این واحدهای سنگی مشاهده می‌شوند. از دیگر کانی‌های ثانویه در پریدوتیت‌های منطقه می‌توان به سرپانتین، تالک، کلسیت و کلریت اشاره کرد. سرپانتین بخش اعظم این سنگ‌ها را تشکیل داده که اغلب از نوع آنتی‌گوریت می‌باشند. همچنین، یکسری سرپانتین به‌صورت بلورهای ورقه‌ای و رشته‌ای دیده می‌شوند که از نوع کریزوتیل می‌باشند. این گروه از سرپانتین‌ها فراوانی کمتری دارند. در برخی نقاط، تالک نیز در همراهی با بلورهای رشته‌ای کریزوتیل دیده می‌شود. برخی بلورهای پیروکسن توسط کلسیت و کلریت جایگزین شده‌اند. علاوه بر این، رگچه‌های تأخیری کلسیت،





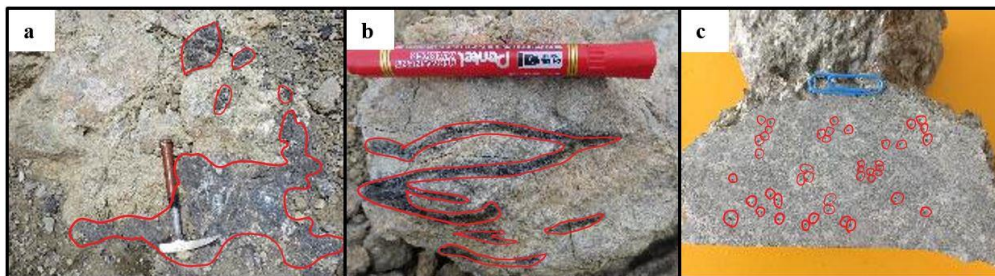
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از کانی‌ها و برخی بافت‌های موجود در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده منطقه قره‌ناز - علم‌کندی؛ (a) بلورهای اولیوین (Ol) جزیره‌ای در متن سرپانتین (Srp) به همراه کانه‌های کدر ریز (Opq)، (b) بافت اکسلوشن که میزبان اصلی ارتوپیروکسن (Opx) بوده و تیغه‌های کلینوپیروکسن (Cpx) درون آنها شکل گرفته است، (c) بافت کومولایی در پریدوتیت‌ها که بلورهای ارتوپیروکسن (Opx) و کلینوپیروکسن (Cpx) در کنار هم قرار گرفته و بلورهای کانی‌های کدر در بین آنها پراکنده است و (d) بافت کرونایی بلور ارتوپیروکسن (Opx) که طی فرآیند دگرسانی کانی اولیه، در اطراف آن هاله‌ای از سرپانتین به وجود آمده است. تصاویر با نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL تهیه شده‌اند. علایم اختصاری برگرفته از Whitney and Evans (2010) می‌باشند.

Fig. 4. Photomicrographs of minerals and some textures in serpentinized peridotites of the Gharenaz-Alamkandi area; (a) Relict texture of olivine crystals (Ol) in serpentinized (Srp) background with fine-grained opaque (Opq) minerals, (b) The exsolution texture, which is the main host of orthopyroxene (Opx), and the clinopyroxene (Cpx) blades are formed within them, (c) Cumulus texture in the peridotites, where the orthopyroxene (Opx) and clinopyroxene (Cpx) crystals formed with together and the opaque (Opq) mineral crystals are scattered among them, and (d) Corona texture of orthopyroxene (Opx) crystal which altered to serpentine during the alteration process. Images are provided with XPL cross-polarized light. The abbreviation of minerals are taken from Whitney and Evans (2010).

دانه‌پراکنده در واحدهای اولترامافیک دیده می‌شود (شکل ۵-۱ و ۵-۲) توجه به گسترش محدود سنگ‌های اولترامافیک در این منطقه، کانه‌زایی کرومیت نیز گسترش محدودی داشته و به صورت عدسی‌هایی با طول و عرض بیشینه تا دو متر مشاهده می‌شود.

#### کانه‌زایی در منطقه قره‌ناز - علم‌کندی

کانه‌زایی اصلی تشکیل شده در این منطقه، کرومیت است که در داخل واحدهای الترامافیک با ترکیب دونیت، هارزبورژیت و سرپانتینیت تشکیل شده است. کانی‌زایی کرومیت در این منطقه به صورت توده‌ای، عدسی‌های کوچک و متوسط، رگه - رگچه‌ای و



شکل ۵- تصاویری از کانه‌زایی کرومیت در منطقه مورد مطالعه؛ (a) کانه‌زایی کرومیت به صورت عدسی شکل (بخش‌های تیره رنگ) در سنگ میزبان هارزبورژیت، (b) کرومیت به صورت رگه- رگچه‌ای (بخش‌های تیره رنگ) در سنگ میزبان پریدوتیتی و (c) کرومیت به صورت دانه‌پراکنده (بخش‌های تیره رنگ) در سنگ میزبان دونیت سرپانتینی شده.

Fig. 5. Photographs of chromite mineralization in the study area; (a) Lenzoid shape of chromite mineralization (dark color sections) within the harzburgite host rock, (b) Vein-veinlets of chromite mineralization (dark color sections) within the harzburgite host rock, and (c) Disseminated texture of chromite (dark color sections) within the serpentinized dunite host rock.

مایکروپروب قرار گرفت. نتایج حاصل به صورت درصد وزنی اکسیدها به همراه مقادیر کاتیون‌های محاسبه شده، در جدول ۱ ارائه شده است.

#### شیمی کانی‌ها

#### شیمی کانی اولیوین

جهت مطالعه شیمی اولیوین‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه علم‌کندی، تعداد ۲۲ نقطه از اولیوین‌های این سنگ‌های مورد آنالیز

جدول ۱- نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های اولیوین در سنگ میزبان کانه‌زایی قره‌ناز - علم‌کندی. مقادیر بر حسب درصد است.

Table 1. Results of electron microprobe analysis on olivine minerals in the Qaranaz - Alam Kandi peridotites. Values of oxides are in weight percentages. The structural formula of the minerals are based on 4 oxygen atoms.

Position	Core										
Sample Name	3/Q-10	4/Q-10	7/Q-10	8/Q-10	9/Q-10	11/Q-10	12/Q-10	14/Q-10	32/Q-69	33/Q-69	34/Q-69
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.05	0.02	0	0	0.02	0.01	0.01	0.04	0	0
K <sub>2</sub> O	0	0	0.02	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0
MgO	50.92	51.42	51.79	50.27	49.94	48.4	50.55	50.21	47.32	48.46	48.04
CaO	0.02	0.01	0.01	0	0	0.02	0	0	0	0.01	0
MnO	0.11	0.17	0.17	0.16	0.12	0.14	0.14	0.09	0.18	0.19	0.14
FeO	7.93	8.54	7.34	8.53	8.57	11.75	8.58	8.4	11.04	11.21	11.21
NiO	0.49	0	0.21	0	0.35	0.36	0.31	0.27	0	0	-0.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.01	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.02	0.03	0	0	0	0.01	0.02	0.04	0.03	0
SiO <sub>2</sub>	40.28	40.63	41.08	41.74	41.22	40.08	40.86	41.44	41.83	41.24	41.18
TiO <sub>2</sub>	0	0.01	0.01	0	0	0	0.02	0	0	0.02	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.8	100.87	100.68	100.7	100.2	100.78	100.48	100.44	100.47	101.18	100.01
Si	0.985	0.983	0.991	1.008	1.003	0.906	0.958	1.004	1.023	1.004	1.010
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Fe(ii)	0.162	0.173	0.148	0.172	0.174	0.260	0.168	0.170	0.226	0.228	0.230
Mn	0.002	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003	0.002	0.004	0.004	0.003
Mg	1.856	1.855	1.862	1.809	1.811	1.920	1.906	1.814	1.724	1.759	1.757
Ni	0.010	0.000	0.004	0.000	0.007	0.007	0.006	0.005	0.000	0.000	-0.012
Ca	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	3.016	3.016	3.009	2.992	2.997	3.095	3.042	2.996	2.977	2.996	2.989
Position	Core										Rim
Sample Name	35/Q-69	36/Q-69	37/Q-69	38/Q-69	44/Q-69	45/Q-69	46/Q-69	20/Q-72	21/Q-72	39/Q-69	28/Q-72
Na <sub>2</sub> O	0	0.01	0.02	0	0.03	0	0	0.03	0.01	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	0	0.02	0	0.01	0	0	0	0	0	0.02	0
MgO	47.27	47.69	49.18	48.58	48.5	48.63	49.32	50.26	50.35	48.61	48.58
CaO	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0.01	0	0.02
MnO	0.19	0.17	0.17	0.16	0.17	0.12	0.11	0.11	0.12	0.18	0.13
FeO	10.98	11.36	10	10.39	10.64	10.39	10.29	9.4	9.29	10.37	10.52
NiO	0.07	0.33	0	0	0.16	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.01	0.01	0.02	0	0	0	0	0.01	0.01	0
SiO <sub>2</sub>	42.07	41.22	41.09	41.01	41.41	41.57	41.26	41.08	41.11	40.76	41.24
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.02	0	0	0	0	0	0.02	0.03	0.01	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.03	0.03	0	0	0	0.02	0	0	0.03	0
Total	100.63	100.86	100.5	100.17	100.91	100.73	101	100.9	100.93	100.01	100.52
Si	1.026	1.009	1.002	1.005	1.006	1.011	1.002	0.995	0.995	1.001	1.007
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Al	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe(ii)	0.224	0.232	0.204	0.213	0.216	0.211	0.209	0.190	0.188	0.213	0.215
Mn	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.004	0.003
Mg	1.718	1.740	1.788	1.774	1.757	1.764	1.785	1.816	1.817	1.780	1.768
Ni	0.001	0.006	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Total	2.974	2.991	2.998	2.995	2.991	2.989	2.998	3.004	3.004	2.998	2.993



بین ۷,۳۵ تا ۱۱,۹ و در لرزولیت‌ها بین ۹,۳ تا ۱۱,۷ متغیر است. فرمول ساختاری کانی‌ها بر اساس ۴ اتم اکسیژن محاسبه شد که بر این اساس مقدار کاتیون Mg آن‌ها بین ۱,۷۲ تا ۱,۹۲ و مقدار Mg# بین ۰,۸۸ تا ۰,۹۲ متغیر است. نتایج آنالیز نشان می‌دهد که در اولیوین‌های مورد مطالعه، منطقه‌بندی خاصی دیده نمی‌شود که نشان‌دهنده شرایط متعادل در زمان تشکیل آنها است.

با محاسبه مقدار عدد منیزیم ( $Mg\# = Mg/Mg+Fe^{2+}$ ) برای نمونه‌های پریدوتیتی که در بازه بین ۰/۹۲۶ - ۰/۸۸ بوده و همچنین محاسبه مقدار عدد آهن ( $Fe^{2+}/Mg+Fe^{2+}$ ) برای نمونه‌های پریدوتیتی که در بازه بین ۰/۱۱۹ - ۰/۰۷۳ می‌باشد و ترسیم ترکیب اولیوین‌ها در نمودار Fo-Fa (Deer et al., 1992)، نشان می‌دهد که اکثر اولیوین‌های منطقه از نوع فورستريت (Fo) و مقدار بسیار کمی از آنها از نوع کریزولیت هستند (شکل ۶). مقدار فایالیت در دونیت‌ها

جدول ۲- نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کلینوپیکروکسن در سنگ میزبان کانه‌زایی قره‌ناز - علم‌کندی، مقادیر بر حسب درصد است.

Table 2. Results of electron microprobe analysis on clinopyroxene minerals in the Qaranaz - Alamkandi peridotites. Values of oxides are in weight percentages. The structural formula of the minerals are based on 6 oxygen atoms.

Position	Core											
	Sample Name	1/Q-10	2/Q-10	1/Q-72	2/Q-72	5/Q-72	6/Q-72	10/Q-72	11/Q-72	13/Q-72	14/Q-72	15/Q-72
Na <sub>2</sub> O	0.24	0.49	0.28	0.35	0.31	0.26	0.43	0.38	0.29	0.13	0.58	
K <sub>2</sub> O	0.04	0.06	0.03	0.04	0.02	0.01	0.02	0.05	0.05	0.02	0.08	
MgO	23.84	23.22	24.49	25.7	23.3	25.61	28.91	25.51	25.1	22.39	23.97	
CaO	13	13.19	13.02	12.39	13.99	13.45	12.41	12.57	13.16	13.04	12.54	
MnO	0.1	0.11	0.04	0.08	0.07	0.07	0.11	0.06	0.07	0.1	0.07	
FeO	3.71	3.85	2.49	3.9	3.5	2.84	0.33	1.14	2.87	5.46	2.27	
NiO	0.13	0.13	0.14	0.07	0.05	0.12	0.06	0.06	0.06	0.06	0.17	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.82	2.28	1.12	1.09	0.98	0.48	1.27	1.29	1	0.64	1.76	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.13	0.32	0.15	0.19	0.14	0.05	0.14	0.09	0.11	0.15	0.19	
SiO <sub>2</sub>	55.79	55.45	57.24	56.63	55.78	55.49	56.14	57.68	57.17	58.24	56.89	
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.07	0.02	0.05	0.07	0.04	0.04	0.06	0.07	0.08	0.09	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total	98.83	99.17	99.02	100.49	98.21	98.42	99.86	98.89	99.95	100.31	98.61	
Si	1.994	1.980	2.026	1.990	2.009	1.991	1.959	2.027	2.010	2.055	2.020	
Al(iv)	0.006	0.020	0.026	0.010	0.009	0.009	0.041	0.027	0.010	0.055	0.020	
Al(vi)	0.070	0.076	0.073	0.035	0.051	0.011	0.011	0.080	0.052	0.082	0.094	
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.019	0.080	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.004	0.009	0.004	0.005	0.004	0.001	0.004	0.003	0.003	0.004	0.005	
Ti	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.002	
Fe(ii)	0.112	0.115	0.074	0.115	0.106	0.066	0.071	0.034	0.085	0.164	0.068	
Mn	0.003	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.002	0.002	0.003	0.002	
Mg	1.270	1.236	1.292	1.346	1.251	1.370	1.504	1.336	1.316	1.178	1.269	
Ca	0.498	0.505	0.494	0.466	0.540	0.517	0.464	0.473	0.496	0.493	0.477	
Na	0.017	0.034	0.019	0.024	0.022	0.018	0.029	0.026	0.020	0.009	0.040	
K	0.002	0.003	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.001	0.004	
Total	3.975	3.984	3.959	3.997	3.978	4.006	4.027	3.958	3.977	3.935	3.961	

ادامه جدول ۲.  
 Table 2. Continued.

