Petrological Journal

E-ISSN: 2322-2182

14th Year, No. 55, Autumn 2023, pp. 119-162

Petrological Journal

Research Article

Geochemistry, petrogenesis, and tectonic setting of Nepheline syenite intrusive rocks in Razgah Sarab, East of Azerbaijan Province

Ali Ghasemi [1], AkramoSadat Mirlohi [2], Mehran Farahmanian [3]

[1] Research Assistant Professor, Iranian Academic Center for Education Culture and Research (ACECR), Isfahan, Iran, a_ghasemi@acecr.ir

[2] Ph. D., Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran, akrammirlohi@gmail.com

[3] Research instructor, Academic Center for Education Culture and Research, Isfahan, Iran, farahmandian@acecr.ac.ir

ARTICLE INFO

Received: 15 May 2023
Accepted: 21 October 2023

Keywords
Geochemistry
Geotectonic
Nepheline syenite
Razgah

10.22108/ijp.2023.136655.1300

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Razgah, Kalibar, and Bozghosh intrusive rocks, located in East Azarbaijan province, are among the most important alkaline nepheline syenite rocks known in Iran. Several theories reported regarding the geochemical characteristics as well as the geotectonic environment of the Tertiary igneous rocks exposed in the Ahar-Arasbaran belt (Jamali et al., 2012). Some workers have considered the magmatism of this belt as an important extensional phase of the late Cretaceous, while, some others believe it is related to subduction zones. Although the mineralogy, petrology, geochemistry, and petrogenesis of these rocks have been studied by several people (i.e., Esmaeili, 1997; Ameri, 2004; Ashrafi, 2009), in none of them the origin and geotectonic setting of the area has been discussed in detail. Thus, for the present study, mineralogical, petrological, and geochemical studies are applied to understand the origin, the petrogenesis, and the geotectonic setting of the intrusive rocks from the nepheline syenite exploration areas, particularly the Razgah intrusive rocks.

Regional Geology

The Razgah intrusive. a part of the Western Alborz-Azarbaijan zone lies on the southern edge of the Ahar-Arasbaran volcanic belt. Geologically, the Eocene volcanic rocks cover the Jurassic-Cretaceous flysch is intruded by the Oligo-Miocene plutonic rocks (Mahdavi and Fazli, 2008). The Razgah nepheline syenite intrusive intruded the sediments of evaporate basins including gypsum marl, limestone marl, sandstone, and the Miocene conglomerates. Their contact with previous rocks has vanished due to weathering and erosion of itself and the Quaternary sediments surrounding it. Copper mineralization (malachite and azurite) can be identified in the western part of Razgah intrusive. In addition, a number of dykes are distributed especially in the western and

Corresponding Author

To cite this article: Ghasemi, A., Mirlohi, A., Farahmanian, M. (2023) Geochemistry, petrogenesis, and tectonic setting of Nepheline syenite intrusive rocks in Razgah Sarab, East of Azerbaijan Province. Petrological Journal, 14(2), 119-162.

2322-2182/ © 2023 The Author(s). Publisher: University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0)

northwestern parts. Also, numerous silica veins were observed in different parts, mainly along, in parallel, and in contact with dykes, more widespread in the western part.

Materials and methods

Following the sampling (150 rock pieces) and preparation of 70 thin sections for petrographic and mineralogical investigations, trace and REE were determined on 93 samples using the ICP-MS method.

Petrography

The Razgah intrusive rocks are dominated by olivine-bearing nepheline gabbro, nepheline monzosyenite, pseudolucite syenite, and K-feldspar nepheline syenite. Also, basic dykes (lamprophyre), similar to their host (altered syenite nepheline), syenite and microsyenite dykes and finally altered dykes with siliceous and mineralized veins are present. Nepheline, pseudolucite, potassium feldspar, plagioclase, clinopyroxene, and olivine are among the most important major minerals. Apatite, zircon, and iron-oxide are the minor while chlorite, calcite, adularia, and hematite along with sericite, epidote, kaolinite, and biotite present as secondary minerals. Granular and porphyroid textures, as well as poikilitics, graphics, and replacements (causing pseudomorphous forms), are the common textures of the rocks under study. Lamprophyre dykes with porphyry texture and olivine, pyroxene, and Kaersutite (brown amphibole) are present. The other dykes, to some extent, have similar mineralogical characteristics as nepheline syenites, in which clay minerals occur.

Discussion and Conclusion

The Co and Th contents, the amount of Ce/Yb, Ta/Yb, and Th/Yb ratios along with low TiO_2 content point to the nature of the parent magma as a high potassium calc-alkaline type (shoshonite). The pattern of REE, LILE, and HFSE, the negative Nb, Ti, and HFSE anomalies as well as Pb and LILE positive anomalies, indicate the mantle metasomatism process or continental crust contamination occurrence (Rollinson, 1993; Soesoo, 2000). In addition, the decrease in P solubility with the high level of K and REE gave rise to the separation of apatite from the parent melt (Green and Adam, 2002). The similarity of REE patterns indicates the same magmatic processes involved in the generation of the rocks under study. The mineralogical and geochemical data on Razgah intrusive rocks and the associated lamprophyres point to 1% partial melting of a spinel lherzolite source. Based on the presented tectonic model, following the Arabian plate subduction beneath the Iranian plate, several processes including the slab breakoff, extensile regime, magma formation from the enriched mantle, and subducted slab melting took place which followed by crystal fractionation and contamination at the base of the crust and finally differentiated melts intruded the high levels. As the gases release, the lamprophyre dykes injected into the fractured roof and the other dykes crosscut the Razgah intrusive rocks.

Acknowledgments

The authors are very grateful to Organization for the Development and Modernization of Mines and Mining Industries of Iran (No. 37688) and to Petrology Magazine for their valuable suggestions to improve the scientific framework.

پتـــرولوژی
شاپا الکترونیکی: ۲۱۸۲-۲۳۲۲
سال چهاردهم، شماره پنجاه و پنجم، پاییز ۱۴۰۲، ص. ۱۱۹-۱۶۲.

Petrological Journal
E-ISSN: 2322-2182
14th Year, No. 55, Autumn 2023, pp. 119-162.

Petrological Journal

مقالهٔ پژوهشی

زمین‌شیمی، سنگ‌زایی و خاستگاه زمین‌ساختی توده‌های نفلین‌سینیت رزگاه سراب، استان آذربایجان شرقی

علی قاسمی [۱]، اکرم‌السادات میرلوحی [۲]، مهران فرهمندیان [۳]

[۱] استادیار پژوهشی، جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، اصفهان ایران، a_ghasemi@acecr.ir
[۲] دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، akrammirlohi@gmail.com
[۳] مربی پژوهشی، جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، farahmandian@acecr.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

کلید واژه‌ها
زمین‌شیمی
زمین‌ساخت
نفلین‌سینیت
رزگاه

چکیده

تودهٔ نفلین‌سینیت رزگاه در حاشیهٔ جنوبی پهنهٔ آتشفشانی اهر- ارسباران (بخشی از کمربند البرز- قفقاز کوچک که خود بخشی از کمربند بزرگ آلپ- هیمالیاست) رخنمون دارد. سنگ‌نگاری تودهٔ آذرین درونی نشان‌دهندهٔ حضور سنگ‌های نفلین گابروی الیوین‌دار، نفلین مونزوسینیت، پسودولوسیت سینیت و پتاسیم‌فلدسپار نفلین‌سینیت به‌همراه دایک‌های بازیک (لامپروفیر) و مشابه تودهٔ آذرین درونی است. بر پایهٔ مقدار عنصرهای فرعی Co و Th و نسبت‌های Ce/Yb، Ta/Yb و Th/Yb و مقدار کم TiO_2، سرشت ماگما کالک آلکالن پتاسیم بالا (شوشونیتی) است. الگوی REE، LILE و HFSE، بی‌هنجاری منفی عنصرهای Nb و Ti و HFSE، بی‌هنجاری مثبت Pb و LILE همگی گویای رخداد فرایند متاسوماتیسم گوشته و یا آلایش پوسته قاره‌ای است. بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ کل تودهٔ آذرین درونی رزگاه و لامپروفیرهای همراه نشان می‌دهد احتمالاً خاستگاه گوشته‌ای با ترکیب اولیهٔ اسپینل لرزولیتی دچار ۱ درصد ذوب‌بخشی شده و مذاب اولیه را پدید آورده است. بر پایهٔ الگوی زمین‌ساختیِ پیشنهادی، پس از فرورانش صفحهٔ عربی به زیر ورقهٔ ایران و شکست تختهٔ فرورونده و سپس رخداد رژیم کششی، ماگمای برخاسته از گوشتهٔ غنی‌شده و ذوب تختهٔ فرورونده، در قاعدهٔ پوسته دچار جدایش بلوری شده است و سپس با نفوذ بخش جدایش‌یافته به ترازهای بالاترِ پوسته، آلایش پوسته‌ای رخ داده است. با خروج گازها و پیدایش شکستگی‌های عادی در سقف آشیانه، امکان نفوذ دایک‌های لامپروفیری و دیگر دایک‌های قطع‌کنندهٔ تودهٔ آذرین درونی در منطقهٔ رزگاه فراهم شده است.