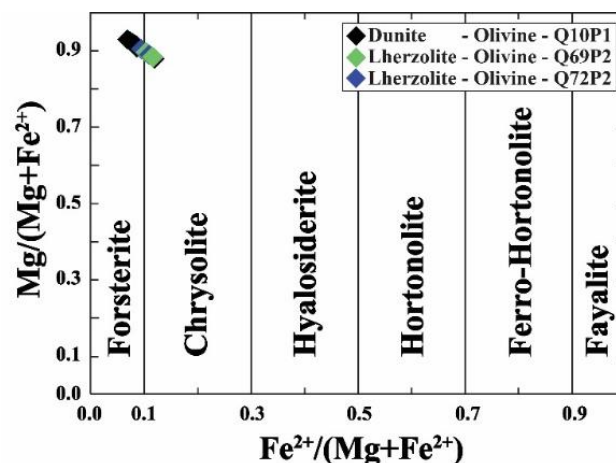
Position	Core										Rim	
Sample Name	16/Q-72	19/Q-72	20/Q-72	1/Q-69	2/Q-69	3/Q-69	4/Q-69	21/Q-69	22/Q-69	23/Q-69	24/Q-69	
Na <sub>2</sub> O	0.4	0.11	0.37	0.54	0.53	0.56	0.29	0.47	0.22	0.63	0.6	
K <sub>2</sub> O	0.05	0.08	0.04	0.07	0.09	0.13	0.05	0.07	0.03	0.09	0.09	
MgO	22.58	22.87	24.77	23.59	23.88	23.54	24.17	23.8	25.03	23.12	23.76	
CaO	13.07	13.13	12.82	12.01	12.02	12.14	12.23	12.11	12.14	12.29	12.36	
MnO	0.07	0.08	0.05	0.09	0.04	0.08	0.07	0.06	0.12	0.03	0.11	
FeO	5.2	2.47	3.46	2.67	2.77	2.69	2.45	2.57	2.53	2.95	2.81	
NiO	0.09	0.14	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.34	4.13	2.03	2.36	2.2	2.58	1.31	1.97	0.9	3.13	2.59	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0.02	0.04	0.03	0	0	0.03	0.04	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.45	0.19	0.27	0.18	0.2	0.13	0.14	0.06	0.44	0.39	
SiO <sub>2</sub>	57.25	55.19	55.98	57.45	57.85	57.58	59.29	57.81	59.86	56.7	57.61	
TiO <sub>2</sub>	0.08	0.06	0	0.03	0.06	0.04	0.02	0.03	0.06	0.07	0.07	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.04	0.02	0.02	
Total	100.23	98.71	99.77	99.08	99.64	99.61	100.04	99.03	100.99	99.5	100.45	
Si	2.025	1.962	1.979	2.023	2.026	2.020	2.061	2.035	2.061	1.997	2.008	
Al(iv)	0.025	0.038	0.021	0.023	0.026	0.020	0.061	0.035	0.061	0.003	0.008	
Al(vi)	0.081	0.135	0.063	0.121	0.117	0.126	0.114	0.116	0.098	0.127	0.115	
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.003	0.013	0.005	0.008	0.005	0.006	0.004	0.004	0.002	0.012	0.011	
Ti	0.002	0.002	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	
Fe(ii)	0.155	0.074	0.103	0.080	0.082	0.080	0.073	0.077	0.074	0.088	0.083	
Mn	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.001	0.003	
Mg	1.191	1.212	1.305	1.239	1.247	1.231	1.252	1.249	1.285	1.214	1.235	
Ca	0.495	0.500	0.485	0.453	0.451	0.456	0.455	0.457	0.448	0.464	0.462	
Na	0.027	0.008	0.025	0.037	0.036	0.038	0.020	0.032	0.015	0.043	0.041	
K	0.002	0.004	0.002	0.003	0.004	0.006	0.002	0.003	0.001	0.004	0.004	
Total	3.960	3.950	3.990	3.944	3.945	3.946	3.923	3.940	3.927	3.955	3.954	
Position	Rim	Core										
Sample Name	25/Q-69	43/Q-69	52/Q-69	53/Q-69	4/Q-72	5/Q-72	6/Q-72	8/Q-72	9/Q-72	10/Q-72	11/Q-72	
Na <sub>2</sub> O	0.61	0.47	0.4	0.28	0.24	0.27	0.17	0.15	0.25	0.4	0.36	
K <sub>2</sub> O	0.1	0.11	0.06	0.04	0.05	0.08	0	0	0.06	0.06	0.05	
MgO	22.95	23.46	24.44	24.71	24.22	24.74	24.38	24.27	24.49	24.01	24.2	
CaO	12.09	12.46	12.28	12.39	12.52	12.35	12.53	12.67	12.61	11.66	12.68	
MnO	0.06	0.09	0.11	0.1	0.1	0.02	0.06	0.02	0.06	0.09	0.03	
FeO	3.06	2.65	2.44	2.29	2.13	2.05	2.06	2.24	1.94	2.28	2.29	
NiO	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.56	2.16	1.76	1.21	0.77	0.67	0.55	0.51	0.53	1.45	1.43	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0	0	0.02	0.01	0.01	0	0	0	0.01	0	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	0.12	0.19	0.17	0.17	0.12	0.08	0.05	0.06	0.35	0.37	
SiO <sub>2</sub>	56.64	57.67	58.62	59.45	60.31	60.71	60.19	60.28	59.49	60.44	59	
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.09	0.06	0.04	0.02	0.06	0.04	0.06	0.07	0.05	0	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.03	0	0	0.03	0.04	0	0.01	0.03	0.03	0	
Total	98.48	99.41	100.36	100.7	100.57	101.12	100.06	100.26	99.59	100.83	100.41	
Si	2.015	2.029	2.035	2.053	2.081	2.082	2.085	2.086	2.074	2.077	2.047	
Al(iv)	0.015	0.029	0.035	0.053	0.081	0.082	0.085	0.086	0.074	0.077	0.047	
Al(vi)	0.122	0.118	0.107	0.103	0.113	0.109	0.107	0.107	0.096	0.135	0.105	
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.009	0.003	0.005	0.005	0.005	0.003	0.002	0.001	0.002	0.010	0.010	
Ti	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.002	0.001	0.000	
Fe(ii)	0.092	0.079	0.072	0.067	0.063	0.060	0.061	0.066	0.058	0.067	0.068	
Mn	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.002	0.003	0.001	
Mg	1.217	1.230	1.265	1.272	1.246	1.265	1.259	1.252	1.273	1.230	1.252	
Ca	0.461	0.470	0.457	0.458	0.463	0.454	0.465	0.470	0.471	0.429	0.471	
Na	0.042	0.032	0.027	0.019	0.016	0.018	0.011	0.010	0.017	0.027	0.024	
K	0.005	0.005	0.003	0.002	0.002	0.003	0.000	0.000	0.003	0.003	0.002	
Total	3.950	3.942	3.940	3.930	3.911	3.914	3.909	3.908	3.923	3.904	3.933	

ادامه جدول ۲.

Table 2. Continued.

Position	Core										
Sample	16/Q-72	17/Q-72	29/Q-72	30/Q-72	40/Q-72	41/Q-72	42/Q-72	43/Q-72	48/Q-72	49/Q-72	50/Q-72
Na <sub>2</sub> O	0.26	0.27	0.2	0.23	0.63	0.28	0.23	0.26	0.24	0.43	0.29
K <sub>2</sub> O	0.06	0.02	0.03	0.02	0.06	0.02	0.01	0.03	0.02	0.05	0.06
MgO	24.27	24.23	24.23	24.34	24.08	24.97	24.43	23.86	23.97	23.69	24.42
CaO	12.79	12.73	12.87	12.78	12.05	12.88	12.74	12.71	12.7	12.48	11.84
MnO	0.05	0.07	0.06	0.03	0.06	0.03	0.03	0.06	0.06	0.08	0.11
FeO	2.31	2.28	2.1	2.4	2.38	2.32	2.08	2.1	2.38	2.72	2.71
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.07	0.76	0.63	0.68	2.84	1.05	0.88	1.09	0.85	1.78	1.24
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0.03	0.02	0	0	0.01	0.04	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.05	0.1	0.1	0.53	0.21	0.09	0.18	0.01	0.08	0.11
SiO <sub>2</sub>	60.05	60.27	60.34	60.14	58.06	58.94	60.13	60.49	60.09	59.24	59.66
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.04	0.04	0.04	0.09	0.03	0.07	0.03	0.03	0.1	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.01	0.04	0.01	0.04	0.03	0.04	0.04	0.02	0	0
Total	100.97	100.73	100.64	100.77	100.85	100.78	100.73	100.85	100.38	100.69	100.48
Si	2.067	2.078	2.082	2.075	2.009	2.041	2.072	2.081	2.080	2.050	2.064
Al(iv)	0.067	0.078	0.082	0.075	0.009	0.041	0.072	0.081	0.080	0.050	0.064
Al(vi)	0.111	0.109	0.107	0.103	0.125	0.083	0.108	0.125	0.114	0.123	0.114
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.002	0.001	0.003	0.003	0.014	0.006	0.002	0.005	0.000	0.002	0.003
Ti	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.003	0.001
Fe(ii)	0.068	0.067	0.062	0.071	0.070	0.068	0.061	0.062	0.070	0.080	0.080
Mn	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003
Mg	1.246	1.246	1.246	1.252	1.242	1.289	1.255	1.224	1.237	1.222	1.259
Ca	0.472	0.470	0.476	0.472	0.447	0.478	0.470	0.468	0.471	0.463	0.439
Na	0.017	0.018	0.013	0.015	0.042	0.019	0.015	0.017	0.016	0.029	0.019
K	0.003	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.000	0.001	0.001	0.002	0.003
Total	3.920	3.916	3.912	3.918	3.947	3.945	3.916	3.905	3.912	3.927	3.921

Position	Core			
Sample Name	51/Q-72	55/Q-72	56/Q-72	57/Q-72
Na <sub>2</sub> O	0.42	0.38	0.35	0.28
K <sub>2</sub> O	0.05	0.05	0.03	0.03
MgO	23.83	24.56	24.85	24.7
CaO	12.68	12.65	12.64	12.11
MnO	0.03	0.07	0.06	0.01
FeO	2.68	2.9	2.62	2.37
NiO	0	0	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.67	1.51	1.56	0.87
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0.03	0.03	0.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.2	0.21	0.04
SiO <sub>2</sub>	59.27	58.09	58.46	58.03
TiO <sub>2</sub>	0.1	0.1	0.07	0.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.03	0.01	0
Total	100.81	100.57	100.89	98.55
Si	2.050	2.023	2.025	2.050
Al(iv)	0.050	0.023	0.025	0.050
Al(vi)	0.118	0.085	0.089	0.086
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.001	0.006	0.006	0.001
Ti	0.003	0.003	0.002	0.003
Fe(ii)	0.079	0.085	0.077	0.071
Mn	0.001	0.002	0.002	0.000
Mg	1.229	1.275	1.283	1.301
Ca	0.470	0.472	0.469	0.458
Na	0.028	0.026	0.024	0.019
K	0.002	0.002	0.001	0.001
Total	3.930	3.956	3.952	3.940

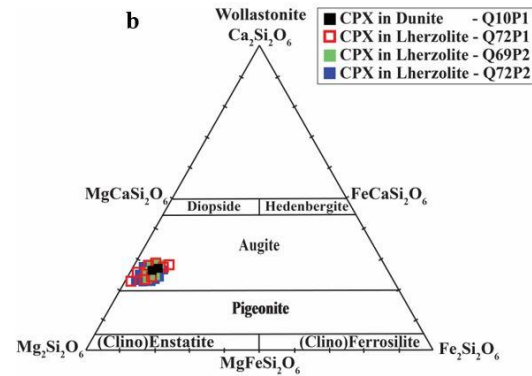
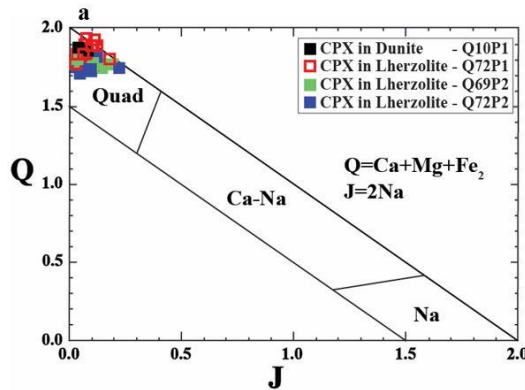


شکل ۶- ترکیب اولیوین‌های نمونه‌های آنالیز شده از پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی بر روی نمودار Mg# در مقابل Fe# (Deer Fe# et al., 1992)

Fig. 6. Composition of olivine minerals in the analyzed samples from peridotites of the Gharenaz-Alamkandi area on the Mg # versus Fe # diagram (Deer et al., 1992).

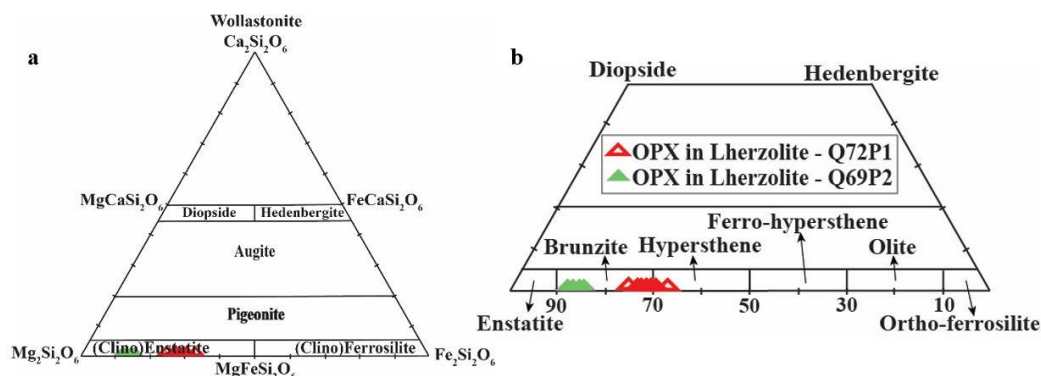
### شیمی کانی ارتوپیروکسن

در مطالعه پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، تعداد ۲۲ نقطه از ارتوپیروکسن‌ها آنالیز شد. نتایج حاصل به صورت درصد وزنی اکسیدهای اصلی به همراه مقدار کاتیون‌های محاسبه شده، در جدول ۳ آورده شده است. برای تفکیک ارتوپیروکسن‌ها از نمودار مثلثی Wo - En - Fs (Morimoto et al., 1989) استفاده شد که بر این اساس، ارتوپیروکسن‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در قلمرو کلینوآنستاتیت جای گرفته‌اند (شکل ۸a). همچنین مقدار عدد منیزیم در ارتوپیروکسن‌های پریدوتیت‌های منطقه بین ۰.۸۶ تا ۰.۹۹ می‌باشد، به عبارت دیگر ارتوپیروکسن‌ها از نوع کلسیک منیزیم-دار هستند (Deer et al. 1991). تقسیم‌بندی ارتوپیروکسن‌ها به-طور دقیق‌تر در دیاگرام (Deer et al. (1991) بیانگر دو دسته ترکیب شیمیایی است (شکل ۸b). دسته اول از نوع برونزیت بوده و اکثراً در اطراف اولیوین تشکیل شده‌اند و دسته دوم که از مقدار کمتری برخوردار هستند، از نوع هیپرستن می‌باشند (شکل ۸b).



شکل ۷- طبقه‌بندی کلینوپیروکسن‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی؛ (a) نمودار Q-J (Morimoto et al., 1989) و (b) نمودار مثلثی Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1989).

Fig. 7. Classification of clinopyroxenes in Gharenaz-Alamkandi area; (a) Q-J diagram (Morimoto et al., 1989) and (b) Triangular diagram of Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1989).



شکل ۸- طبقه‌بندی ارتوپیروکسن‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی؛ (a) نمودار سه‌تایی Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1989) (علامه مانند شکل ۸b) و (b) تقسیم‌بندی ارتوپیروکسن‌ها بر اساس نمودار طبقه‌بندی (Deer et al. (1991).

Fig. 8. Classification of orthopyroxenes in the peridotites of the Gharenaz-Alamkandi area; (a) Triangular diagram of Wo-En-Fs (Morimoto et al., 1989) (symbols are same as Fig. 8b) and (b) Classification diagram of orthopyroxenes based on Deer et al. (1991).



جدول ۳- نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های ارتوپروکسن در سنگ‌میزبان کانه‌زایی قره‌ناز- علم‌کندی. مقادیر بر حسب درصد است.

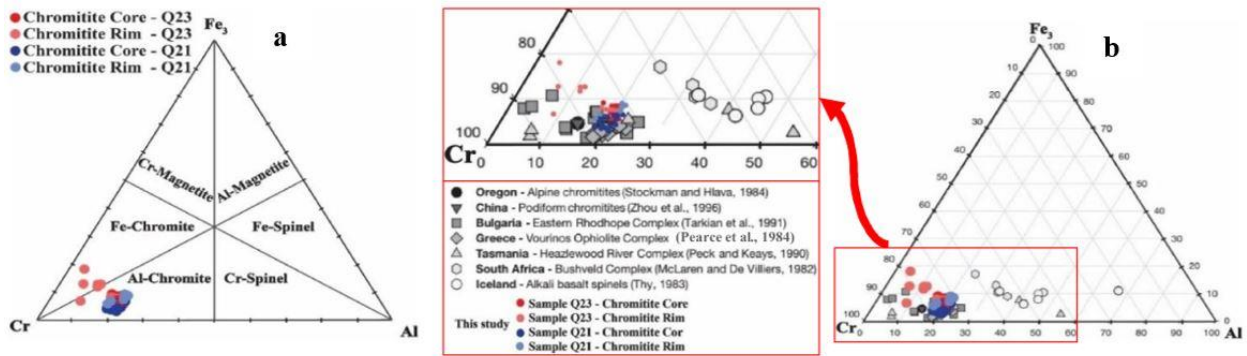
Table 3. Results of electron microprobe analysis on orthopyroxenes from the Qaranaz-Alam kandi peridotite. Values of oxides are in weight percentages. The structural formula of the minerals are based on 6 oxygen atoms.

position	Core							Rim				
Sample Name	3/Q-72	4/Q-72	9/Q-72	12/Q-72	18/Q-72	5/Q-69	6/Q-69	7/Q-72	8/Q-72	21/Q-72	22/Q-72	
Na <sub>2</sub> O	0	0.02	0	0.01	0	0.02	0.03	0.03	0.02	0	0.01	
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	
MgO	32.92	33.43	28.64	32.87	32.45	30.7	30.66	32.39	32.84	32.54	31.14	
CaO	0.09	0.08	0.13	0.18	0.08	0.53	0.55	0.14	0.08	0.07	0.14	
MnO	0.18	0.12	0.21	0.17	0.09	0.35	0.3	0.26	0.19	0.11	0.15	
FeO	22.51	23.43	26.23	22.33	23.8	7.55	7.25	24.39	24.54	24.35	24.97	
NiO	0.26	0.1	0.17	0.06	0.03	0	0	0.12	0.08	0.12	0.18	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.04	0	0	0	0.01	0.09	0.28	0.08	0.03	0.01	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0	0.01	0	0.02	0	0.04	0.04	0	0	0.02	
SiO <sub>2</sub>	42.98	42.66	42.65	42.93	42.38	60.93	60.96	42.26	41.24	42.9	42.35	
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.02	0	0.01	0.04	0.03	0	0.05	0	0	0.03	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0	0	
Total	99.05	99.9	98.04	98.57	98.89	100.12	99.91	99.96	99.07	100.12	99	
Si	1.671	1.651	1.703	1.674	1.659	2.090	2.093	1.644	1.624	1.662	1.668	
Al(iv)	0.004	0.002	0.000	0.000	0.000	0.090	0.093	0.013	0.004	0.001	0.000	
Al(vi)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.091	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000	
Fe(iii)	0.904	0.962	0.829	0.906	0.939	0.000	0.000	0.962	1.028	0.934	0.918	
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	
Ti	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	
Fe(ii)	0.228	0.264	0.014	0.233	0.221	0.222	0.213	0.232	0.290	0.206	0.159	
Mn	0.006	0.004	0.007	0.006	0.003	0.010	0.009	0.009	0.006	0.004	0.005	
Mg	1.908	1.929	1.705	1.910	1.894	1.570	1.569	1.879	1.928	1.879	1.828	
Ca	0.004	0.003	0.006	0.008	0.003	0.019	0.020	0.006	0.003	0.003	0.006	
Na	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.001	0.002	0.002	0.002	0.000	0.001	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Total	4.271	4.288	4.236	4.272	4.279	3.914	3.911	4.285	4.306	4.276	4.268	

Position	Core							Rim				
Sample Name	7/Q-69	8/Q-69	9/Q-69	15/Q-69	16/Q-69	17/Q-69	20/Q-69	18/Q-69	19/Q-69	10/Q-69	11/Q-69	
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.05	0.03	0.04	0	0.05	0.03	0.03	0.04	0	0.04	
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0.02	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0	
MgO	31.27	29.21	30.59	30.97	30.41	30.91	30.56	30.49	30.63	31.1	30.67	
CaO	0.53	0.56	0.57	0.49	0.6	0.69	0.69	0.53	0.56	0.53	0.56	
MnO	0.33	0.35	0.34	0.31	0.32	0.28	0.33	0.34	0.32	0.31	0.31	
FeO	7.61	7.61	7.58	6.98	7.08	7.24	7.31	7.71	7.1	7.48	7.52	
NiO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.04	0.04	0.03	0.05	0.06	0.04	0.03	0.08	0.06	0.04	
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.01	0.03	0.04	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.05	0	
SiO <sub>2</sub>	61.03	58.73	60.87	61.21	61.78	61.18	61.49	60.7	60.92	61.32	60.73	
TiO <sub>2</sub>	0	0	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0	0.01	0	0.06	0.02	0.03	0	0	0	0.03	
Total	100.89	96.56	100.09	100.09	100.36	100.49	100.57	99.87	99.74	100.87	99.92	
Si	2.081	2.093	2.090	2.094	2.108	2.089	2.098	2.090	2.093	2.087	2.088	
Al(iv)	0.081	0.093	0.090	0.094	0.108	0.089	0.098	0.090	0.093	0.087	0.088	
Al(vi)	0.081	0.094	0.091	0.095	0.110	0.092	0.100	0.091	0.097	0.090	0.090	
Fe(iii)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cr	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	
Ti	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	
Fe(ii)	0.221	0.232	0.223	0.204	0.208	0.211	0.214	0.227	0.209	0.218	0.221	
Mn	0.010	0.011	0.010	0.009	0.009	0.008	0.010	0.010	0.009	0.009	0.009	
Mg	1.589	1.552	1.566	1.580	1.547	1.574	1.554	1.565	1.569	1.578	1.572	
Ca	0.019	0.021	0.021	0.018	0.022	0.025	0.025	0.020	0.021	0.019	0.021	
Na	0.003	0.003	0.002	0.003	0.000	0.003	0.002	0.002	0.003	0.000	0.003	
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
Total	3.924	3.914	3.914	3.910	3.897	3.915	3.907	3.915	3.910	3.916	3.916	

chromites قرار می‌گیرند (شکل ۹a). مقایسه شیمی کرومیت‌های این منطقه با دیگر ذخایر کرومیت جهان نشانگر اینست که کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی شباهت زیادی به کمپلکس رادهاپ شرقی در بلغارستان، کمپلکس افیولیتی ورنوس در یونان، کرومیت‌های پادیفرم چین و کرومیت‌های آلپی اورگون دارند (شکل ۹b).



شکل ۹- ترکیب شیمیایی کرومیت‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی بر روی؛ (a) نمودار سه‌تایی  $Cr-Al-Fe^{3+}$  (Barnes and Roeder, 2001) و (b) مقایسه شیمی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی با برخی از کرومیت‌های جهان در نمودار سه‌تایی  $Fe^{3+}-Al-Cr$ . داده‌ها از (Sattari and Brenan, 2002) گرفته شده است.

Fig. 9. The chemical composition of the chromites in the peridotites of the Gharenaz- Alamkandi area on the: (a) Triangular diagram of  $Fe^{3+}-Al-Cr$  (Barnes and Roeder, 2001) and (b) Comparison of chromite in the Gharenaz- Alamkandi area with some of the world's chromites in the  $Fe^{3+}-Al-Cr$  diagram. The data are from Sattari, and Brenan, (2002).

علم‌کندی با  $Cr\# > 70$  مشابه کانسارهای کرومیت نوع کرم بالا می‌باشد. با توجه به مقادیر  $Cr_2O_3$  بین ۵۰/۴۳ تا ۶۰/۸۲ درصد وزنی و مقادیر  $Al_2O_3$  بین ۲/۲ تا ۱۱/۱۱ درصد وزنی، نمونه‌های کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در دیاگرام  $Cr_2O_3$  در مقابل  $Al_2O_3$  (Arai et al., 2004)، از نوع High-Cr و پادیفرم تعیین شده‌اند (شکل ۱۰c).