10.22108/ijp.2023.136655.1300

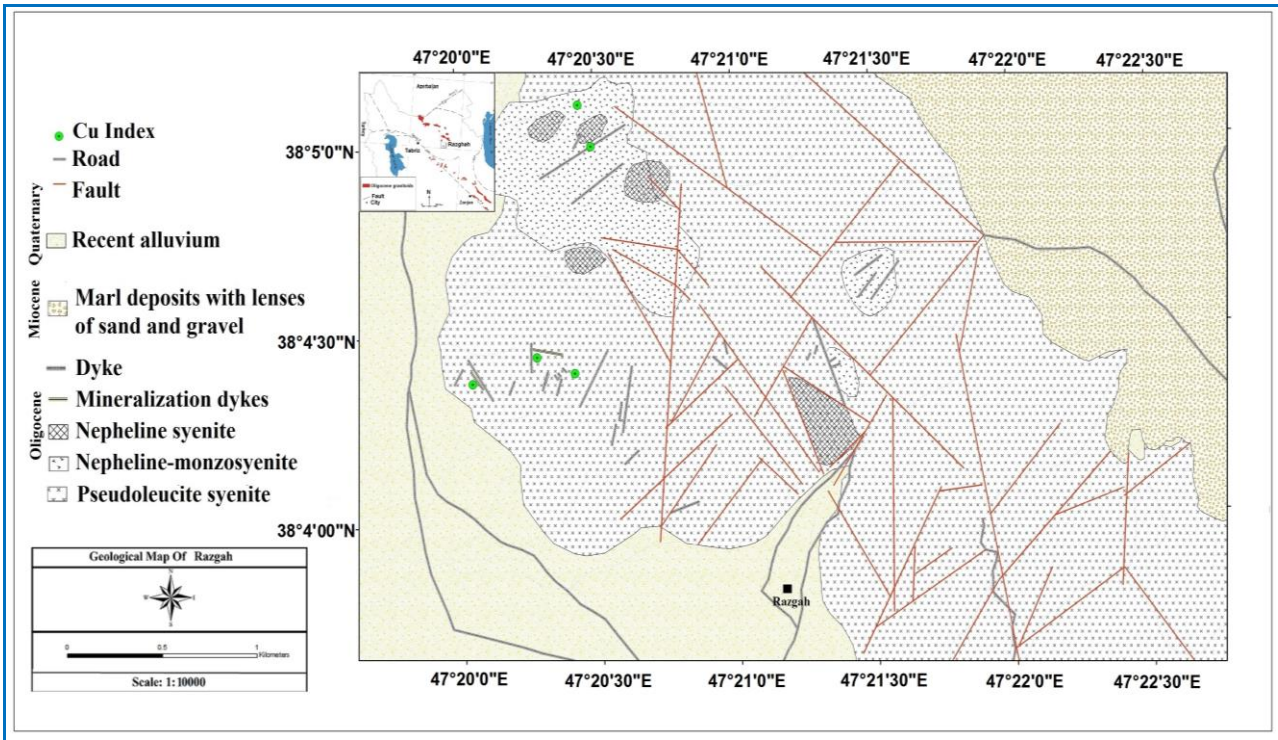
نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: قاسمی، ع.، میرلوحی، ا.س.، فرهمندیان، م. (۱۴۰۲) زمین‌شیمی، سنگ‌زایی و خاستگاه زمین‌ساختی توده‌های نفلین سینیت رزگاه سراب، استان آذربایجان شرقی. پترولوژی، ۱۴(۳)، ۱۱۹ -۱۶۲.

2322-2182/ © 2023 The Author(s). Publisher: University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0)

مقدمه

تـودهٔ رزگـاه در حاشـیهٔ جنـوبی پهنـهٔ آتشفشـانی اهـر- ارسـباران رخنمـون دارد کـه بخشـی از پهنـهٔ البـرز بـاختری- آذربایجـان اسـت. در ایـن پهنـه، سـنگ‌های آتشفشـانی ائوسـن روی رسـوب‌های فلـیش ژوراسـیک- کرتاسـه جـای گرفته‌انـد و ایـن مجموعـه دچار نفوذ سـنگ‌های درونـی الیگومیوسـن شـده اسـت (شکل ۱).



شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر و جایگاه تودهٔ آذرین درونی رزگاه (Mahdavi and Fazli, 2008).

Figure 1. Geological map of Ahar (based on 1:100000) and the location of Razgah intrusive rocks (Modifiedm after Mahdavi and Fazli, 2008).

در بخـش مرکـز، گسـترهٔ بزرگـی از سـنگ‌های آذریـن بیرونـی و گـاه آذرآواری رخنمـون دارنـد. در پالئوسـن- ائوسـن محـیط قـاره‌ای و دریـای کم‌ژرفـایی حـاکم بـوده اسـت. واحـدهای سـنگی شـامل تنـاوبی از مـارن گـچ‌دار، ماسه‌سـنگ آهکـی، کنگلـومرا، سـنگ‌های آذرآواری، لاواهـای آنـدزیتی- داسـیتی و روانـه‌های ایگنمبریتـی هسـتند. بـه‌همراه واحـدهای آنـدزیت پـورفیری، تراکی‌آنـدزیت، تـوف و آگلـومرا، سـنگ‌های آذریـن نیمـه‌ژرف میکرودیوریـت و دیابـاز نیـز رخنمـون دارنـد. در بخـش جنـوبی ورقـهٔ اهـر، بیشـتر رخنمون‌هـا سنگ‌های رسـوبیِ میـو- پلیوسـن بوده‌انـد. تـودهٔ آذریـن درونـی نفلین‌سـینیتی رزگـاه درون رسـوب‌های حوضـه‌های تبخیـری ماننـد مـارن ژیـپس‌دار، آهـک مـارنی و ماسه‌سـنگ وکنگلومراهـای میوسـن نفـوذ کـرده اسـت. در پـی هـوازدگی، رنـگ تـودهٔ آذریـن یادشـده از دور قهـوه‌ای کم‌رنـگ اسـت؛ سـطح تـازهٔ آن خاکسـتری روشـن دیـده می‌شـود. بـه دنبـال فرسـایش شدید توده‌هـای آذریـن رزگـاه، مـرز آنهـا بـا سـنگ‌های قـدیمی‌تر پنهـان مانـده اسـت و رسـوب‌های کـواترنری پدیدآمـده از خـود تـوده آن را فراگرفتـه کـرده اسـت. ویژگـی بـارز سـنگ‌های آذریـن اصـلی منطقـه وجـود سودولوسـیت در آنهاسـت کـه گویـای جـایگیری تـوده در ژرفای کـم پوسـته به‌شـمار مـی‌رود و از سـوی دیگـر، پدیـده‌های فرسایشـی ویـژه‌ای را بـه‌دنبال داشـته اسـت. برخـی بخش‌هـای تـوده حالـت لایـه‌ای از خـود نشـان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای‌کـه به‌صـورت افقـی دیـده می‌شـوند و

تغییرات خاص کانی‌شناسی میان آنها وجود ندارد. ساخت حفره‌ای در بخش‌های نفلین‌دار بیشتر در معرض هوازدگی بوده است. در بخش باختری تودهٔ آذرین رزگاه، کانی‌سازی مس (مالاکیت و آزوریت) تشخیص داده می‌شود. در این بخش توده، گسل‌هایی با شیب به سمت باختر و جنوب‌باختری دیده می‌شوند. افزون بر تودهٔ اصلی چندین دایک نیز در توده وجود دارد که تمرکز آنها به‌ویژه در بخش باختر و شمال‌باختری است. ستبرای دایک‌ها متغیر و از نزدیک به چند سانتیمتر تا چند متر و درازای آنها از چند متر تا ده‌ها متر در نوسان است. افزون‌بر دایک‌ها می‌توان شمار فراوانی رگهٔ سیلیسی در بخش‌های مختلف توده، به‌ویژه همراه با دایک‌ها و موازی و در کنار آنها دیده می‌شود که تمرکز آنها در بخش باختری توده بیشتر است. بیشینهٔ ستبرای رگه‌ها در برخی بخش‌ها به چند سانتی‌متر می‌رسد. بیشتر سنگ‌ها در نزدیکی رگه‌ها به‌شدت دگرسان شده‌اند.

روش انجام پژوهش

پس از برداشت بیش از ۱۵۰ نمونهٔ سنگی در بازدیدهای صحرایی از شماری از آنها مقطع نازک (۵۰ عدد) و نازک- صیقلی (۲۰ عدد) تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان (المپوس مدل BH-2) بررسی شدند. نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از ویتنی و اوانس (Whitney and Evans, 2010) است. برای اندازه‌گیری فراوانی عنصرهای اصلی و کمیاب در ترکیب سنگ‌کل، شمار ۹۳ نمونهٔ سنگ کل با دستگاه XRF و ICP-MS در آزمایشگاه زرآزما (تهران) تجزیه شدند. پردازش داده‌ها و رسم نمودارها در نرم‌افزار GCD-Kit انجام شد.

جدول ۱. داده‌های زمین‌شیمیایی (اکسیدهای اصلی بر پایهٔ درصدوزنی) برای تودهٔ آذرین درونی منطقهٔ رزگاه.

Table 1. Geochemical data (the major elements in wt%) for the plutonic rocks of Razgah area.

Rock Type	Intrusion										
Sample No.	R-01	R-06	R-10	R-13	R-20	R-33	R-39	R-40	R-42	R-43	R-47
SiO_2	57.76	59.25	63.75	58.88	66.84	62.81	59.28	61.41	66.86	62.43	62.54
Al_2O_3	17.09	18.81	17.17	16.30	17.00	15.15	18.79	18.19	14.90	16.16	17.33
Fe_2O_3	3.74	2.36	2.72	3.70	0.70	2.86	2.54	2.27	1.72	2.36	1.84
FeO	2.49	2.36	1.81	2.47	0.46	1.91	1.70	1.51	1.72	1.57	1.23
MnO	0.13	0.11	0.15	0.13	0.01	0.11	0.07	0.05	0.01	0.07	0.03
MgO	1.65	1.40	0.58	1.60	0.32	0.89	0.94	0.54	0.33	0.71	0.32
CaO	3.40	4.81	1.29	3.54	0.46	1.58	3.02	1.45	0.82	1.98	1.16
Na_2O	2.13	3.03	5.33	2.31	0.36	2.63	2.50	2.92	0.57	2.37	1.16
K_2O	7.84	4.64	5.82	7.41	11.94	8.04	7.57	8.92	8.11	8.09	9.53
TiO_2	1.03	0.77	0.66	1.09	0.44	0.82	0.79	0.75	0.79	0.69	0.72
P_2O_5	0.75	0.55	0.16	0.59	0.21	0.33	0.42	0.21	0.36	0.30	0.32
L.O.I.	2.36	2.14	0.82	2.34	1.32	3.16	2.64	2.00	3.99	3.50	3.99
Total	100.37	100.24	100.27	100.37	100.07	100.29	100.25	100.23	100.17	100.24	100.18
Na_2O+K_2O	9.97	7.67	11.16	9.72	12.31	10.67	10.08	11.84	8.68	10.46	10.69
K_2O/Na_2O	3.68	1.53	1.09	3.21	32.91	3.05	3.02	3.06	14.30	3.42	8.22

جدول ۱. ادامه.