### محیط تکتوماگمایی پریدوتیت‌ها

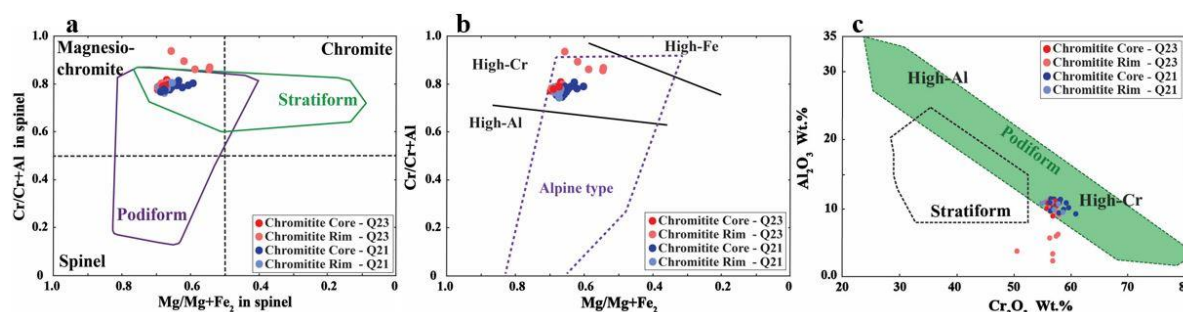
برای شناسایی محیط تکتونوماگمایی پریدوتیت‌های میزبان کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، از ترکیب شیمیایی کرومیت‌ها استفاده شده است. با توجه به محتوای  $TiO_2$  که از ۰/۱۲ تا ۰/۲۸ درصد وزنی متغیر است، در نمودار تغییرات Cr در مقابل  $TiO_2$  (Bonavia et al., 1993)، نمونه‌های کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در محدوده افیولیتی قرار می‌گیرند (شکل ۱۱a). همچنین، در نمودار  $TiO_2$  در مقابل  $Cr_2O_3$  (Ferrario and Garuti, 1987; Arai et al., 2004)، نمونه‌های کرومیت منطقه مورد مطالعه در محدوده افیولیتی و پادیفرم قرار گرفته‌اند (شکل ۱۱b و c). طبق نظریات محققین مختلف (نظیر Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992; Barnes and Roeder,

با توجه به مقادیر  $Cr\# = Cr/(Cr+Al)$  و  $Mg\# = Mg/(Mg+Fe^{2+})$  برای نمونه‌های کرومیتی منطقه مورد مطالعه (۰/۷۷۳ <  $Cr\# < ۰/۹۶۹$  و  $۰/۴۵۶ < Mg\# < ۰/۹۶۹$ )، نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده منیزیم-کرومیت یا کرومیت‌های منیزیم بالا قرار می‌گیرند که از نظر شکل ساختاری می‌تواند نوع پادیفرم و استراتیفرم را دارا باشد (شکل ۱۰a). با توجه به جدول ۴ و مقدار  $Cr\#$  نمونه‌های آنالیز شده، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی از نوع High-Cr ( $Cr\# > 70$ ) بوده و مقدار  $TiO_2$  پایین و بین ۰/۱۲ تا ۰/۲۸ درصد وزنی می‌باشد. با توجه به مقادیر  $Cr_2O_3$ ،  $Al_2O_3$  و  $Fe_2O_3$  نسبت به  $Mg/Mg+Fe^{2+}$  (Proenza and Gervilla, 1999)، کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در گستره کرومیت‌های نوع آلپی غنی از کروم (High-Cr) قرار می‌گیرد (شکل ۱۰b).

کانسارهای کرومیت بالا (High-Cr) دارای نسبت تغییرات  $Cr/Cr+Al$  بیشتر از ۰/۶ و  $Ti$  پایین و مقادیر عناصر گروه پلاتین بالاتری نسبت به کانسارهای نوع آلومینیوم بالا (High-Al) هستند. در حالیکه کانسارهای نوع Al بالا حاوی نسبت تغییرات  $Cr/Cr+Al$  بین ۰/۶ - ۰/۴ و  $Ti$  بالا و  $Al_2O_3 > 25wt\%$  می‌باشند. براساس این تقسیم‌بندی، کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز -

(Mondal et al., 2001). با توجه به نمودار مثلثی Cr-Al-Fe<sup>3+</sup> (2006) برای کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، مقادیر Fe<sup>3+</sup> در آنها بین ۰/۵۶ تا ۲/۸۱ و مقادیر Cr بین ۱۰/۴ تا ۱۲/۴۹۴ و محتوای Al بین ۰/۶۹۵ تا ۳/۳۴۱ است. با توجه به این داده‌ها، نقاط آنالیز شده کرومیت‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده کرومیت‌های افیولیتی و با منشاء کماتیت‌ها (High-Mg) و بونینیتی‌ها قرار می‌گیرند (شکل ۱۲d).

(2001)، کرومیت‌های پادیفرم و High-Cr، معمولاً در گدازه‌های بونینیتی یافت می‌شوند. از این رو براساس دیاگرام Cr# = (Cr/Cr+Al) در مقابل TiO<sub>2</sub> (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1994)، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در محدوده سری بونینیتی (شکل a-12) و نوع پادیفرم (شکل c12) قرار گرفته‌اند. اما کرومیت‌هایی که از گدازه‌های بازالتی نوع MORB حاصل می‌شوند، به ندرت مقدار Cr# بالاتر از ۷۰ دارند (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1994; Barnes and Roeder,



شکل ۱۰- ترکیب شیمیایی کرومیت‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی بر روی نمودارهای؛ (a) نمودار Cr# در مقابل Mg# Irvine (1967) و (b) نمودار Cr# در مقابل Mg# (Proenza and Gervilla, 1999). محدوده آلپی از (Leblanc and Nicolas, 1992) و محدوده‌های انواع کرومیت High-Al، High-Cr و High-Fe از Zhou and Bai (1992) و نمودار درصد وزنی Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> در مقابل Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> محدود پادیفرم و استراتیفرم از Arai et al. (2004) و تعیین کرومیت‌های High-Al، High-Cr از Dönmez (2014).

Fig. 10. The chemical composition of chromites in the peridotites of the Gharenaz- Alamkandi area on the (a) Diagram of Cr/Cr+Al versus Mg/Mg+Fe<sup>2+</sup> (Leblanc and Nicolas, 1992), (b) Diagram of Cr/Cr+Al versus Mg/Mg+Fe<sup>2+</sup> (Proenza and Gervilla, 1999). The Alpine field is from Irvine (1967) and the High-Al, High-Cr, High-Fe chromite are from Zhou and Bai (1992), and (c) Weight percent diagram of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> vs. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The podiform and stratiform fields of chromite are from Arai et al. (2004) and the fields of High-Cr, High-Al chromites are from Dönmez (2014).

جدول ۴- نتایج آنالیزهای الکترون میکروپروپ بر روی کانی‌های کرومیت در کانه‌زایی کرومیت قره‌ناز - علم‌کندی، مقادیر بر حسب درصد می‌باشند. Table 4. Results of electron microprobe analysis on chrom- spinel minerals in the Qaranaz - Alamkandi peridotites. Values of oxides are in weight percentages. The structural formula of the minerals are based on 32 oxygen atoms.

Position	Core						
	Sample Name	1 /Q23-P2	2 /Q23-P2	3 /Q23-P2	4 /Q23-P2	14 /Q23-P2	15 /Q23-P2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		57.22	57.16	56.33	55.97	55.76	56.44
FeO		15.99	15.83	16.58	15.86	17.35	18.24
MgO		13.68	14.02	13.94	13.99	13.46	13.23
MnO		1.27	1.23	1.2	1.23	1.37	1.49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		10.33	11.08	10.61	10.72	10.05	8.65
Na <sub>2</sub> O		0.05	0.03	0	0.02	0.01	0.06
SiO <sub>2</sub>		0.07	0.17	0.06	0.12	0.07	0.17
TiO <sub>2</sub>		0.2	0.18	0.15	0.17	0.15	0.12
K <sub>2</sub> O		0	0.02	0.01	0	0	0
CaO		0.02	0	0	0.03	0.02	0
NiO		0.82	0.38	0.11	0.75	0.5	0.47
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.06	0.07	0.08	0.1	0.09	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0	0	0	0	0	0
Total		99.71	100.17	99.07	98.96	98.83	98.94
Cr		11.7319	11.5637	11.5003	11.4928	11.5076	11.7206
Fe(iii)		0.9841	0.9242	1.1648	1.0762	1.2863	1.4503
Fe(ii)		2.4835	2.4631	2.4154	2.3683	2.5010	2.5560
Mg		5.2892	5.3485	5.3668	5.4171	5.2383	5.1809

ادامه جدول ۴.

Table 4. Continued

Mn	0.2789	0.2666	0.2624	0.2706	0.3029	0.3315
Al	3.1572	3.3414	3.2290	3.2813	3.0918	2.6777
Si	0.0182	0.0435	0.0155	0.0312	0.0183	0.0447
Ti	0.0390	0.0346	0.0291	0.0332	0.0295	0.0237
V	0.0125	0.0144	0.0166	0.0208	0.0188	0.0147
Ca	0.0056	0.0000	0.0000	0.0083	0.0056	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.788	0.776	0.781	0.778	0.788	0.814
Mg/Mg+Fe(ii)	0.680	0.685	0.690	0.696	0.677	0.670
Fe/Fe+Mg	0.396	0.388	0.400	0.389	0.420	0.436
Position	Core					
Sample Name	17 /Q21-P2	18 /Q21-P2	19 /Q21-P2	24 /Q21-P2	25 /Q21-P2	28 /Q21-P2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.27	56.26	56.37	56.44	57.84	57.78
FeO	16.56	16.83	16.56	18.35	17.79	16.2
MgO	13.64	13.73	14.02	12.13	11.61	13.79
MnO	1.1	1.06	1.04	1.09	1.23	0.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.67	10.76	11.04	9.71	9.41	10.9
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.01	0.03	0	0	0.03
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.12	0.09	0.32	0.02	0.17
TiO <sub>2</sub>	0.18	0.17	0.18	0.17	0.18	0.2
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0.02	0	0	0.02
CaO	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0
NiO	0.33	0.8	0	0.38	0.05	0.55
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07	0.06	0.06	0.06	0.09	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0	0.03	0	0.03	0.05
Total	98.99	99.82	99.47	98.67	98.26	100.65
Cr	11.5476	11.4899	11.4378	11.7768	12.1559	11.6928
Fe(iii)	1.0670	1.0938	1.0949	0.9538	0.7942	0.8365
Fe(ii)	2.5274	2.5416	2.4591	3.0960	3.1603	2.6310
Mg	5.2785	5.2877	5.3644	4.7729	4.6012	5.2624
Mn	0.2418	0.2319	0.2261	0.2436	0.2769	0.1886
Al	3.2641	3.2758	3.3393	3.0203	2.9481	3.2882
Si	0.0182	0.0310	0.0231	0.0845	0.0053	0.0435
Ti	0.0351	0.0330	0.0347	0.0337	0.0360	0.0385
V	0.0146	0.0124	0.0123	0.0127	0.0192	0.0185
Ca	0.0056	0.0028	0.0082	0.0057	0.0028	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.780	0.778	0.774	0.796	0.805	0.781
Mg/Mg+Fe(ii)	0.676	0.675	0.686	0.607	0.593	0.667
Fe/Fe+Mg	0.405	0.407	0.398	0.459	0.462	0.397
Position	Core					
Sample Name	29 /Q21-P2	30 /Q21-P2	31 /Q21-P2	32 /Q21-P2	33 /Q21-P2	34 /Q21-P2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	59.19	57.44	56.66	58.61	57.76	59.62
FeO	16.32	16.81	16.94	16.89	16.28	16.24
MgO	12.79	13.87	13.22	13.61	13.98	13.21
MnO	0.93	0.94	0.9	1.03	0.88	0.89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.83	10.75	10.16	9.9	11.11	10.09
Na <sub>2</sub> O	0.04	0	0.03	0.03	0.01	0
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.07	0.05	0.11	0.07	0.11
TiO <sub>2</sub>	0.19	0.19	0.14	0.19	0.16	0.17
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0.01
CaO	0	0.01	0	0.01	0.01	0.03
NiO	0	0.61	0.96	0.3	0.26	0.31
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.11	0.08	0.07	0.07	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.01	0	0	0.01
Total	100.44	100.8	99.15	100.75	100.59	100.78
Cr	12.0324	11.6039	11.7335	11.8799	11.6323	12.1123
Fe(iii)	0.5597	1.0274	1.0319	0.9847	0.9211	0.6912
Fe(ii)	2.9493	2.5644	2.6785	2.6363	2.5467	2.7984
Mg	4.9029	5.2838	5.1625	5.2021	5.3092	5.0608
Mn	0.2025	0.2034	0.1997	0.2237	0.1899	0.1937
Al	3.2819	3.2373	3.1364	2.9913	3.3353	3.0557



ادامه جدول ۴.

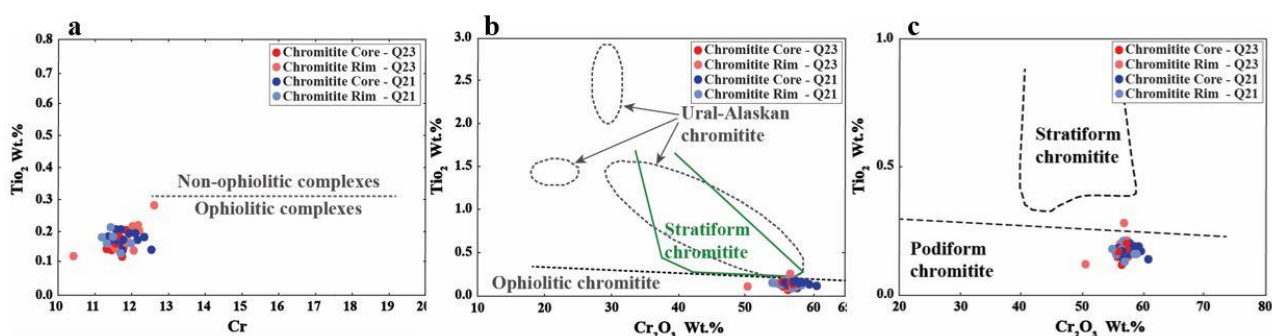
Table 4. Continued.