Table 1. Continued.

Rock Type	Intrusion										
Sample No.	R-50	R-51	R-59	R-61	R-62	R-63	R-67	R-68/3	R-89	R-102	R-114
SiO_2	60.00	61.47	62.59	62.95	58.92	59.06	42.99	61.56	58.79	64.95	66.30
Al_2O_3	18.32	17.46	17.81	17.97	18.73	18.22	17.61	17.40	18.48	15.60	17.00
Fe_2O_3	1.75	2.11	1.76	1.36	2.24	1.75	1.71	1.82	1.95	1.63	0.95
FeO	1.17	1.41	1.17	0.91	1.49	1.17	1.14	1.22	1.30	1.09	0.63
MnO	0.04	0.07	0.02	0.05	0.08	0.08	0.04	0.03	0.07	0.01	0.00
MgO	0.47	0.60	0.41	0.34	0.76	0.52	0.49	0.34	0.59	0.20	0.16
CaO	2.61	1.80	1.61	1.42	1.98	2.00	1.88	2.58	2.20	0.78	0.73
Na2O	2.30	1.87	1.68	1.44	2.91	2.60	3.01	1.64	3.59	2.17	0.54
K_2O	8.36	8.33	8.55	9.45	8.34	10.10	7.89	7.98	9.12	8.66	11.38
TiO_2	0.62	0.68	0.73	0.63	0.62	0.58	0.68	0.75	0.62	0.75	0.55
P_2O_5	0.28	0.32	0.32	0.29	0.28	0.27	0.31	0.33	0.25	0.20	0.29
L.O.I.	4.26	4.08	3.53	3.32	3.87	3.83	22.41	4.54	3.25	4.12	1.57
Total	100.17	100.21	100.18	100.14	100.22	100.17	100.17	100.18	100.19	100.16	100.10
Na_2O+K_2O	10.66	10.19	10.23	10.90	11.25	12.70	10.90	9.62	12.71	10.83	11.92
K_2O/Na_2O	3.64	4.46	5.09	6.54	2.86	3.89	2.62	4.86	2.54	3.99	21.14

جدول ۱. ادامه.

Table 1. Continued.

Rock Type	Dikes and Veins									
Sample No.	R-14/1	R-21	R-22	R-28/1	R-30/1	R-32	R-37	R-47/1	R-66	R-68
SiO_2	66.62	61.40	67.43	65.49	69.19	66.77	64.81	61.49	64.73	58.51
Al_2O_3	16.69	17.95	15.32	17.43	15.63	16.54	18.39	18.30	15.25	17.39
Fe_2O_3	0.94	3.30	1.20	0.57	0.91	0.98	0.57	2.76	2.80	3.25
FeO	0.63	2.20	0.80	0.38	0.61	0.65	0.38	1.84	1.87	2.17
MnO	0.00	0.15	0.01	0.09	0.01	0.00	0.00	0.16	0.09	0.11
MgO	0.19	0.63	0.37	0.26	0.18	0.20	0.14	0.49	0.91	1.08
CaO	0.66	1.58	0.54	0.66	0.54	0.55	0.76	0.66	2.13	2.78
Na_2O	0.34	4.95	0.35	0.27	0.28	0.29	0.59	0.33	2.82	2.61
K_2O	11.48	6.46	11.52	11.66	9.34	11.88	11.93	11.05	6.86	8.30
TiO_2	0.69	0.66	0.57	0.52	0.43	0.51	0.66	0.64	1.03	1.13
P_2O_5	0.30	0.17	0.28	0.29	0.21	0.23	0.29	0.29	0.43	0.47
L.O.I.	1.56	0.87	1.72	2.44	2.77	1.50	1.53	2.28	1.37	2.53
Total	100.09	100.33	100.12	100.06	100.09	100.10	100.06	100.28	100.28	100.33

جدول ۲. داده‌های زمین‌شیمیایی (عنصرهای کمیاب بر پایهٔ ppm) برای سنگ‌های آذرین درونی منطقهٔ رزگاه.

Table 2. Geochemical data (the trace elements in ppm) for the plutonic rocks of Razgah area.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-01	R-06	R-10	R-13	R-20	R-33	R-39	R-40	R-42
Ba	560	1116	111	901	795	1086	1114	195	1157
Rb	188	129	124	313	511	347	291	193	366
Sr	516	1245	97.1	808	363	421	698	210	407
Cs	4.8	5.1	3.8	6.5	4.1	8.5	11.1	17.8	5.4
Ta	1.3	0.83	3.14	0.74	0.98	0.69	0.81	3.87	0.82
Nb	26.1	11.5	54.5	9.2	4.9	7	6.9	56.8	7.9
Hf	5.26	3.17	10.03	3.33	2.36	3.09	3.22	14.01	3.27
Zr	201	110	508	135	84	132	108	493	129
Y	29.7	18.1	49.7	25.3	12	20	15.3	43.7	17.6
Th	16.48	8.4	36.91	5.62	4.75	6.08	6.25	63.18	6.11
U	5.1	2.4	13.69	1.8	3.4	1.7	1.5	9.2	1
Cr	21	16	20	11	7	11	10	9	9
Ni	8	9	3	7	4	4	5	4	3
Co	9	7.4	3.1	8.7	<1	5.2	6	4.1	1.5
V	182	149	21	203	49	125	122	17	114
Pb	16	11	14	11	2	14	13	23	19
Zn	94	57	93	85	19	84	54	36	32
Ag	0.6	0.5	0.8	0.5	0.2	0.6	0.5	0.9	0.2
As	6	7.4	4.9	5.7	12.8	10.6	7.5	18.4	22
Be	5.5	2.7	12.7	2.2	2.7	2.6	2.1	12.2	3
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	0.2	<0.1	0.2
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	164	174	59	233	41	136	146	206	32
Li	24	19	49	46	47	19	18	30	40
Mo	4	4	6	4	2	2	2	3	3
S	1204	120	543	848	<50	102	171	575	<50
Sb	0.8	0.5	1	0.7	1.6	1.3	1.7	2.1	2
Sc	7.6	6.2	3.3	10.4	1.6	5.9	4.4	3.6	3.7
Se	1.6	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	4.11	2.69	<0.5
Sn	<0.1	<0.1	0.7	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	6154	4622	3928	6552	2655	4915	4730	4512	4743
Tl	<0.1	<0.1	0.21	<0.1	0.46	0.33	0.24	1.04	0.18
W	2.1	1.5	4.3	1.9	<1	1	1	3.4	1
La	47	34	58	37	21	29	29	74	31
Ce	95	63	120	69	44	53	55	148	62
Pr	9.72	6.78	12	7.72	4.54	5.97	6.38	14.3	7.01
Nd	37.9	26.4	42	31.6	18.1	22.7	24.3	47.5	26.8

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-01	R-06	R-10	R-13	R-20	R-33	R-39	R-40	R-42
Sm	7.13	5.18	7.6	5.95	3.44	4.35	4.82	8.23	5.12
Eu	1.43	1.84	0.56	1.96	1.03	1.45	1.61	0.71	1.75
Gd	5.74	4.2	6.45	4.84	3.12	3.74	3.86	6.92	4.24
Tb	0.88	0.63	1.15	0.75	0.5	0.58	0.62	1.22	0.65
Dy	5.48	3.43	7.67	4.19	2.6	3.14	3.34	8.44	3.68
Er	3.32	1.98	5.31	2.47	1.26	1.86	1.79	5.73	1.84
Tm	0.46	0.28	0.89	0.35	0.18	0.27	0.26	1.03	0.27
Yb	3.5	2.2	6.6	2.9	0.9	2.2	1.7	6.6	1.8
Lu	0.51	0.3	1	0.37	0.19	0.3	0.26	1.17	0.25
La_N	151.613	109.677	187.097	119.355	93.548	93.548	238.71	100	83.871
Ce_N	117.574	77.97	148.515	85.396	65.594	68.069	183.168	76.733	60.644
Pr_N	79.672	55.574	98.361	63.279	48.934	52.295	117.213	57.459	47.049
Nd_N	63.167	44	70	52.667	37.833	40.5	79.167	44.667	36.667
Sm_N	36.564	26.564	38.974	30.513	22.308	24.718	42.205	26.256	20.564
Eu_N	19.456	25.034	7.619	26.667	19.728	21.905	9.66	23.81	18.231
Gd_N	22.162	16.216	24.903	18.687	14.44	14.903	26.718	16.371	14.054
Tb_N	18.565	13.291	24.262	15.823	12.236	13.08	25.738	13.713	11.392
Dy_N	17.019	10.652	23.82	13.012	9.752	10.373	26.211	11.429	9.752
Er_N	15.81	9.429	25.286	11.762	8.857	8.524	27.286	8.762	8.048
Tm_N	14.198	8.642	27.469	10.802	8.333	8.025	31.79	8.333	7.716
Yb_N	16.746	10.526	31.579	13.876	10.526	8.134	31.579	8.612	9.091
Lu_N	15.839	9.317	31.056	11.491	9.317	8.075	36.335	7.764	8.075
Eu/Eu*	0.683	1.206	0.245	1.117	1.099	1.141	0.288	1.148	1.072
La_N/Yb_N	9.053	10.419	5.925	8.602	8.887	11.501	7.559	11.611	9.226
La_N/Sm_N	4.146	4.129	4.801	3.912	4.194	3.785	5.656	3.809	4.079
Ce_N/Yb_N	7.021	7.407	4.703	6.154	6.231	8.369	5.8	8.91	6.671
Ce_N/Sm_N	3.216	2.935	3.811	2.799	2.94	2.754	4.34	2.922	2.949
Eu_N/Yb_N	1.162	2.378	0.241	1.922	1.874	2.693	0.306	2.765	2.005
Sum REE	218.07	150.22	269.23	169.1	128.56	132.94	323.85	146.41	119.51

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-43	R-47	R-50	R-51	R-59	R-61	R-62	R-63	R-67
Ba	995	1115	914	1066	1182	1045	910	873	1048
Rb	340	365	357	365	336	342	323	402	309
Sr	413	445	473	746	962	484	429	394	427
Cs	6.7	18.3	26.1	17	19.4	19.5	10.4	8.3	4.5

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-43	R-47	R-50	R-51	R-59	R-61	R-62	R-63	R-67
Ta	0.75	0.71	0.71	0.73	0.93	0.77	0.56	0.8	1.06
Nb	5.7	6	4.5	5.4	5.3	4.4	6.6	6.4	6
Hf	3.02	3.25	2.71	3.31	2.98	2.72	3.07	2.97	2.7
Zr	115	128	91	118	98	87	110	103	87
Y	17.9	13.5	12.2	17.3	14.9	12.1	14.1	14.1	14.1
Th	5.21	5.92	5.04	5.88	6.87	4.97	5.24	5	5.16
U	1.7	1.1	1.6	1.3	1	1.2	1.5	1.3	1.5
Cr	14	9	8	8	15	13	8	7	9
Ni	2	4	5	3	9	5	3	3	5
Co	3.7	3.9	2.5	3.9	2.3	2.5	4	3.6	4.3
V	97	97	78	90	88	78	85	78	90
Pb	7	19	9	9	11	8	6	7	12
Zn	61	40	32	52	46	37	51	48	29
Ag	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3
As	4.6	11.2	12.4	15.7	12.1	11.7	12	13.9	8
Be	2.4	2.2	2	2.3	2.4	1.9	2.7	2.9	1.8
Bi	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	115	82	159	128	126	152	112	113	128
Li	31	36	28	23	31	33	28	38	27
Mo	2	3	3	3	3	1	2	2	1
S	67	<50	83	82	126	<50	79	<50	83
Sb	0.6	0.7	0.8	<0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	1.4
Sc	5.2	2.6	3	4.3	3.9	2.9	3.4	3.7	4.2
Se	<0.5	<0.5	4.51	<0.5	1.63	0.93	4.81	0.73	4.32
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	4124	4320	3705	4090	4377	3783	3699	3472	4106
Tl	0.14	0.11	<0.1	0.11	<0.1	0.13	0.16	0.15	0.19
W	<1	1.2	<1	1.6	1.2	1.3	<1	<1	1.3
La	26	24	23	29	27	21	25	22	25
Ce	49	47	44	53	52	41	48	42	49
Pr	5.74	5.06	4.94	5.74	6.07	4.98	4.85	4.88	5.6
Nd	22	19.1	18.6	22.2	22	18.1	18.2	18.5	20.7
Sm	4.01	3.67	3.26	4.14	4.33	3.55	3.51	3.56	3.95
Eu	1.34	1.32	1.15	1.33	1.42	1.29	1.04	1.18	1.32
Gd	3.64	2.91	3.08	3.58	3.56	3.01	3.12	3.18	3.32
Tb	0.54	0.47	0.45	0.56	0.56	0.47	0.46	0.51	0.55

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-43	R-47	R-50	R-51	R-59	R-61	R-62	R-63	R-67
Dy	3.14	2.28	2.44	3.13	2.96	2.54	2.65	2.63	2.9
Er	1.69	1.4	1.4	1.68	1.7	1.52	1.5	1.53	1.59
Tm	0.25	0.19	0.22	0.26	0.25	0.22	0.23	0.25	0.24
Yb	1.9	1.3	1.3	1.8	1.6	1.3	1.6	1.6	1.5
Lu	0.26	0.19	0.24	0.28	0.27	0.23	0.25	0.26	0.25
La_N	77.419	74.194	93.548	87.097	67.742	80.645	70.968	80.645	87.097
Ce_N	58.168	54.455	65.594	64.356	50.743	59.406	51.98	60.644	64.356
Pr_N	41.475	40.492	47.049	49.754	40.82	39.754	40	45.902	49.918
Nd_N	31.833	31	37	36.667	30.167	30.333	30.833	34.5	37.167
Sm_N	18.821	16.718	21.231	22.205	18.205	18	18.256	20.256	23.077
Eu_N	17.959	15.646	18.095	19.32	17.551	14.15	16.054	17.959	21.361
Gd_N	11.236	11.892	13.822	13.745	11.622	12.046	12.278	12.819	12.934
Tb_N	9.916	9.494	11.814	11.814	9.916	9.705	10.759	11.603	11.181
Dy_N	7.081	7.578	9.72	9.193	7.888	8.23	8.168	9.006	8.571
Er_N	6.667	6.667	8	8.095	7.238	7.143	7.286	7.571	6.81
Tm_N	5.864	6.79	8.025	7.716	6.79	7.099	7.716	7.407	7.099
Yb_N	6.22	6.22	8.612	7.656	6.22	7.656	7.656	7.177	6.22
Lu_N	5.901	7.453	8.696	8.385	7.143	7.764	8.075	7.764	6.211
Eu/Eu*	1.235	1.11	1.056	1.106	1.207	0.961	1.072	1.115	1.236
La_N/Yb_N	12.447	11.928	10.862	11.377	10.891	10.534	9.27	11.237	14.002
La_N/Sm_N	4.114	4.438	4.406	3.922	3.721	4.48	3.887	3.981	3.774
Ce_N/Yb_N	9.352	8.755	7.616	8.407	8.158	7.76	6.79	8.45	10.347
Ce_N/Sm_N	3.091	3.257	3.09	2.898	2.787	3.3	2.847	2.994	2.789
Eu_N/Yb_N	2.887	2.515	2.101	2.524	2.822	1.848	2.097	2.502	3.434
Sum REE	108.89	104.08	126.7	123.72	99.21	110.41	102.08	115.92	123.26

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-68/3	R-89	R-102	R-114	R-03	R-07	R-08	R-09	R-11
Ba	1473	679	505	953	1592	1057	1037	1125	1654
Rb	353	278	208	434	142	131	134	138	72
Sr	617	352	237	456	1281.1	1314.5	1317.4	1276.4	1530.5
Cs	24.5	11.1	13.6	2.3	217	183	246	243	68
Ta	0.8	0.98	2.32	0.7	0.67	0.7	1.19	1.33	0.87
Nb	6.9	11.1	37.1	4.8	10.3	8.7	7.5	7.9	9.3
Hf	3.04	4.52	8	2.68	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	98	155	345	76	77	85	64	72	80

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-68/3	R-89	R-102	R-114	R-03	R-07	R-08	R-09	R-11
Y	12.9	15.5	28.2	12.3	16.6	14.2	14.7	15.8	7.3
Th	6.31	9.25	33.69	5.65	5.9	5.61	4.34	4.43	5.6
U	1.3	3.2	14.8	1.3	1.7	1.8	1.5	1.6	1.9
Cr	13	9	7	7	14	16	19	20	19
Ni	4	3	4	3	8	8	13	11	6
Co	3.5	3.1	2.2	<1	8.1	6.9	12.1	10.4	1.1
V	99	67	37	70	190	139	197	171	64
Pb	12	11	34	5	14	12	10	13	7
Zn	26	53	29	18	61	38	74	70	11
Ag	0.8	0.7	3.5	0.2	0.5	0.6	0.6	0.5	0.9
As	5.2	2.7	36.6	3.5	5.1	4.3	5.1	3	5.9
Be	1.8	3.4	4.9	2	2	2.1	1.5	1.9	2.5
Bi	0.2	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1
Cd	<0.1	<0.1	0.4	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	54	135	2023	43	10.7	6.7	4.4	3.9	16.1
Li	23	29	27	37	31	18	17	16	15
Mo	2	2	3	1	2	2	2	2	3
S	96	69	82	59	174	343	115	515	127
Sb	1	0.9	3.2	3	2	1	<0.5	0.5	0.6
Sc	2.8	3.2	1.9	2.7	8.1	4.8	6.5	4.5	0.5
Se	4.58	5.3	<0.5	5.36	3.93	2.13	3.41	1.39	0.52
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	4491	3704	4480	3287	5078	4532	4868	4746	2623
Tl	<0.1	<0.1	1.73	0.63	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W	1.3	1.1	2.5	2.9	1.9	1.3	<1	<1	1.3
La	27	25	45	22	32	29	29	30	20
Ce	52	50	82	45	58	55	54	55	35
Pr	6.09	5.88	8.34	5.18	6.59	5.89	6.48	6.48	3.78
Nd	22.3	22.5	28.7	19.6	26.5	22.6	25.5	25.5	13.1
Sm	4.5	3.99	5.09	3.65	5.2	4.15	4.63	4.84	2.57
Eu	1.57	1.07	0.99	1.2	2.2	1.84	1.86	1.84	2.22
Gd	3.35	3.67	4.61	3.21	4.25	3.57	4.05	3.96	2.29
Tb	0.53	0.59	0.77	0.48	0.6	0.52	0.58	0.58	0.32
Dy	2.76	3.4	4.78	2.42	3.32	2.87	3.16	3.13	1.53
Er	1.43	1.94	2.9	1.43	1.95	1.53	1.78	1.76	0.84
Tm	0.23	0.36	0.48	0.21	0.26	0.24	0.23	0.25	0.13
Yb	1.3	2	3.2	1.1	2.1	1.8	2	2	1