Si	0.0180	0.0179	0.0131	0.0282	0.0178	0.0283
Ti	0.0367	0.0365	0.0276	0.0366	0.0307	0.0329
V	0.0165	0.0225	0.0168	0.0144	0.0143	0.0185
Ca	0.0000	0.0027	0.0000	0.0027	0.0027	0.0083
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.786	0.782	0.789	0.799	0.777	0.799
Mg/Mg+Fe(ii)	0.624	0.673	0.658	0.664	0.676	0.644
Fe/Fe+Mg	0.417	0.405	0.418	0.410	0.395	0.408
Position	Core					
Sample Name	5 /Q23-P2	6 /Q23-P2	7 /Q23-P2	8 /Q23-P2	35 /Q21-P2	36 /Q21-P2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	57.83	57.48	56.3	56.39	57.69	60.82
FeO	17.85	17.02	16.37	16.24	16.01	16.09
MgO	13.48	13.76	13.81	13.94	13.94	12.87
MnO	1.27	1.32	1.24	1.25	0.96	1.03
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.14	9.47	10.89	10.49	11.07	9.24
Na <sub>2</sub> O	0.02	0.01	0.02	0.01	0.07	0
SiO <sub>2</sub>	0.07	0.04	0.05	0.08	0.01	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.17	0.15	0.16	0.15	0.2	0.14
K <sub>2</sub> O	0	0	0.03	0	0	0
CaO	0.03	0.02	0.05	0.02	0	0
NiO	0.03	0.5	0.34	0	0.36	0.37
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.08	0.08	0.11	0.09	0.11	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.01	0.04	0.02	0.02
Total	99.97	99.85	99.38	98.7	100.44	100.71
Cr	11.8134	11.7644	11.4885	11.5482	11.6589	12.4469
Fe(iii)	1.2845	1.2506	1.0882	1.1309	0.9016	0.6248
Fe(ii)	2.5722	2.4339	2.4450	2.3868	2.5207	2.8580
Mg	5.1927	5.3107	5.3141	5.3834	5.3125	4.9668
Mn	0.2779	0.2894	0.2711	0.2742	0.2078	0.2258
Al	2.7833	2.8893	3.3126	3.2024	3.3350	2.8189
Si	0.0181	0.0104	0.0129	0.0207	0.0026	0.0233
Ti	0.0330	0.0292	0.0311	0.0292	0.0385	0.0273
V	0.0166	0.0166	0.0228	0.0187	0.0225	0.0083
Ca	0.0083	0.0055	0.0138	0.0056	0.0000	0.0000
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.809	0.803	0.776	0.783	0.778	0.815
Mg/Mg+Fe(ii)	0.669	0.686	0.685	0.693	0.678	0.635
Fe/Fe+Mg	0.426	0.410	0.399	0.395	0.392	0.412
Position	Rim					
Sample Name	9 /Q23-P2	10 /Q23-P2	11 /Q23-P2	12 /Q23-P2	13 /Q23-P2	16 /Q23-P2
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	56.85	56.77	57.32	57.21	56.22	50.43
FeO	26.42	24.62	23.74	24.08	24.03	20.3
MgO	8.32	13.04	11.54	10.62	10.37	14.97
MnO	1.41	1.18	1.32	1.38	1.37	1.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.33	2.2	5.99	5.89	5.63	3.74
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0	0.06	0	0.05
SiO <sub>2</sub>	0.45	0.72	0.04	0.14	0.04	6.81
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.14	0.21	0.21	0.2	0.12
K <sub>2</sub> O	0	0.01	0	0	0.01	0
CaO	0.95	0.14	0.01	0	0	0.14
NiO	0.98	0.25	0.42	0.96	0.45	0.16
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.08	0.15	0.1	0.13	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0.01	0	0.02
Total	99.12	99.16	100.74	100.66	98.45	98.36
Cr	12.4942	12.0298	11.9676	12.1034	12.1094	10.4021
Fe(iii)	2.0208	2.8156	2.0318	1.8581	1.9507	0.8285
Fe(ii)	4.1206	2.7024	3.2107	3.5301	3.5237	3.6003
Mg	3.4481	5.2107	4.5435	4.2368	4.2120	5.8228
Mn	0.3320	0.2679	0.2952	0.3128	0.3161	0.3381
Al	1.0910	0.6949	1.8643	1.8575	1.8077	1.1500
Si	0.1251	0.1930	0.0106	0.0375	0.0109	1.7768
Ti	0.0585	0.0282	0.0417	0.0423	0.0410	0.0235

ادامه جدول ۴.

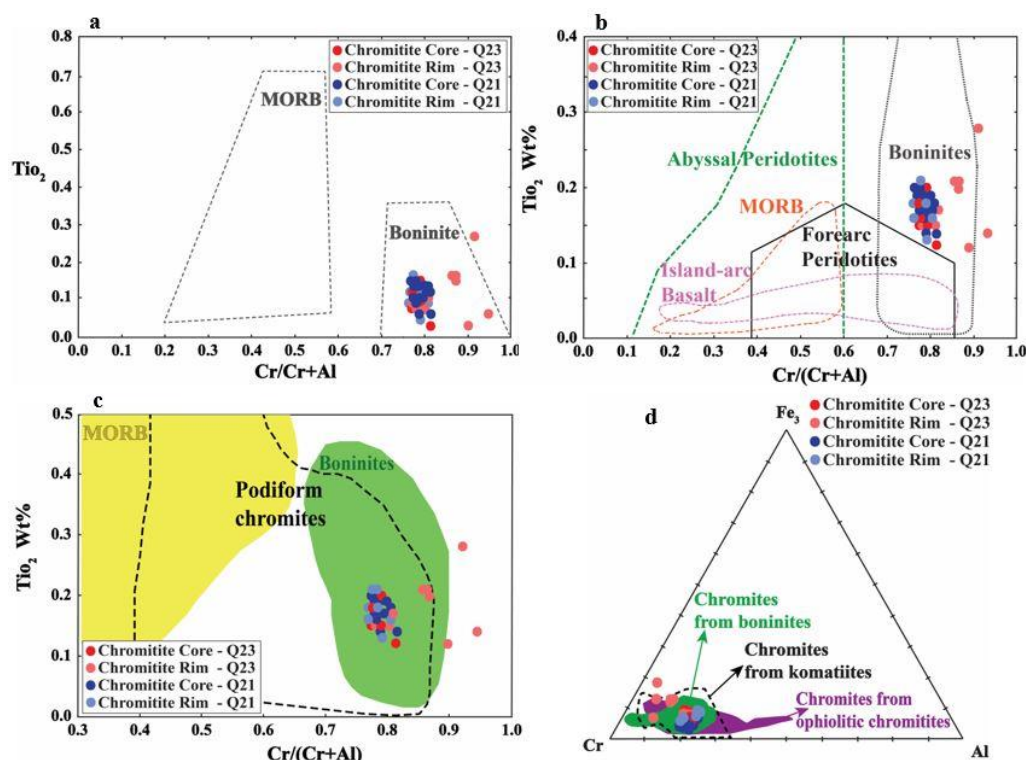
Table 4. Continued.

Position	Rim					
Sample Name	20 /Q21-P2	21 /Q21-P2	22 /Q21-P2	23 /Q21-P2	26 /Q21-P2	27 /Q21-P2
V	0.0267	0.0172	0.0318	0.0215	0.0284	0.0188
Ca	0.2829	0.0402	0.0028	0.0000	0.0000	0.0391
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.920	0.945	0.865	0.867	0.870	0.900
Mg/Mg+Fe(ii)	0.456	0.658	0.586	0.545	0.544	0.618
Fe/Fe+Mg	0.640	0.514	0.536	0.560	0.565	0.432
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58.58	56.64	56.32	56.94	55.46	54.86
FeO	17.16	16.84	16.96	16.59	17	17.75
MgO	13.3	14.18	13.68	13.87	13.71	13.74
MnO	1.15	1.06	1.11	1.27	1.24	1.29
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.47	10.99	10.64	10.03	10.91	10.77
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.02	0.05	0.03	0.01
SiO <sub>2</sub>	0.08	0	0.08	0	0.11	0.09
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.21	0.18	0.13	0.16	0.18
K <sub>2</sub> O	0	0	0	0	0	0
CaO	0.03	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
NiO	0.93	0.54	0.8	0.38	0.57	0.56
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	0.08	0.06	0.07	0.07	0.06
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.02	0	0	0.01	0
Total	100.99	100.61	99.86	99.35	99.28	99.33
Cr	11.9608	11.4215	11.5084	11.6625	11.3510	11.2194
Fe(iii)	1.0348	1.1780	1.1269	1.2100	1.1866	1.3682
Fe(ii)	2.6711	2.4137	2.5386	2.3840	2.4936	2.4713
Mg	5.1208	5.3921	5.2713	5.3571	5.2914	5.2989
Mn	0.2515	0.2290	0.2430	0.2787	0.2719	0.2826
Al	2.8823	3.3036	3.2410	3.0624	3.3286	3.2833
Si	0.0207	0.0000	0.0207	0.0000	0.0285	0.0233
Ti	0.0311	0.0403	0.0350	0.0253	0.0312	0.0350
V	0.0186	0.0164	0.0124	0.0145	0.0145	0.0124
Ca	0.0083	0.0055	0.0028	0.0056	0.0028	0.0055
Zn	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Cr/Cr+Al	0.806	0.776	0.780	0.792	0.773	0.774
Mg/Mg+Fe(ii)	0.657	0.691	0.675	0.692	0.680	0.682
Fe/Fe+Mg	0.420	0.400	0.410	0.402	0.410	0.420



شکل ۱۱- ویژگی شیمیایی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی برای مشخص کردن جایگاه تکتونیکی سنگ‌های میزبان آنها؛ (a) نمودار تغییرات Cr در مقابل TiO<sub>2</sub> (Bonavia et al., 1993) و (b-c) نمودار TiO<sub>2</sub> در مقابل Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. مرز بین استراتیفرم و پادیفرم از Ferrario and Garuti (1987) and Arai et al. (2004) and Garuti (2005) و محدوده Ural-Alaskan از Garuti et al. (2005).

Fig. 11. The chemical composition of chromites in the peridotites of the Gharenaz - Alamkandi area to determine the tectonic setting of their host rocks on the, (a) Diagram of Cr vs. TiO<sub>2</sub> (Bonavia et al., 1993), and (b-c) Diagram of TiO<sub>2</sub> vs. Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. The boundary between stratiform and podiform chromite is from Ferrario and Garuti (1987) and Arai et al. (2004) and the Ural-Alaskan field is from Garuti et al. (2005).



شکل ۱۲- ویژگی شیمیایی کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی جهت مشخص کردن جایگاه تکتوماگمایی سنگ‌های میزبان؛ (a-c) نمودارهای  $\text{Cr}\#$  در مقابل  $\text{TiO}_2$  محدودده‌های Boninites از Arai (1992) و Ishikawa et al. (2002)؛ محدودده‌های MORB و Island-arc basalt از Arai (1992) و Dick and Bullen (1984)؛ محدودده‌های Abyssal peridotite از Arai (1992)، محدودده‌های Forearc peridotite از Bloomer and Fisher (1987)، Bloomer and Hawkins (1983)، Ishii et al. (1992)، Parkinson and Pearce (1998) و Pearce et al. (2000) و محدودده پادیفرم از Pagé and Barnes (2009) برای مقایسه جایگاه‌های تکتونیکی استفاده شده‌اند و (d) نمودار مثلثی  $\text{Cr} - \text{Al} - \text{Fe}^{3+}$  جهت تعیین موقعیت تکتونیکی کرومیت‌ها (Mondal et al., 2006).

Fig. 12. The chemical composition of chromites of the Gharenaz- Alamkandi area to determine the tectomagmatic setting of host rocks; (a-c) Diagrams of  $\text{Cr}\#$  versus  $\text{TiO}_2$  (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1994). Field of boninites is from Arai (1992) and Ishikawa et al. (2002); fields of MORB and island-arc basalt are from Arai (1992), fields of abyssal peridotite is from Arai (1994) and Dick and Bullen (1984), field of Forearc peridotite id from Bloomer and Hawkins (1983), Bloomer and Fisher (1987), Ishii et al. (1992), Parkinson and Pearce (1998) and Pearce et al. (2000), fields of podiform are from Pagé and Barnes (2009), and (d) The triangular diagram of  $\text{Cr} - \text{Al} - \text{Fe}^{3+}$  used to determine the tectonic setting of the chromites (Mondal et al., 2006).

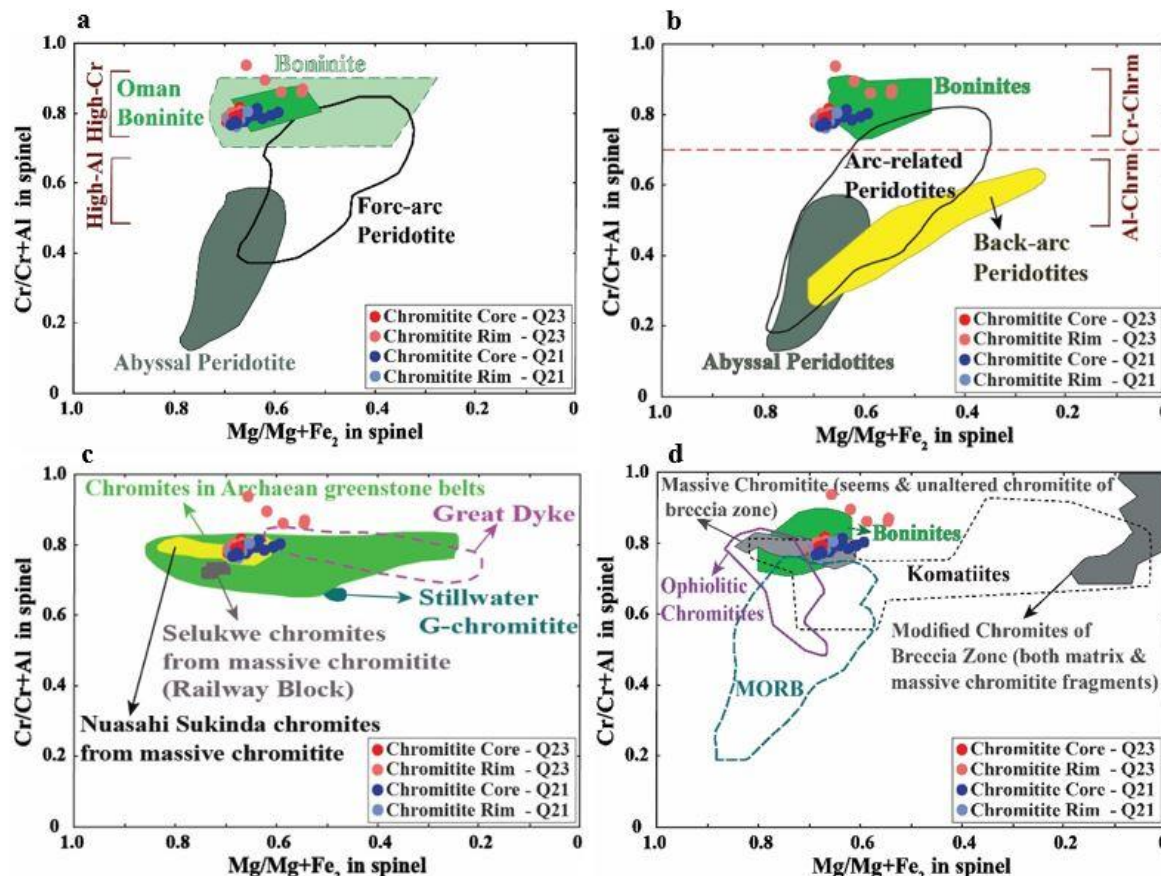
نشان می‌دهند که کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی از نوع High-Cr هستند (شکل ۱۳ a و b). در دیاگرام  $\text{Mg}\#$  در مقابل  $\text{Cr}\#$  (شکل ۱۳ c)، شباهت کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی با مجموعه‌های اولترامافیک Archean در کمرندهای سبز نشان داده شده است. جایگاه کرومیت‌های منطقه مورد مطالعه با دیگر کرومیت‌های مجموعه‌های اولترامافیک Archean در کمرندهای سبز مثل Great dyke و Selukwe در زیمبابوه و Stillwater در آمریکا در این شکل نشان داده شده است. علاوه بر آن، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی با کرومیت‌های توده‌ای Nuasahi و Sukinda در هند که از کرومیت‌های High-Mg و Low-Al هستند و در محیط Low-Al یا Low-Al مرتبط با ماگمای بونینیتی