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-68/3	R-89	R-102	R-114	R-03	R-07	R-08	R-09	R-11
Lu	0.2	0.35	0.48	0.22	0.28	0.24	0.25	0.26	0.14
La_N	80.645	145.161	61.29	70.968	103.226	93.548	93.548	96.774	64.516
Ce_N	61.881	101.485	44.554	55.693	71.782	68.069	66.832	68.069	43.317
Pr_N	48.197	68.361	33.934	42.459	54.016	48.279	53.115	53.115	30.984
Nd_N	37.5	47.833	26.667	32.667	44.167	37.667	42.5	42.5	21.833
Sm_N	20.462	26.103	14.513	18.718	26.667	21.282	23.744	24.821	13.179
Eu_N	14.558	13.469	11.565	16.327	29.932	25.034	25.306	25.034	30.204
Gd_N	14.17	17.799	10.927	12.394	16.409	13.784	15.637	15.29	8.842
Tb_N	12.447	16.245	9.072	10.127	12.658	10.97	12.236	12.236	6.751
Dy_N	10.559	14.845	6.584	7.516	10.311	8.913	9.814	9.72	4.752
Er_N	9.238	13.81	5.667	6.81	9.286	7.286	8.476	8.381	4
Tm_N	11.111	14.815	6.173	6.481	8.025	7.407	7.099	7.716	4.012
Yb_N	9.569	15.311	5.742	5.263	10.048	8.612	9.569	9.569	4.785
Lu_N	10.87	14.907	5.901	6.832	8.696	7.453	7.764	8.075	4.348
Eu/Eu*	0.855	0.625	0.918	1.072	1.431	1.462	1.313	1.285	2.798
La_N/Yb_N	8.427	9.481	10.675	13.484	10.273	10.862	9.776	10.113	13.484
La_N/Sm_N	3.941	5.561	4.223	3.791	3.871	4.396	3.94	3.899	4.895
Ce_N/Yb_N	6.467	6.628	7.76	10.582	7.144	7.904	6.984	7.113	9.053
Ce_N/Sm_N	3.024	3.888	3.07	2.975	2.692	3.198	2.815	2.742	3.287
Eu_N/Yb_N	1.521	0.88	2.014	3.102	2.979	2.907	2.644	2.616	6.313
Sum REE	120.75	187.34	86.98	105.7	143.25	129.25	133.52	135.6	82.92

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-12	R-14	R-20/1	R-23	R-36	R-44	R-46	R-54	R-56
Ba	46	891	1154	716	1118	1046	1207	1062	1087
Rb	209	206	552	175	366	363	267	372	372
Sr	101.4	1080.7	382.7	607	448.2	457.7	1149.2	465.4	488.2
Cs	25	296	23968	205	133	133	235	131	104
Ta	0.89	0.57	0.62	1.71	0.78	0.83	0.82	0.82	0.69
Nb	10.3	4.9	4.3	26.8	6.5	6.4	5.9	5.6	4.4
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	96	68	72	269	119	109	99	116	94
Y	10.9	17.7	49.4	20.4	14.8	14.8	15.8	15.3	12.3
Th	2.65	3.84	4.4	17.23	6.08	5.97	6.23	6.32	5.41
U	0.6	1.3	218.1	4.7	1.5	1.7	1.3	1.6	1
Cr	9	15	9	13	8	13	13	9	9

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-12	R-14	R-20/1	R-23	R-36	R-44	R-46	R-54	R-56
Ni	3	11	4	6	3	5	8	3	3
Co	<1	13.6	1.9	3.8	4.1	4.2	4.7	3.9	2.4
V	3	297	218	86	96	92	134	90	86
Pb	7	10	22	20	12	10	17	11	6
Zn	50	81	88	48	52	56	29	59	48
Ag	0.2	0.6	4.5	0.8	0.7	0.4	0.5	0.3	0.3
As	2.9	8.7	41.4	12.2	10.9	41.1	6.7	12.2	11.8
Be	8.1	1.5	4.6	5.4	2.1	2.5	1.8	2.5	2.2
Bi	<0.1	<0.1	1.8	<0.1	0.2	0.8	0.3	0.1	<0.1
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	12.4	8.4	3.3	16.2	16.2	13.7	13.4	9	24.6
Li	71	32	300	45	17	23	32	19	28
Mo	4	2	3	4	2	2	4	2	1
S	339	525	988	294	62	68	760	83	<50
Sb	1.2	0.9	1	1.5	1	2.8	1.1	0.6	0.5
Sc	0.6	10.7	3.9	3.4	3.8	4	4.5	3.8	3.4
Se	<0.5	4.15	5.2	<0.5	4.6	2.79	<0.5	3.87	2.6
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	2057	5968	2744	4488	4384	4106	4398	4207	4041
Tl	0.33	<0.1	0.25	0.18	0.16	0.28	0.45	0.12	<0.1
W	1	2	1.2	2.7	<1	1.1	1.7	1.1	1
La	18	31	33	34	26	25	28	26	24
Ce	36	59	91	72	50	49	52	50	46
Pr	4.09	7.18	12.93	8.26	5.58	5.99	6.4	5.76	5.13
Nd	15.1	29.1	57.8	30	21.1	23.1	23.3	21.6	19.3
Sm	2.39	5.43	16.01	5.44	3.94	4.24	4.51	4.26	3.6
Eu	<0.1	1.78	4.4	1.17	1.34	1.38	1.69	1.37	1.29
Gd	2.54	4.56	12.12	4.46	3.44	3.62	3.66	3.51	3.18
Tb	0.38	0.67	2.36	0.73	0.56	0.57	0.59	0.57	0.47
Dy	1.97	3.86	15.44	4.43	2.87	3.33	3.16	3.01	2.47
Er	1.15	1.98	6.25	2.83	1.71	1.87	1.7	1.73	1.33
Tm	0.17	0.27	0.81	0.45	0.26	0.28	0.27	0.29	0.21
Yb	1.3	2.3	4.2	2.7	1.6	1.7	1.9	1.8	1.2
Lu	0.25	0.27	0.62	0.54	0.26	0.31	0.26	0.32	0.21
La_N	58.065	100	106.452	109.677	83.871	80.645	90.323	83.871	77.419
Ce_N	44.554	73.02	112.624	89.109	61.881	60.644	64.356	61.881	56.931
Pr_N	33.525	58.852	105.984	67.705	45.738	49.098	52.459	47.213	42.049

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-12	R-14	R-20/1	R-23	R-36	R-44	R-46	R-54	R-56
Nd_N	25.167	48.5	96.333	50	35.167	38.5	38.833	36	32.167
Sm_N	12.256	27.846	82.103	27.897	20.205	21.744	23.128	21.846	18.462
Eu_N		24.218	59.864	15.918	18.231	18.776	22.993	18.639	17.551
Gd_N	9.807	17.606	46.795	17.22	13.282	13.977	14.131	13.552	12.278
Tb_N	8.017	14.135	49.789	15.401	11.814	12.025	12.447	12.025	9.916
Dy_N	6.118	11.988	47.95	13.758	8.913	10.342	9.814	9.348	7.671
Er_N	5.476	9.429	29.762	13.476	8.143	8.905	8.095	8.238	6.333
Tm_N	5.247	8.333	25	13.889	8.025	8.642	8.333	8.951	6.481
Yb_N	6.22	11.005	20.096	12.919	7.656	8.134	9.091	8.612	5.742
Lu_N	7.764	8.385	19.255	16.77	8.075	9.627	8.075	9.938	6.522
Eu/Eu*		1.094	0.966	0.726	1.113	1.077	1.272	1.083	1.166
La_N/Yb_N	9.335	9.087	5.297	8.49	10.956	9.915	9.935	9.738	13.484
La_N/Sm_N	4.737	3.591	1.297	3.931	4.151	3.709	3.905	3.839	4.194
Ce_N/Yb_N	7.163	6.635	5.604	6.898	8.083	7.456	7.079	7.185	9.915
Ce_N/Sm_N	3.635	2.622	1.372	3.194	3.063	2.789	2.783	2.833	3.084
Eu_N/Yb_N		2.201	2.979	1.232	2.381	2.308	2.529	2.164	3.057
Sum REE	83.34	147.4	256.94	167.01	118.66	120.39	127.44	120.22	108.39

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-57	R-64	R-65	R-78	R-79	R-80	R-81	R-82	R-83
Ba	1011	966	932	970	954	958	1038	1277	956
Rb	378	352	378	348	366	362	318	377	393
Sr	447.2	457.6	419.2	362	532.6	427.6	560.8	681.8	464.1
Cs	106	79	123	131	121	125	121	64	117
Ta	0.76	0.65	1.01	0.66	0.67	0.84	0.7	0.77	0.71
Nb	4.7	4.2	6.1	5	5.8	6.8	6.3	6.4	6.9
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	97	77	90	78	92	86	103	81	91
Y	12.6	11.1	13.1	12.7	13.6	13.5	18	10.9	12.5
Th	5.92	5.4	5.19	4.83	5.16	5.01	5.26	5.49	6.42
U	1.3	1.1	1.6	1.4	1.7	1.3	1.2	1.6	1.4
Cr	9	6	7	7	7	6	9	6	7
Ni	3	5	3	3	3	3	3	6	2
Co	2.2	3.7	3.8	2.7	4	3.9	3.8	1.6	2.3
V	73	73	83	77	90	89	99	87	72
Pb	11	7	9	7	7	7	22	12	9

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-57	R-64	R-65	R-78	R-79	R-80	R-81	R-82	R-83
Zn	44	21	48	41	55	57	63	24	30
Ag	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.2	0.5	0.7	0.4
As	12.3	12.8	7.4	4.4	7.1	10.1	8.1	19.1	10.5
Be	2.2	2.3	2.3	2.4	2.3	2.2	2.3	1.7	3.2
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	<0.1	0.2	0.1
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	24.6	13.6	4.9	26.8	8.7	10.1	11.6	23.6	33.2
Li	37	26	24	37	18	25	23	31	58
Mo	1	2	2	1	3	1	2	2	1
S	<50	<50	74	89	983	93	115	152	53
Sb	<0.5	0.8	<0.5	<0.5	1.6	0.6	0.9	0.7	0.7
Sc	2.8	3.1	3.5	3.1	3.7	3.7	5.4	0.6	2.8
Se	3.06	2.85	2.53	4.24	5.27	3.86	<0.5	3.95	3.9
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.18	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	3720	3560	3675	3622	3935	3801	4270	4334	3497
Tl	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	0.16	<0.1	<0.1	0.19	<0.1
W	1.1	<1	1.2	<1	<1	1.1	1	1	1.1
La	24	22	23	22	24	23	26	23	23
Ce	46	43	45	43	46	46	49	45	46
Pr	5.35	4.65	5.22	5.19	5.51	5.36	5.71	5.24	5.61
Nd	19.7	17	20.4	20	21.2	20.7	21.9	19.2	20.4
Sm	3.56	3.11	3.85	3.71	3.8	3.76	4.13	3.67	3.61
Eu	1.21	1.08	1.19	1.23	1.37	1.36	1.35	1.42	1.22
Gd	3.17	2.88	3.24	3.3	3.29	3.35	3.46	3.09	3.27
Tb	0.52	0.44	0.52	0.49	0.55	0.51	0.54	0.46	0.5
Dy	2.59	2.08	2.83	2.67	2.92	2.68	2.91	2.32	2.59
Er	1.48	1.28	1.59	1.48	1.62	1.54	1.77	1.3	1.59
Tm	0.22	0.22	0.25	0.26	0.26	0.26	0.28	0.19	0.25
Yb	1.3	1.1	1.5	1.5	1.6	1.5	2	1	1.3
Lu	0.23	0.19	0.27	0.24	0.28	0.24	0.27	0.17	0.25
La_N	77.419	70.968	74.194	70.968	77.419	74.194	83.871	74.194	74.194
Ce_N	56.931	53.218	55.693	53.218	56.931	56.931	60.644	55.693	56.931
Pr_N	43.852	38.115	42.787	42.541	45.164	43.934	46.803	42.951	45.984
Nd_N	32.833	28.333	34	33.333	35.333	34.5	36.5	32	34
Sm_N	18.256	15.949	19.744	19.026	19.487	19.282	21.179	18.821	18.513
Eu_N	16.463	14.694	16.19	16.735	18.639	18.503	18.367	19.32	16.599
Gd_N	12.239	11.12	12.51	12.741	12.703	12.934	13.359	11.931	12.625

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-57	R-64	R-65	R-78	R-79	R-80	R-81	R-82	R-83
Tb_N	10.97	9.283	10.97	10.338	11.603	10.759	11.392	9.705	10.549
Dy_N	8.043	6.46	8.789	8.292	9.068	8.323	9.037	7.205	8.043
Er_N	7.048	6.095	7.571	7.048	7.714	7.333	8.429	6.19	7.571
Tm_N	6.79	6.79	7.716	8.025	8.025	8.025	8.642	5.864	7.716
Yb_N	6.22	5.263	7.177	7.177	7.656	7.177	9.569	4.785	6.22
Lu_N	7.143	5.901	8.385	7.453	8.696	7.453	8.385	5.28	7.764
Eu/Eu*	1.101	1.103	1.03	1.075	1.185	1.172	1.092	1.289	1.086
La_N/Yb_N	12.447	13.484	10.338	9.888	10.113	10.338	8.765	15.506	11.928
La_N/Sm_N	4.241	4.45	3.758	3.73	3.973	3.848	3.96	3.942	4.008
Ce_N/Yb_N	9.153	10.111	7.76	7.415	7.437	7.932	6.337	11.64	9.153
Ce_N/Sm_N	3.118	3.337	2.821	2.797	2.921	2.953	2.863	2.959	3.075
Eu_N/Yb_N	2.647	2.792	2.256	2.332	2.435	2.578	1.919	4.038	2.669
Sum REE	109.33	99.03	108.86	105.07	112.4	110.26	119.32	106.06	109.59

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-84	R-87/1	R-90	R-93	R-96	R-101	R-103	R-104	R-105
Ba	1016	1228	966	968	968	1089	1046	1030	867
Rb	234	144	347	479	357	394	390	384	305
Sr	904.5	1005.5	390.6	404.1	416.7	663.2	449.7	445.6	415.2
Cs	376	306	117	971	123	144	86	112	122
Ta	0.82	0.9	1	0.47	0.76	0.88	0.85	0.97	0.99
Nb	7	7.7	9.8	3.4	7.6	7.8	8.8	7.9	12
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	81	87	149	76	99	91	104	119	163
Y	13.4	17.7	14	13.6	14.2	12.5	13	16	16.8
Th	5.62	6.09	8.6	4.39	6.26	5.85	6.31	6.43	9.77
U	1.6	1.7	1.9	10.1	2.2	1	1	1.5	2
Cr	10	16	6	6	8	8	6	7	10
Ni	8	10	3	6	3	12	4	5	2
Co	5.8	12.3	3.2	3.8	4.1	4.8	5.3	4.2	4.1
V	135	246	75	69	90	83	77	78	76
Pb	16	13	8	5	11	9	8	8	11
Zn	44	83	50	33	54	47	28	35	56
Ag	0.8	0.6	0.6	0.8	0.6	0.7	2.3	0.3	0.7
As	8	3	10	25.2	5.4	13.3	17	9.1	8

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-84	R-87/1	R-90	R-93	R-96	R-101	R-103	R-104	R-105
Be	1.9	1.7	2	2.8	2.3	2.1	2.1	2.3	3.1
Bi	0.2	0.1	0.2	0.9	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	0.2
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	20.4	2.9	10.2	2.8	11.8	18	12.2	12.4	10.2
Li	35	18	19	67	23	29	44	29	20
Mo	1	2	<0.1	1	1	2	2	2	3
S	287	120	105	51	2695	59	<50	<50	59
Sb	1	<0.5	0.6	1	1.1	0.6	0.6	0.7	0.9
Sc	4.3	9.7	3.3	2.6	3.7	3.6	2.5	4	3.4
Se	4.64	1.92	3.24	2.79	4.62	3.2	<0.5	<0.5	5.09
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	4419	5872	3769	3255	3896	4039	3947	3820	3798
Tl	1.43	<0.1	<0.1	0.51	0.12	0.14	0.13	0.13	<0.1
W	2	1.1	1.5	1.3	1.2	1.2	1.2	<1	1
La	27	30	25	22	24	24	23	25	28
Ce	53	59	51	46	47	49	44	47	58
Pr	6.59	7.72	6.15	5.35	5.59	5.6	5.03	5.67	6.57
Nd	25.3	30.9	23	19.9	21.4	21.3	19.1	21.2	24.5
Sm	4.62	5.93	4.33	3.93	3.77	3.91	3.45	4.08	4.49
Eu	1.56	2.31	1.29	1.35	1.3	1.42	1.27	1.29	1.16
Gd	3.84	4.82	3.66	3.59	3.46	3.25	3.19	3.53	3.87
Tb	0.58	0.76	0.58	0.59	0.57	0.53	0.47	0.55	0.62
Dy	3.03	4.11	3.23	3.05	2.96	2.79	2.44	2.8	3.5
Er	1.63	2.28	1.93	1.61	1.7	1.49	1.3	1.68	2.05
Tm	0.26	0.32	0.34	0.22	0.29	0.25	0.21	0.26	0.34
Yb	1.6	2.3	1.7	1.2	1.7	1.3	1.2	1.6	2.1
Lu	0.24	0.32	0.32	0.22	0.27	0.25	0.19	0.26	0.36
La_N	87.097	96.774	80.645	70.968	77.419	77.419	74.194	80.645	90.323
Ce_N	65.594	73.02	63.119	56.931	58.168	60.644	54.455	58.168	71.782
Pr_N	54.016	63.279	50.41	43.852	45.82	45.902	41.23	46.475	53.852
Nd_N	42.167	51.5	38.333	33.167	35.667	35.5	31.833	35.333	40.833
Sm_N	23.692	30.41	22.205	20.154	19.333	20.051	17.692	20.923	23.026
Eu_N	21.224	31.429	17.551	18.367	17.687	19.32	17.279	17.551	15.782
Gd_N	14.826	18.61	14.131	13.861	13.359	12.548	12.317	13.629	14.942
Tb_N	12.236	16.034	12.236	12.447	12.025	11.181	9.916	11.603	13.08
Dy_N	9.41	12.764	10.031	9.472	9.193	8.665	7.578	8.696	10.87
Er_N	7.762	10.857	9.19	7.667	8.095	7.095	6.19	8	9.762

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion								
Sample No.	R-84	R-87/1	R-90	R-93	R-96	R-101	R-103	R-104	R-105
Tm_N	8.025	9.877	10.494	6.79	8.951	7.716	6.481	8.025	10.494
Yb_N	7.656	11.005	8.134	5.742	8.134	6.22	5.742	7.656	10.048
Lu_N	7.453	9.938	9.938	6.832	8.385	7.764	5.901	8.075	11.18
Eu/Eu*	1.132	1.321	0.991	1.099	1.101	1.218	1.171	1.039	0.851
La_N/Yb_N	11.377	8.794	9.915	12.36	9.518	12.447	12.922	10.534	8.989
La_N/Sm_N	3.676	3.182	3.632	3.521	4.004	3.861	4.194	3.854	3.923
Ce_N/Yb_N	8.568	6.635	7.76	9.915	7.151	9.75	9.484	7.598	7.144
Ce_N/Sm_N	2.769	2.401	2.843	2.825	3.009	3.024	3.078	2.78	3.117
Eu_N/Yb_N	2.772	2.856	2.158	3.199	2.174	3.106	3.009	2.293	1.571
Sum REE	129.25	150.77	122.53	109.01	114.01	115.09	104.85	114.92	135.56

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion							
Sample No.	R-106	R-107	R-108	R-109	R-110	R-111	R-112	R-115
Ba	987	989	888	886	1069	990	957	978
Rb	421	364	345	325	373	380	335	311
Sr	399.3	415.3	428.9	412.1	496.4	440.1	432.2	436.9
Cs	118	119	104	106	124	110	127	143
Ta	0.81	0.79	0.64	0.68	0.84	0.8	0.84	0.86
Nb	7.3	6.8	5.6	8.1	8.5	5.7	8.7	7.6
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	89	94	89	98	98	79	108	82
Y	12.9	12.6	11.8	13	13.4	12.1	14.4	13.4
Th	4.66	5.21	4.58	5.53	6.75	5.23	6.44	5.07
U	1	1.3	1.6	1.8	1.1	1.1	2.1	2.1
Cr	9	10	8	8	6	6	9	8
Ni	4	6	5	4	4	6	4	3
Co	3.2	3.1	3.8	3.8	3.1	3.8	3.7	4.5
V	84	76	82	83	86	92	87	102
Pb	9	7	7	8	8	6	16	11
Zn	51	42	50	50	47	52	54	59
Ag	0.6	0.8	0.8	0.5	0.3	0.2	0.4	0.5
As	12.5	9.4	7.7	13	7.8	13.7	5.1	6.5
Be	1.8	2.2	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3	2.1
Bi	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Cu	9.5	10.3	8.5	5.9	21.4	11.8	7	9.8