از آنجا که مقدار  $\text{Mg}\#$  و  $\text{Cr}\#$  در کرومیت‌ها دارای تغییرات کمی هستند (Mondal et al., 2006)، از این‌رو برای بررسی ویژگی‌های ماگمای اولیه و ویژگی‌های تکتونیکی می‌توان از آن استفاده کرد. براساس این محاسبات و با توجه به مقدار  $\text{Mg}\#$  کرومیت‌های مورد مطالعه (بین ۰/۴۵۶ تا ۰/۶۹۶) و مقدار  $\text{Cr}\#$  کرومیت‌های مورد مطالعه (بین ۰/۷۷۳ تا ۰/۹۴۵) و با استفاده از نمودارهای  $\text{Mg}\#$  در مقابل  $\text{Cr}\#$  (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992) می‌توان نتیجه گرفت که ماگمای مولد کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی از سری بونینیت بوده و شباهت زیادی به نمونه‌های بونینیتی عمان دارند (شکل ۱۳ a). همچنین، نمودارها

برخی (1982; Grove et al. 1999; Wilson et al. 2003) کوماتیت‌های درون کمرندهای سبز حاصل فرآیند ذوب بخشی گوشته متاسوماتیزه آبدار در دماهای نسبتاً پایین در محیط‌های فرافروانش در آرکن هستند. علاوه بر این، Parman et al. (2001) پیشنهاد می‌کند که کوماتیت‌های غنی از منیزیم (High-Mg) معادل بونینیت‌های آرکن هستند.

Komatiitic magma در کمرند سبز تشکیل شده‌اند، مشابهت دارند.

همانطور که در دیاگرام Mg# در مقابل Cr# (Mondal et al., 2007؛ شکل ۱۳) مشخص است، کرومیت‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده‌های بونینیتی و کرومیت‌های نوع توده‌ای قرار می‌گیرند. همچنین، بخشی از نمونه‌های کرومیتی نیز در حوزه کوماتیت قرار گرفته‌اند. بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی و تجربی (Allégre, )



شکل ۱۳- نمودارهای تکتونوماگمایی Mg# در مقابل Cr# برای کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی؛ (a) نمودار تغییر یافته Dick and Bullen (1984). نمودار از Ahmed (2013) (b) نمودار از Stern et al. (2004) که بونینیت و Back-arc peridotites از (2004) محدود کرومیت‌های درون اسپینل در Arc-related peridotites از Arai and Ishimaru (2008) و Arai et al. (2011)، و abyssal peridotites از Arai (1994) و Arai et al. (2011)؛ Dick and Bullen (1984) (c) نمودار از Dick and Bullen (1984) و Arai et al. (2011) و Arai (1994) و Mondal et al. (2006) (d) نمودار از Mondal et al. (2007).

Fig. 13. Tectonomagmatic diagrams of Mg # versus Cr # for the chromitites of the Gharenaz - Alamkandi area; (a) Diagram of Cr# vs. Mg#, modified after Dick and Bullen (1984), (b) Diagram of Ahmed (2013) which boninite and back-arc peridotite data are from Stern et al. (2004), field of chromian spinel in arc-related peridotites is from Arai and Ishimaru (2008); Arai et al. (2011), and abyssal peridotites is from Arai (1994); Arai et al. (2011); Dick and Bullen (1984), (c) Tectonic discriminant diagram from Mondal et al. (2006), and (d) Comparison of chromites composition from primary magmas from Mondal et al. (2007).

نتایج که از بخش شیمی‌کانی در بخش قبلی حاصل شد، کانه‌زایی کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی از نوع (High-Cr) بوده و کانسارهای کرومیت نوع Cr بالا از ماگمایی با درجه ذوب بخشی

در دیاگرام Mg# در مقابل Cr# (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992؛ شکل ۱۴a)، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، از ماگمای با منشأ بونینیت هم‌خوانی دارند. همچنین، با توجه به

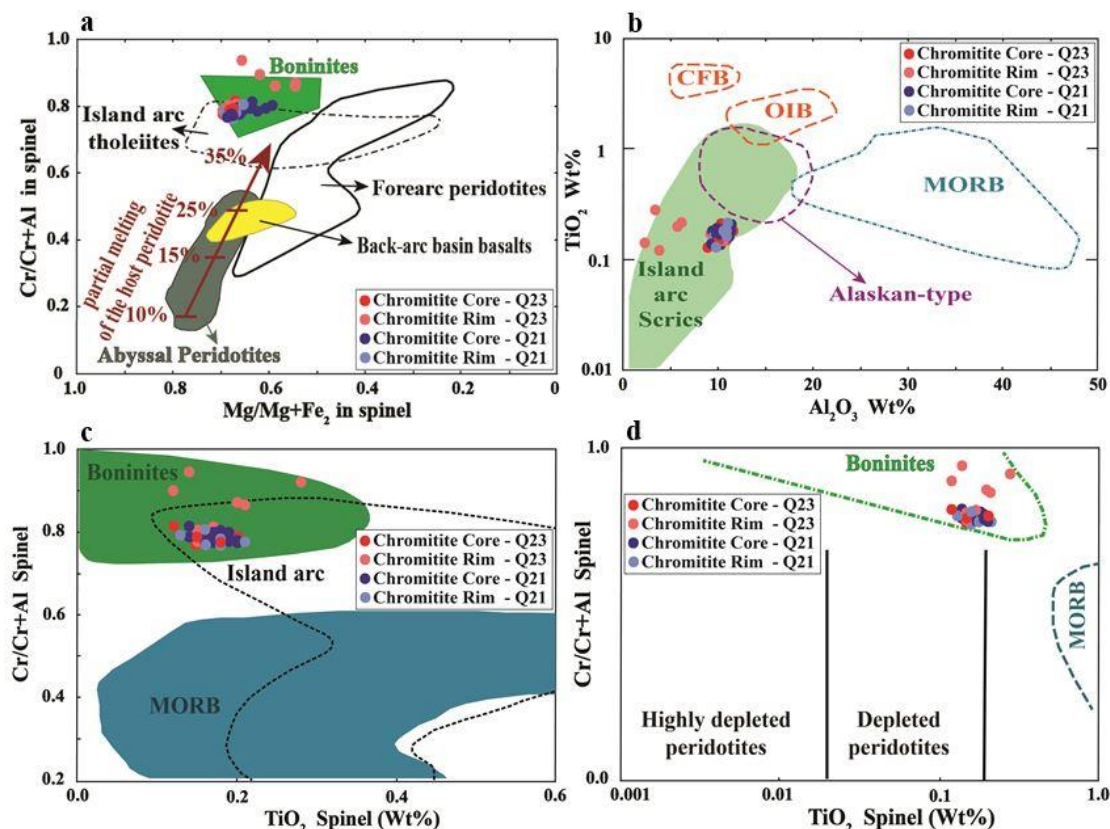


پذیرفته شده‌اند ( Zhou et al., 1998; Uysal et al., 2007; Rollinson, 2005; Rollinson and Adetunji, 2013). با توجه به نمودار  $Cr/Cr+Al$  در مقابل  $Mg/Mg+Fe^{+2}$  (Proenza and Gervilla., 1999)، کرومیت‌های محدوده مورد مطالعه در گستره کرومیت‌های نوع آلی و High-Cr قرار گرفته است (شکل ۱۵a). از طرف دیگر، طبق نظر بسیاری از پژوهش‌گران (مانند Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992; Barnes and Roeder, 2001)، کرومیت‌های High-Cr ( $Cr\# > 70$ )، معمولاً در گدازه‌های بونینیتی یافت می‌شوند که در محیط‌های فرافروانش تشکیل شده‌اند (شکل ۱۵b). با توجه به نمودارهای  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  (Kamenetsky et al., 2001)، کرومیت‌ها براساس ویژگی‌های تکتونیکی و تغییرات  $Al_2O_3$  از همدیگر متمایز می‌شوند. همان‌طور که در (شکل ۱۵A, B, C) مشاهده می‌شود، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در محیط فرافروانش و کمان ماگمایی تشکیل شده و از نوع High-Cr هستند.

طبق نظر برخی از محققین (نظیر Graham et al., 1996; Proenza et al., 1999; Rollinson, 2005; Gonzalez Jimenez et al., 2011)، رایج‌ترین محل برای تشکیل کرومیت‌های High-Cr و High-Al، محل‌های کوچک مانند محیط‌های پشت‌کمان بوده در حالیکه طبق نظر (Malpas et al., 1997)، رایج‌ترین محل برای تشکیل کرومیت‌های High-Cr و High-Al، محیط پیش‌کمانی می‌باشد. چنانچه در (شکل ۱۵c) مشاهده می‌گردد، کرومیت‌های مورد مطالعه در محدوده Back Arc Basin Modern واقع شده و شباهت زیادی با کرومیت‌های توده‌ای Nuasahi and Sukinda در هند دارد. کرومیت‌های Nuasahi and Sukinda از نوع High-Cr و پادیفرم و غنی از Mg بوده و در محیط تکتونیکی فرورانشی و در ارتباط با ماگمای بونینیتی در کمر بند سبز تشکیل شده‌اند (Mondal et al., 2006). ماگمای بونینیتی نیز با محیط‌های کششی پشت کمانی و فرورانشی در ارتباط است (Walker and Cameron et al., 1983).

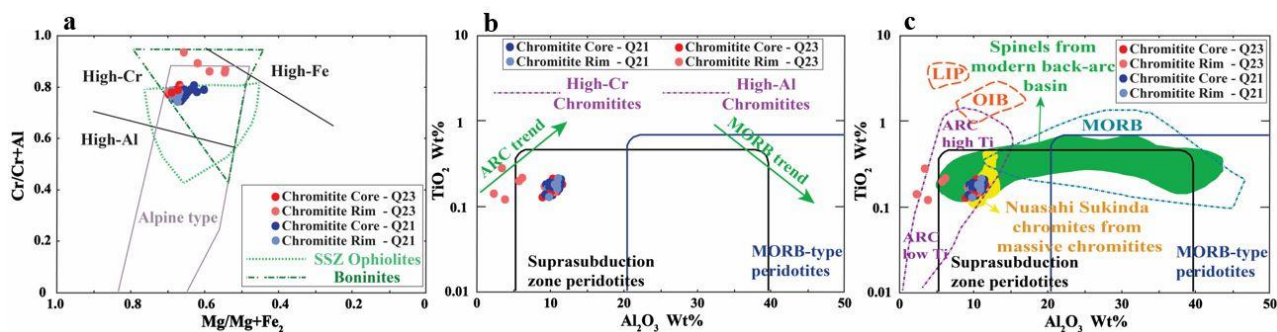
مقدار  $Cr\#$  کرومیت می‌تواند شاخص خوبی برای تعیین موقعیت تکتونیکی باشد. با توجه به نمودارهای مختلف ارائه شده در مباحث قبلی مشخص شد که کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در محیط تکتونیکی فرافروانش و در ارتباط با ماگمای بونینیتی تشکیل شده است. کرومیت‌های مزبور از نوع آلی و High-Cr و به صورت پادیفرم بوده و همچنین غنی از Mg می‌باشند. با توجه به مقدار  $Cr\#$  کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، پریدوتیت‌های این منطقه مشابه پریدوتیت‌های On-land alpine peridotite و Fore-arc peridotite هستند.