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion							
Sample No.	R-106	R-107	R-108	R-109	R-110	R-111	R-112	R-115
Li	23	23	21	22	32	20	20	16
Mo	1	2	1	2	2	2	3	3
S	64	200	53	69	88	104	63	2014
Sb	0.9	0.9	0.6	0.6	1.2	0.6	1	0.5
Sc	3.6	2.9	2.9	2.8	3.2	3	3.5	4.1
Se	5.46	4.76	4.84	5.31	4.4	4.17	4.85	5.3
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ti	4072	3615	3564	3609	4084	3774	3850	4166
Tl	0.15	0.11	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
W	1.1	<1	<1	<1	1.2	1.2	<1	1.1
La	22	23	21	22	24	22	25	24
Ce	44	45	41	44	49	43	49	45
Pr	5.25	4.97	4.69	5.07	5.79	5.12	5.8	5.53
Nd	20.6	18.9	18.4	19.7	22.6	19.4	21.7	22.5
Sm	3.76	3.5	3.46	3.69	4.37	3.58	4.3	4.03
Eu	1.28	1.2	1.15	1.12	1.34	1.2	1.36	1.36
Gd	3.39	3.17	3.14	3.16	3.53	3.18	3.55	3.5
Tb	0.51	0.49	0.5	0.5	0.54	0.5	0.57	0.54
Dy	2.69	2.39	2.33	2.76	2.92	2.64	3.08	2.79
Er	1.59	1.46	1.47	1.59	1.63	1.57	1.82	1.68
Tm	0.25	0.24	0.24	0.26	0.3	0.24	0.29	0.24
Yb	1.5	1.3	1.3	1.5	1.5	1.4	1.7	1.6
Lu	0.27	0.24	0.23	0.27	0.26	0.26	0.3	0.26
La_N	70.968	74.194	67.742	70.968	77.419	70.968	80.645	77.419
Ce_N	54.455	55.693	50.743	54.455	60.644	53.218	60.644	55.693
Pr_N	43.033	40.738	38.443	41.557	47.459	41.967	47.541	45.328
Nd_N	34.333	31.5	30.667	32.833	37.667	32.333	36.167	37.5
Sm_N	19.282	17.949	17.744	18.923	22.41	18.359	22.051	20.667
Eu_N	17.415	16.327	15.646	15.238	18.231	16.327	18.503	18.503
Gd_N	13.089	12.239	12.124	12.201	13.629	12.278	13.707	13.514
Tb_N	10.759	10.338	10.549	10.549	11.392	10.549	12.025	11.392
Dy_N	8.354	7.422	7.236	8.571	9.068	8.199	9.565	8.665
Er_N	7.571	6.952	7	7.571	7.762	7.476	8.667	8
Tm_N	7.716	7.407	7.407	8.025	9.259	7.407	8.951	7.407
Yb_N	7.177	6.22	6.22	7.177	7.177	6.699	8.134	7.656
Lu_N	8.385	7.453	7.143	8.385	8.075	8.075	9.317	8.075
Eu/Eu*	1.096	1.102	1.067	1.003	1.043	1.087	1.064	1.107

جدول ۲. ادامه.

Table 2. Continued.

Rock Type	Intrusion							
Sample No.	R-106	R-107	R-108	R-109	R-110	R-111	R-112	R-115
La_N/Yb_N	9.888	11.928	10.891	9.888	10.787	10.594	9.915	10.113
La_N/Sm_N	3.681	4.134	3.818	3.75	3.455	3.866	3.657	3.746
Ce_N/Yb_N	7.587	8.954	8.158	7.587	8.45	7.945	7.456	7.275
Ce_N/Sm_N	2.824	3.103	2.86	2.878	2.706	2.899	2.75	2.695
Eu_N/Yb_N	2.426	2.625	2.515	2.123	2.54	2.437	2.275	2.417
Sum REE	107.09	105.86	98.91	105.62	117.78	104.09	118.47	113.03

جدول ۳. داده‌های زمین‌شیمیایی (عنصرهای کمیاب برپایهٔ ppm) برای دایک‌ها و رگه‌های همراه سنگ‌های آذرین درونی منطقهٔ رزگاه.

Table 3. Geochemical data (trace elements in ppm) for the dikes and veins associated with plutonic rocks of Razgah area.

Rock Type	Dikes and Veins									
Sample No.	R-14/1	R-21	R-22	R-28/1	R-30/1	R-32	R-37	R-47/1	R-66	R-68
Ba	1202	69	932	1021	913	944	1426	960	943	1122
Rb	416	213	502	493	431	507	471	699	218	314
Sr	424	123	410	410	328	461	393	299	388	437
Cs	1.4	5.1	4.8	3.8	4.3	1.8	3.3	11.1	7.1	18.4
Ta	0.73	1.62	0.58	0.54	0.51	0.51	0.57	0.69	1.2	1.25
Nb	8.7	23.2	4.3	3.8	2.7	3.1	4.7	4.8	11.1	12.3
Hf	2.75	9.81	2.45	2.49	2.12	2.03	2.73	3.26	5.23	5.78
Zr	89	386	87	85	67	63	95	123	210	231
Y	16.8	30.8	14.9	65.8	14	9.5	14.5	16.4	25.1	27.9
Th	8.44	14.92	3.88	4.44	3.27	3.32	5.26	5.27	10.19	11.12
U	2.7	4.9	5.8	172	23.3	1.1	1.8	1.6	3.4	3.7
Cr	8	13	12	7	9	10	6	9	10	14
Ni	3	1	2	8	3	4	3	4	4	6
Co	<1	2.9	<1	84.8	2.6	<1	<1	5.9	5.6	6.3
V	111	27	67	103	84	72	44	140	125	140
Pb	<1	12	8	46	11	5	19	11	22	18
Zn	20	109	26	70	68	18	11	63	81	85
Ag	0.4	0.8	0.8	6	3.6	0.4	0.2	0.4	0.5	0.6
As	10.6	0.5	21.3	15.3	60.3	13.9	10	23.8	4.2	38.5
Be	4	11	2.4	2.8	2.8	2.5	1.8	3.5	3.4	3.8
Bi	0.1	<0.1	0.8	1	4.6	0.4	1.2	<0.1	0.2	0.3
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2
Cu	325	168	1125	18231	18482	101	27	54	209	157
In	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Li	37	46	98	72	81	50	32	41	22	39
Mo	3	7	2	3	2	2	1	4	3	6

جدول ۳. ادامه.

Table 3. Continued.

Rock Type	Dikes and Veins									
Sample No.	R-14/1	R-21	R-22	R-28/1	R-30/1	R-32	R-37	R-47/1	R-66	R-68
Sn	<0.1	1.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
S	56	418	<50	<50	165	<50	107	<50	238	579
Sb	1.9	0.8	3.6	3.1	9.6	3.1	2.2	0.9	3.3	2.3
Sc	3.9	3.8	2.5	3.5	2.2	1.6	4.1	3.4	6.4	7.7
Se	4.81	2.84	<0.5	0.59	3.39	2.34	1.95	<0.5	4.73	1.75
Te	<0.1	<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	0.11	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	0.58	<0.1	0.61	0.98	0.55	0.85	1.01	0.27	0.23	0.34
Ge	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
w	2.7	3	1.1	2.2	1.5	2.4	3.3	2.8	2.1	3.4
La	28	52	24	35	17	17	24	22	42	46
Ce	58	104	43	76	33	37	49	47	84	90
Pr	6.08	10.5	4.89	9.25	3.69	3.99	5.22	5.04	9.81	10.53
Nd	23.3	36.7	18.7	37.9	13.8	15.4	19.8	19.4	36.1	39.3
Sm	4.53	5.84	3.57	9.02	2.7	2.91	3.84	3.85	6.77	7.25
Eu	1.39	0.37	1.3	2.75	0.97	0.96	1.31	1.13	1.69	1.9
Gd	3.69	5.29	3.26	8.67	2.75	2.72	3.27	3.33	5.38	5.86
Tb	0.57	0.87	0.48	1.84	0.44	0.4	0.52	0.55	0.86	0.95
Dy	3.33	5.27	2.54	13.31	2.57	2.03	2.92	3.18	4.95	5.5
Er	1.91	3.43	1.36	6.71	1.43	1	1.7	1.95	2.89	3.25
Tm	0.27	0.53	0.19	0.93	0.21	0.16	0.24	0.33	0.45	0.51
Yb	1.7	4.3	1.3	5.4	1.2	0.8	1.2	2.1	2.9	3.3
Lu	0.27	0.82	0.21	0.72	0.2	0.15	0.24	0.37	0.45	0.5

جدول ۳. ادامه.

Table 3. Continued.

Rock Type	Dikes and Veins								
Sample No.	R-04	R-05	R-19	R-25	R-25/1	R-25/2	R-26	R-26/1	R-28
Ba	561	689	1210	1165	912	1380	1122	923	1126
Rb	116	61	414	521	435	474	484	505	465
Sr	893.8	464.3	416.1	433.9	416.7	445.2	403	429.8	408
Cs	82	14	124	141	46926	2809	9247	1536	137
Ta	0.37	0.44	0.62	0.55	0.48	0.89	0.52	1	0.54
Nb	1.4	4.3	4.9	5.1	3.1	4.5	3.8	4.3	4.4
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.75	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	44	52	72	74	65	95	90	109	95
Y	12.6	22.6	11.5	11	34.1	20.3	13.2	15	13.3
Th	1.88	3.94	3.89	3.77	3.34	4.25	4.16	4.42	4.62
U	1.9	1.5	1.08	1.1	183.5	46.9	15.5	13.5	1.2

جدول ۳. ادامه.