بالای گوشته بالایی حاصل می‌شوند در حالیکه کانسارهای کرومیت نوع Al بالا از ماگمایی با درجه ذوب بخشی پایین گوشته بالایی و همچنین از ذوب بخشی گوشته حاوی پلاژیوکلاز حاصل می‌شوند (Zhou and Robinson, 1994). از این‌رو، همانطور که در دیگرام  $Mg\#$  در مقابل  $Cr\#$  (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992؛ شکل ۱۴a) مشاهده می‌شود، از مقدار  $Cr\#$  کروم - اسپینل‌های موجود در سنگ‌های اولترامافیک به عنوان شاخصی برای تشخیص درجه ذوب بخشی در گوشته فوقانی استفاده شده است. مقدار  $Cr\#$  در کروم اسپینل‌ها با میزان استخراج مذاب در هنگام ذوب بخشی پریدوتیت‌ها رابطه مستقیم و مثبتی دارد (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992). همانطور که در (شکل ۱۴a) مشاهده می‌شود، مقدار  $Cr\#$  در کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی بین ۰/۷۷۳ تا ۰/۹۴۵ می‌باشد که نشان‌دهنده ذوب بخشی بیش از ۳۵ درصد برای پریدوتیت‌های مادر بوده است. فراوانی  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  در ماگمای کروم اسپینل‌ها عمدتاً توسط غلظت این اکسیدها در مذاب اولیه کنترل می‌شود. از این‌رو، از نمودار  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  می‌توان برای تشخیص ویژگی‌های تکتونیکی انواع ماگما استفاده کرد (Kamenetsky et al., 2001). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در کرومیت‌های منطقه مورد بررسی، مقدار  $Al_2O_3$  بین ۲/۲ تا ۱۱/۱۱ درصد وزنی متغیر بوده و محتوای  $TiO_2$  آنها پایین (۰/۲۸ - ۰/۱۲ درصد وزنی) است. در نتیجه در دیگرام  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  (Kamenetsky et al., 2001)، ترکیب کرومیت‌های مورد مطالعه در حوزه Island-arc series قرار می‌گیرد (شکل ۱۴b). بسیاری از پژوهش‌گران سعی کرده‌اند تا کرومیت‌های نوع پادیفرم High-Cr و High-Al را به محیط‌های خاص تکتونیکی مرتبط سازند. برای مثال، کرومیت‌های High-Cr ( $Cr\# > 70$ ) معمولاً در گدازه‌های بونینیتی یافت می‌شوند (شکل ۱۴c و d) که در محیط‌های فرافروانش تشکیل شده‌اند، جاییکه گوه گوشته‌ای به وسیله مذاب/سیال آزاد شده از لبه فرورونده می‌تواند ذوب شود (Buchl et al., 2004). همچنین، محتوای  $TiO_2$  کرومیت به عنوان یک شاخص کلیدی برای تعیین ساختار تکتونیکی تشکیل کرومیت مورد استفاده قرار می‌گیرد (Bonavia et al., 1993; Arai and Matsukage, 1998). هر دو نوع کرومیت High-Cr و High-Al، مقدار  $TiO_2$  بسیار پایین دارند. همان‌طور که در نمودار  $Cr\#$  در مقابل  $TiO_2$  (Jan and Windley, 1990; Pagé and Barnes, 2009) مشاهده می‌گردد، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی که از نوع High-Cr هستند، در محدوده بونینیتی واقع شده‌اند (شکل ۱۴c و d). اما اگر کرومیت‌ها از نوع High-Al باشند، در قسمت MORB قرار می‌گیرند. علاوه بر این، چنانچه در (شکل ۱۴c) مشاهده می‌گردد، کرومیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در محیط‌های جزایر کمانی واقع شده‌اند. محیط‌های جزایر کمانی و پشت کمان محیط‌هایی هستند که به‌طور گسترده برای تشکیل کرومیت‌های نوع پادیفرم



شکل ۱۴- نمودارهای تعیین محیط تکتونوماگمایی سنگ‌های اولترامافیک منطقه قره‌ناز - علم‌کندی با استفاده از شیمی کانی کرومیت؛ (a) نمودار  $Mg\#$  در مقابل  $Cr\#$  در کروم‌اسپینل (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992) که محدوده بونینیت و Abyssal peridotites برگرفته شده از Dick and Bullen (1984)، محدوده Island arc tholeiites (ODP Site 839) و Back-arc-basin basalts (ODP Sites 834 and 836) از Allan (1994)، محدوده Fore-arc peridotites از Ishii et al. (1992) و مقدار درصد ذوب بخشی در پریدوتیت از Hirose and Kawamoto (1995)، (b) نمودار  $Al_2O_3$  در مقابل  $TiO_2$  جهت تشخیص جایگاه تکتونوماگمایی کرومیت‌های منطقه مورد مطالعه. محدوده‌های Ocean island basalts (OIB)، Continental flood basalt (CFB)، Mid-ocean-ridge basalts (MORB) و Island-arc series توسط Kamenetsky et al. (2001) و محدوده Alaskan-type complexes توسط Batanova et al. (2005) مشخص گردیده‌است، (c) نمودار  $TiO_2$  در مقابل عدد  $Cr\#$  کروم‌اسپینل‌ها (after Pagé and Barnes, 2009) and (d) نمودار  $TiO_2$  در مقابل عدد  $Cr\#$  که محیط‌های بونینیت و مورب توسط Arai (1992) مشخص گردیده است و (d) نمودار  $TiO_2$  در مقابل عدد  $Cr\#$  کروم‌اسپینل‌ها (Jan and Windley, 1990) که نشان می‌دهد کرومیت‌های High-Cr در محیط‌های بونینیت و کرومیت‌های High-Al در محیط‌های مورب تشکیل می‌شوند.

Fig. 14. Tectonomagmatic diagrams of ultramafic rocks of the Gharenaz - Alamkandi area using by mineral chemistry of chromites; (a) Diagram of  $Mg\#$  vs.  $Cr\#$  in chrom-spinel (Dick and Bullen, 1984; Arai, 1992), which the boninite and abyssal peridotites fields are from Dick and Bullen (1984), the island arc tholeiites and back-arc basin basalts by Allan (1994), field of fore-arc peridotites is from Ishii et al. (1992) and partial melting percentages in host peridotites is from Hirose and Kawamoto (1995), (b) Diagram of  $Al_2O_3$  (wt.%) vs.  $TiO_2$  (wt.%) (Kamenetsky et al., 2001) to identify the chromitic tectonomagmatic setting in the study area. Fields of continental flood basalt (CFB), ocean island basalts (OIB), mid-ocean-ridge basalts (MORB), and island-arc series are from Kamenetsky et al. (2001). Field of Alaskan-type complexes is from Batanova et al. (2005), (c) Diagram of  $TiO_2$  content (wt.%) versus  $Cr\#$  of the chrom-spinels (after Pagé and Barnes, 2009), which the boninite and mid-ocean-ridge basalts (MORB) fields are from Arai (1992), and (d) Diagram of  $TiO_2$  (wt.%) versus atomic ratios of  $Cr\#$  (Jan and Windley, 1990) in the chrom-spinels showing the high-Cr chromites have a boninitic affinity and the high-Al chromites formed in a MORB tectonic setting.



شکل ۱۵- دیاگرام‌های تشخیص محیط تکتونیک بر اساس ترکیب شیمیایی کرومیت؛ (a) نمودار  $\text{Cr}\#$  در مقابل  $\text{Mg}\#$  (Proenza and Gervilla, 1999). محدوده آلبی از (Irvine (1967) و محدوده‌های انواع کرومیت High-Al، High-Cr و High-Fe و SSZ Ophiolite و Boninite از (Zhou and Bai (1992) در مقابل  $\text{TiO}_2$  (Kamenetsky et al., 2001). نمودار (b-c) از (Zhou and Bai (1992) اقتباس شده است، نمودار  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در مقابل  $\text{TiO}_2$  (Kamenetsky et al., 2001). محدوده های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) از (Gaetani et al. (1995) و ایالت‌های آذرین بزرگ (Large igneous province: LIP) از (Batiza and Tokuyama (1981). بازالت-های پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) از (Gaetani et al. (1995) و ایالت‌های جزایر قوسی (Ocean island basalt: OIB) و محدوده کرومیت‌های توده‌ای Nuasahi and Sukinda از (Mondal et al. (2006) اقتباس شده است.

شکل ۱۵- دیاگرام‌های تشخیص محیط تکتونیک بر اساس ترکیب شیمیایی کرومیت؛ (a) نمودار  $\text{Cr}\#$  در مقابل  $\text{Mg}\#$  (Proenza and Gervilla, 1999). The Alpine type field is adapted from Irvine (1967) and the High-Al, High-Cr and High-Fe chromite fields and the Ophiolite SSZ and Boninite are from Zhou and Bai (1992), (b-c) Diagram of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (wt.%) versus  $\text{TiO}_2$  (wt.%) (Kamenetsky et al., 2001). The supra-subduction zone and large igneous province (LIP) range are from Batiza and Tokuyama (1981), mid ocean ridge basalts (MORB) is from Gaetani et al. (1995), Ocean island basalts (OIB) and Nuasahi and Sukinda massive chromitites range are from Mondal et al. (2006).

بر اساس مطالعات شیمی کانی اولیوین، اولیوین‌های موجود در پریدوتیت‌های منطقه قره‌ناز - علم‌کندی غنی از منیزیم بوده و ترکیب فورستریتی با گرایش به سمت کریزولیت دارند. نتایج حاصل از دیاگرام‌های شیمی کانی کلینوپیروکسن در پریدوتیت‌های منطقه مورد پژوهش حاکی از آن است که از نوع آهن - منیزیم - کلسیم‌دار بوده که اکثراً ترکیب اوژیت نشان می‌دهند. ارتوپیروکسن‌ها نیز از نوع برونزیت و مقدار اندکی از نوع هیپرستن می‌باشند.

بر اساس نتایج حاصل از دیاگرام‌های شیمی کانی کروم اسپینل‌های منطقه مورد پژوهش، ذخایر کرومیت منطقه قره‌ناز - علم‌کندی از نوع پادیفرم بوده که از نوع کمپلکس‌های افیولیتی به شمار می‌آیند. کروم اسپینل‌های منطقه از نوع High-Cr بوده و غنی از  $\text{Mg}$  و  $\text{Cr}$  و فقیر از  $\text{Ti}$  می‌باشند. با استفاده نمودار سه تایی  $\text{Fe}^{3+}$  و  $\text{Al}$  و  $\text{Cr}$ ، اکثر کرومیت‌ها از نوع Al-Chromite و مقدار کمتری از آنها از نوع Fe-chromite هستند. از نظر جایگاه تکتونیک، کرومیت‌های منطقه مورد پژوهش از ماگمای سری بونینیته بوده‌اند که در محیط تکتونیک فرافروانش و در ارتباط با فروانش تشکیل شده‌اند. با توجه به نوع High-Cr و نتایج حاصل از دیاگرام‌های شیمی کانی کروم اسپینل‌های مربوطه می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی کرومیت و پریدوتیت‌های میزبان در محیط پیش‌گمانی تشکیل شده‌اند.

با توجه به اینکه کانه‌زایی کرومیت در این منطقه در درون واحدهای پرکامبرین - کامبرین قرار دارد، بنابراین می‌توان اظهار

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات سنگ‌شناسی سنگ میزبان در منطقه قره‌ناز - علم‌کندی، عمده واحدهای سنگی پریدوتیتی این محدوده شامل دونیت، هارزبورژیت، لرزولیت و سرپانتینیت است. مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های پریدوتیتی برداشت‌شده از این منطقه حاکی از آن است که کانی‌های اصلی این واحدها عبارتند از اولیوین، ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن هستند. در برخی نمونه‌ها بافت اکسلوشن در پیروکسن‌ها مشاهده می‌شوند. علاوه بر کانی‌های اصلی، کانی‌های فرعی از جمله کانی‌های کدر (کروم اسپینل و اکسیدهای آهن)، سرپانتین (کریزوتیل و آنتی‌گوریت)، کلسیت و تالک نیز در نمونه‌ها قابل مشاهده می‌باشند.

با توجه به گستردگی محدود سنگ میزبان پریدوتیتی در منطقه مورد مطالعه، کانه‌زایی کرومیت نیز محدود بوده و به صورت عدسی‌هایی با عرض چند سانتی‌متر تا کمتر از یک متر و طول حدود یک تا دو متر دیده می‌شود. کانه‌زایی درون واحدهای دونیت، هارزبورژیت و سرپانتینیت‌ها به صورت عدسی شکل، رگه - رگچه‌ای و دانه پراکنده قابل مشاهده می‌باشد. بافت‌های موجود در کانه‌زایی کرومیت منطقه مورد مطالعه در مقیاس ماکروسکوپی و نمونه دستی شامل بافت عدسی شکل، رگچه‌ای و دانه پراکنده بوده و در مقیاس میکروسکوپی شامل بافت‌های توده‌ای، کاتاکلاستیک، برشی و رگچه‌ای می‌باشد.

کرومیت نوع پادیفرم غنی از کروم و منیزیم قره‌ناز - علم‌کندی را تشکیل داده است.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند کمک شایانی از لحاظ مکانی و زمانی در اکتشاف کانسارهای مشابه در این ناحیه و سایر مناطق مشابه در ایران به ارمغان بیاورد. همچنین، این نتایج می‌تواند در شناسایی تحولات ژئودینامیکی این بخش از ایران و مناطق مشابه متمرکز واقع شود.

#### قدردانی

نویسندگان مقاله بدین وسیله مراتب قدردانی و تشکر خود را از حمایت‌های مادی و معنوی دانشگاه زنجان و سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (ایمیدرو) ابراز می‌دارند.

داشت که کانه‌زایی کرومیت در منطقه قره‌ناز - علم‌کندی در زمان پراکامبرین - کامبرین در اثر فرورانش پوسته اقیانوسی پروتوتیس به زیر ایران و در یک محیط فرافروانش در بخش شمال تا شمال‌خاوری گندوانا تشکیل شده است. کرومیت‌های نوع High-Cr ( $Cr\# > 70$ ) معمولاً در مذاب‌های بونینیتی یافت می‌شوند که در محیط‌های فرافروانش تشکیل شده‌اند، جاییکه گوه گوشته‌ای به-وسیله مذاب سیال آزادشده از پوسته فرورونده، متاسوماتیسم شده است. مذاب بونینیتی در اثر ذوب گوشته متاسوماتیسم شده در یک محیط فرافروانش تشکیل شده که غنی از کروم و منیزیم بوده و در نهایت در پوسته قاره‌ای و در قسمت پیش‌کمان پهنه‌های قدیمی ایران، از جمله در منطقه مورد پژوهش جایگیر شده و کانسار

#### منابع

- Ahmed, A.H., 2013. Highly depleted harzburgite–dunite–chromitite complexes from the Neoproterozoic ophiolite, southeastern Desert, Egypt: A possible recycled upper mantle lithosphere. *Precambrian Research* 233, 173–192.
- Ahrabian Fard, P., 2018. Geology, geochemistry and genesis of chromite mineralization of Qaranaz-Alamkandi area, west of Zanjan, Iran, M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
- Alavi, M., Amidi, M., 1976. Geological map of the Takab region with scale of 1: 250,000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Allan, J.F., 1994. Cr-spinel in depleted basalts from the Lau basin back-arc: Petrogenetic history from Mg–Fe crystal–liquid exchange. In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program* (Hawkins, J., Parson, L., Allan, J.F., et al.), *Scientific Results* 135, 565–583.
- Allégre, C.J., Le Mouel, J.L., Provost, A., 1982. Scaling rules in rock fracture and possible implications for earthquake prediction. *Nature* 297(5861), 47.
- Arai, F., Hirao, A., Ohmura, M., Sato, H., Matsuoka, S., Takubo, K., Suda, T., 2004. Tie2/angiopoietin-1 signaling regulates hematopoietic stem cell quiescence in the bone marrow niche. *Cell* 118(2), 149–61.
- Arai, S., Ishimaru, S., 2008. Insights into petrological characteristics of the lithosphere of mantle wedge beneath arcs through peridotite xenoliths: A review. *Journal of Petrology* 49, 665–695.
- Arai, S., Matsukage, K., 1998. Petrology of a chromitite micropod from Hess Deep, equatorial Pacific: a comparison between abyssal and alpine-type podiform chromitites. *Lithos* 43(1), 1–14.
- Arai, S., 1992. Chemistry of chromian spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine* 56, 173–184.
- Arai, S., 1994a. Characterization of spinel peridotites by olivine–spinel compositional relationships: Review and interpretation. *Chemical Geology* 113, 191–204.
- Arai, S., 1994b. Compositional variation of olivine–chromian spinel in Mg-rich magmas as a guide to their residual spinel peridotites. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 59, 279–293.
- Arai, S., Okamura, H., Kadoshima, K., Tanaka, C., Suzuki, K., Ishimaru, S., 2011. Chemical characteristics of chromian spinel in plutonic rocks: Implications for deep magma processes and discrimination of tectonic setting. *Island Arc* 20, 125–137.
- Arai, S., Tamura, A., Ishimaru, S., Kadoshima, K., Lee, Y.I., Hisada, K. I., 2008. Petrology of the Yugu peridotites in the Gyeonggi Massif, South Korea: Implications for its origin and hydration process. *Island Arc* 17(4), 485–501.
- 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. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 147, 145–154.



- Babakhani, A., Ghalamghash, J., 1996. Geological map of the Takhte Soleiman region with scale of 1: 100,000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Barnes, S.J., Roeder, P.L., 2001. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *Journal of Petrology* 42, 2279-2302.
- Batanova, V.G., Pertsev, A.N., Kamenetsky, V.S., Ariskin, A.A., Mochalov, A.G., Sobolev, A.V., 2005. Crustal evolution of island-arc ultramafic magma: Galmoenan pyroxenite–dunite plutonic complex, Koryak Highland (Far East Russia). *Journal of Petrology* 46, 1345-1366.
- Batiza, R., Shcheka, S., Tokuyama, H., Muehlenbachs, K., Vallier, T., Lee-Wong, F., Fujii, N., 1981. Summary and index to petrologic and geochemical studies of Leg 61 basalts. *Init. Rep. DSDP*, 829-839.
- Bloomer, S.H., Fisher, R.L., 1987. Petrology and geochemistry of igneous rocks from the Tonga trench – a non-accreting plate boundary. *Journal of Geology* 95, 469– 495.
- Bloomer, S.H., Hawkins, J.W., 1983. Gabbroic and ultramafic rocks from the Mariana Trench: An island arc ophiolite. *The Tectonics and Geologic Evolution of Southeast Asian Seas and Islands: Part 2*, AGU Geophysical Monograph 23, American Geophysical Union, pp. 294–317.
- Bonavia, F.F., Diella, V., Ferrario, A., 1993. Precambrian podiform chromitites from Kenticha Hill, southern Ethiopia. *Economic Geology* 88(1), 198-202.
- Buchl, A., Brugmann, G., Batanova, V.G., 2004. Formation of podiform chromitite deposits: Implications from PGE abundances and Os isotopic compositions of chromites from the Troodos complex, Cyprus. *Chemical Geology* 208(1-4), 217-232.
- Deer, F.R.S.W.A., Howier, R.A. and Zussman, J., 1991. *An introduction to the rock-forming minerals*, Longman Scientific and Technical, 582 p.
- Deer, W.A., Howie, R. A., Zussman, J., 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*. Hong Kong: Longman scientific & technical 2, p. 558.
- Dick, H.J., 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(1), 54-76.
- Dönmez, C., Keskin, S., Günay, K., Çolakoğlu, A.O., Çiftçi, Y., Uysal, İ., Yıldırım, N., 2014. Chromite and PGE geochemistry of the Elekdağ Ophiolite (Kastamonu, Northern Turkey): Implications for deep magmatic processes in a supra-subduction zone setting. *Ore Geology Reviews* 57, 216-228.
- Ferrario, A., Garuti, G., 1987. Platinum-group minerals in chromite-rich horizons of the Niquelandia complex (central Goias, Brazil). In *Geo-Platinum 87* (H.M. Prichard, P.J. Potts, J.F.W. Bowles., S. Cribb), Elsevier Applied Science, London, U.K., pp. 261-272.
- Gaetani, M., Anigolini, L., Garzanti, E., Jadoul, F., Leven, E.Y., Nicora, A., Sciunnach, D., 1995. Permian stratigraphy in the northern Karakorum, Pakistan. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia* 101, 107-152.
- Garuti, G., Pushkarev, E.V., Zaccarini, F., 2005. Diversity of chromite-PGE mineralization in ultramafic complexes of the Urals. In: *Platinum Group Elements - From Genesis to Beneficiation and Environmental Impact* (Törmänen, T.O., Alapieti, T.T.), 10<sup>th</sup> International Platinum Symposium, Oulu (Finland). *Extended Abstracts*, pp. 341–344.
- Gonzalez Jimenez, J.M., Proenza, J.A., Gervilla, F., Melgarejo, J.C., Blanco-Moreno, J.A., RuizSánchez, R., Griffin, W.L., 2011. High-Cr and high-Al chromitites from the Sagua de Tánamo district, Mayarí-Cristal ophiolitic massif (eastern Cuba): Constraints on their origin from mineralogy and geochemistry of chromian spinel and platinumgroup elements. *Lithos* 125, 101–121.
- Graham, I.T., Franklin, B.J., Marshall, B., 1996. Chemistry and mineralogy of podiform chromitite deposits, southern NSW, Australia: A guide to their origin and evolution. *Mineralogy and Petrology* 37, 129–150.
- Grove, T.L., Parman, S.W., Dann, J.C., 1999. Conditions of magma generation for Archean komatiites from the Barberton Mountainland, South Africa. In: *Mantle Petrology* (Fei, Y., Bertka, C.M., Mysen, B.O.); *Field Observations and High Pressure Experimentation; a tribute to Francis R. (Joe) Boyd* 6, pp.155-167.

- Hirose, K., Kawamoto, T., 1995. Hydrous partial melting of lherzolite at 1 Gpa: The effect of H<sub>2</sub>O on the genesis of basaltic magmas. *Earth and Planetary Science Letters* 133, 463–473.
- Irvine, T.N., 1967. Chromian spinel as a petrogenetic indicator (part 2). *Petrologic applications. Canadian Journal of Earth Sciences* 4, 71-103.
- Ishii, T., Robinson, P.T., Maekawa, H., Fiske, R., 1992. Petrological studies of peridotites from diapiric serpentinite seamounts in the Izu–Ogasawara–Mariana forearc. In: *Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results 125* (Fryer, P., Pearce, J.A., Stokking, L.B.), Ocean Drilling Program, College Station, TX, pp. 445–485.
- Ishikawa, T., Nagaishi, K., Umino, S., 2002. Boninitic volcanism in the Oman ophiolite: Implications for thermal condition during transition from spreading ridge to arc. *Geology* 30(10), 899-902.
- Jan, M.Q., Windley, B.F., 1990. Chromian spinel-silicate chemistry in ultramafic rocks of the Jijal complex, Northwest Pakistan. *Journal of Petrology* 31(3), 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(4), 655-671.
- Leblanc, M., Nicolas A., 1992. Les chromitites ophiolitiques. *Chronique de la Recherche Minier* 507, 3-25.
- Malpas, J., Robinson, P.T., Zhou, M.F., 1997. Chromite and ultramafic rock compositional zoning through a paleotransform fault, Poom, New Caledonia: discussion. *Economic Geology* 92, 502–503.
- McLaren, C.H., De Villiers, J.P.R., 1982. The platinum-group chemistry and mineralogy of the UG-2 chromitite layer of the Bushveld Complex. *Economic Geology* 77, 1348–1366.
- Mondal, S.K., Frei, R., Ripley, E.M., 2007. Os isotope systematics of mesoArchean chromitite-PGE deposits in the Singhbhum Craton (India): Implications for the evolution of lithospheric mantle. *Chemical Geology* 244, 391-408.
- Mondal, S.K., Ripley, E.M., Li, C., Frei, R., 2006. The genesis of Archean chromitites from the Nuasahi and Sukinda massifs in the Singhbhum Craton, India. *Precambrian Research* 148, 45-66.
- Morimoto, N., 1989. Nomenclature of pyroxenes. *Mineralogical Journal* 14(5), 198-221.
- Pagé, P., Barnes, S.J., 2009. Using trace elements in chromites to constrain the origin of podiform chromitites in the Thetford Mines ophiolite, Québec, Canada. *Economic Geology* 104(7), 997-1018.
- Parkinson, I.J., Pearce, J.A., 1998. Peridotites from the Izu–Bonin–Mariana forearc (ODP Leg 125): Evidence for mantle melting and melt–mantle interaction in a supra-subduction zone setting. *Journal of Petrology* 39(9), 1577-1618.
- Parman, S.W., Grove, T.L., Dann, J.C., 2001. The production of Barberton komatiites in an Archean subduction zone. *Geophysical Research Letters* 28(13), 2513-2516.
- Pearce, J.A., Barker, P.F., Edwards, S.J., Parkinson, I.J., Leat, P.T., 2000. Geochemistry and tectonic significance of peridotites from the South Sandwich arc–basin system, South Atlantic. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 139(1), 36-53.
- Pearce, J.A., Lippard, S.J., Roberts, S., 1984. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. *Geological Society, London, Special Publications* 16(1), 77-94.
- Peck, D.C., Keays, R.R., 1990. Geology, geochemistry, and origin of platinum-group element-chromitite occurrences in the Heazlewood River Complex, Tasmania. *Economic Geology* 85, 765–793.
- Proenza J., Gervilla F., Melgarejo J.C., Bodinier J.L., 1999. Al and Cr rich chromitites from the Mayari-Baracoa ophiolitic belt (eastern Cuba), Consequence of interaction between volatile-rich melts and peridotites in suprasubduction mantle. *Economic Geology* 94, 547-566.
- Rollinson, H., Adetunji, J., 2013. Mantle podiform chromitites do not form beneath mid-ocean ridges: A case study from the Moho transition zone of the Oman ophiolite. *Lithos* 177, 314-327.
- Rollinson, H., 2005. Chromite in the mantle section of the Oman ophiolite: A new genetic model. *Island Arc* 14, 542-550.
- Sattari, P., Brenan, J.M., 2002. Experimental Constraints on the Sulfide- and Chromite-Silicate Melt Partitioning Behavior of Rhenium and Platinum-Group Elements. *Economic Geology* 97, 385–398.
- Stern, R.J., 2004. Subduction initiation: spontaneous and induced. *Earth and Planetary Science Letters* 226(3-4), 275-292.

- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 52(7), 1229–1258.
- Stockman, H.W., Hlava, P.F., 1984. Platinum-group minerals in alpine chromitites from southwestern Oregon. *Economic Geology* 79, 491–508.
- Tarkian, M., Naidenova, E., Zhelyaskova-Panayotova, M., 1991. Platinum-group minerals in chromitites from the eastern Rhodope Ultramafic Complex, Bulgaria. *Mineralogy and Petrology* 44, 73–87.
- Thy, P., 1983. Spinel minerals in transitional and alkali basaltic glasses from Iceland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 83, 141–149.
- Uysal, M., Ar, I., 2007. Removal of Cr (VI) from industrial wastewaters by adsorption, Part I: Determination of optimum conditions. *Journal of Hazardous Materials* 149(2), 482-491.
- Walker, D.A., Cameron, W.E., 1983. Boninite primary magmas: Evidence from the Cape Vogel Peninsula, PNG. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 83(1-2), 150-158.
- Wilson, A.H., Shirey, S.B., Carlson, R.W., 2003. Archaean ultra-depleted komatiites formed by hydrous melting of cratonic mantle. *Nature* 423(6942), 858.
- Zhou, M.F., Bai, W.J., 1992. Chromite deposits in China and their origin. *Mineralium Deposita* 27, 192–199.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Bai, W.J., 1994. Formation of podiform chromitites by melt-rock interaction in the upper mantle. *Mineralium Deposita* 29(1), 98-101.
- Zhou, M.F., Robinson, P.T., Malpas, J., Li, Z., 1996. Podiform chromitites in the Luobusa ophiolite (southern Tibet): Implications for melt-rock interaction and chromite segregation in the upper mantle. *Journal of Petrology* 37(1), 3-21.
- Zhou, M.F., Sun, M., Keays, R., Kerrich, R., 1998. Control on platinum group elemental distributions of podiform chromitites: a case study of high Cr and high Al chromitites from Chinese orogenic belts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62, 677-688.