Table 3. Continued.

Rock Type	Dikes and Veins								
Sample No.	R-04	R-05	R-19	R-25	R-25/1	R-25/2	R-26	R-26/1	R-28
Cr	11	26	6	8	7	6	6	5	7
Ni	7	8	2	3	134	3	6	3	7
Co	9.9	1.9	2.3	<1	101.1	<1	3.6	4.1	4.9
V	160	45	83	38	53	41	77	76	91
Pb	1	25	7	13	623	4	17	3	9
Zn	79	19	32	10	166	19	45	28	35
Ag	0.5	0.4	0.3	0.4	99	1.9	1.9	0.8	0.8
As	12.1	<0.1	17	15.3	>100	30.4	44.6	26	10.6
Be	0.8	1.2	1.4	1.6	1.1	2.2	1.1	2.1	2.1
Bi	<0.1	<0.1	0.3	0.2	0.2	0.7	4.3	3.3	0.1
Cd	<0.1	0.1	<0.1	0.1	4.3	<0.1	0.1	<0.1	<0.1
Cu	4.1	2.9	1.6	1.9	2.7	3.2	2.1	3.2	12.7
In	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Li	12	7	25	26	23	36	18	49	51
Mo	4	1	1	2	855	5	3	2	3
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
S	471	576	179	<50	<50	<50	<50	<50	253
Sb	0.5	1	1.6	1	15	1.9	5	4.1	6.1
Sc	7.3	4.6	3	1.7	3	3.4	2.5	2.6	3.3
Se	4.79	5.25	<0.5	4.47	3.45	4.2	<0.5	<0.5	<0.5
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	<0.1	0.15	0.5	0.31	5.78	0.67	0.5	0.36	0.5
Ge	1.46	1.54	2.19	2.45	2.21	2.8	2.47	2.93	2.79
w	<1	<1	<1	<1	1.3	2.2	1.4	2.2	1
La	19	25	21	19	24	24	22	24	25
Ce	33	41	42	39	47	50	42	43	49
Pr	3.93	4.63	4.55	4.15	5.41	5.36	4.5	4.71	5.19
Nd	16.5	18.1	17.1	16	21.4	21.7	16.7	18.2	20.3
Sm	2.95	3.48	3.22	3.24	4.46	4.71	3.32	3.4	3.8
Eu	1.08	1.05	1.18	1.14	1.49	1.37	1.15	1.1	1.31
Gd	2.91	3.29	2.93	2.76	4.72	4.14	2.89	3.09	3.2
Tb	0.43	0.49	0.46	0.42	0.92	0.68	0.44	0.49	0.46
Dy	2.03	2.75	2.25	2.12	6.9	3.9	2.27	2.53	2.61
Er	1.11	1.76	1.21	1.15	4.37	2.01	1.17	1.34	1.34
Tm	0.16	0.25	0.19	0.17	0.65	0.29	0.18	0.19	0.21
Yb	2.5	3.1	1.1	0.9	3.6	1.6	1.1	1.3	1.2
Lu	0.14	0.25	0.18	0.19	0.57	0.26	0.19	0.2	0.2

جدول ۳. ادامه.

Table 3. Continued.

Rock Type	Dikes and Veins								
Sample No.	R-31	R-32/1	R-34	R-58	R-68/2	R-87	R-87/2	R-91	R-92
Ba	1079	1085	1063	297	827	413	890	1296	1174
Rb	534	447	507	3	350	347	180	358	319
Sr	433	427.7	401.9	101.7	338.8	106.4	568.1	458.1	470.5
Cs	5338	37	733	21	21	35	1561	37007	2391
Ta	0.55	0.53	0.69	0.54	0.53	3.36	0.66	0.55	0.62
Nb	3.8	3.5	5.8	3.2	2.9	25.9	4.4	5	5.6
Hf	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Zr	98	86	109	106	68	114	76	110	95
Y	53.4	11	10.4	8	17.1	22.3	14.7	91.5	14.7
Th	3.66	4.39	5.13	17.09	3.74	47.03	3.39	4.46	5.69
U	131.9	0.8	1.1	8	1	7.8	1.3	652.6	5
Cr	9	9	6	14	6	7	17	9	7
Ni	15	4	5	8	2	3	14	8	17
Co	11.3	<1	2.8	<1	<1	<1	12.6	3.7	10
V	75	51	77	9	72	18	295	228	100
Pb	63	6	8	<1	1	18	10	69	12
Zn	39	14	38	<1	15	21	86	128	50
Ag	10.8	0.2	0.5	0.3	0.1	0.2	1.2	12.6	7.4
As	44.4	8.6	17.9	9.1	6.1	34	1.5	16.2	43.4
Be	1.8	2.1	2	<0.2	1.9	6.3	1	2	1.9
Bi	7	0.2	0.5	0.3	<0.1	0.1	0.3	1	0.2
Cd	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	0.3
Cu	2.4	1.3	2.3	<0.5	2.4	9.7	8	3.7	20.5
In	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d	n.d
Li	42	42	120	8	21	6	18	29	43
Mo	2	2	3	4	3	4	1	11	2
Sn	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.5	<0.1	<0.1	<0.1
S	<50	<50	<50	1079	<50	176	504	127	72
Sb	4.6	4.8	1.1	5.8	3.5	3.5	<0.5	5.8	0.7
Sc	3.5	1.3	3.4	0.5	2.7	1.3	15.7	4.8	2.8
Se	<0.5	<0.5	<0.5	4.56	5.49	5.11	4.75	6.74	5.26
Te	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Tl	1.48	0.76	0.21	<0.1	0.47	1.33	<0.1	0.99	0.8
Ge	2.62	2.52	3.02	1.95	2.03	3.99	2.68	3.37	3.09
w	1.4	1.6	<1	1.2	5.2	3.3	<1	1.1	1
La	30	20	18	7	21	41	21	46	24
Ce	62	40	36	13	39	82	42	121	50
Pr	7.61	4.51	3.84	1.83	4.37	8.38	5.84	17.3	5.91

جدول ۳. ادامه.

Table 3. Continued.

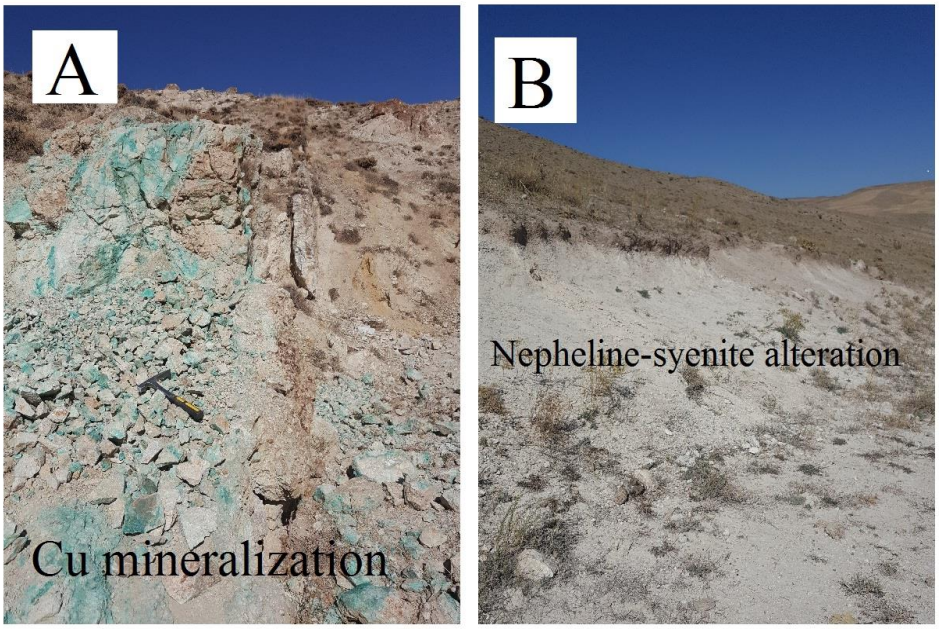
Rock Type	Dikes and Veins								
Sample No.	R-31	R-32/1	R-34	R-58	R-68/2	R-87	R-87/2	R-91	R-92
Nd	31.2	16.6	15	7.3	16.8	26.8	25	84.2	21.8
Sm	7.29	3.26	2.87	1.36	3.17	4.68	5.22	23.98	4.35
Eu	2.36	1.14	1.03	0.42	0.99	0.57	1.49	5.86	1.44
Gd	6.73	2.87	2.67	1.84	2.95	4.11	4.21	20.06	3.57
Tb	1.36	0.42	0.4	0.28	0.5	0.69	0.65	4.17	0.56
Dy	9.85	2.16	1.93	1.36	2.72	4.2	3.44	26.72	3.13
Er	5.31	1.16	1.05	0.72	1.64	2.65	1.79	10.54	1.74
Tm	0.73	0.17	0.14	0.11	0.25	0.5	0.27	1.45	0.29
Yb	4.5	0.9	0.9	0.5	1.5	3.1	2.1	7.8	1.6
Lu	0.6	0.17	0.16	<0.1	0.24	0.58	0.27	1.06	0.26

سنگ‌نگاری

بر پایهٔ بررسی‌های سنگ‌نگاری، ۴ واحد سنگی اصلی و مهم برای تودهٔ آذرین درونی نفلین‌سینیت رزگاه شناسایی شد که شامل نفلین گابروی الیوین دار، نفلین مونزوسینیت، سودولوسیت سینیت و پتاسیم‌فلدسپار نفلین‌سینیت هستند (به بخش الف مراجعه شود). دایک‌ها و رگه‌ها نیز شامل دایک‌های بازیک (لامپروفیر)، دایک‌های همانند تودهٔ آذرین درونی (نفلین‌سینیت دگرسان)، دایک‌های سینیتی و میکروسینیتی و در پایان، دایک‌های دگرسان‌شده با رگه‌های سیلیسی و کانه‌دار هستند (در بخش ب به‌طور کامل به آن پرداخته شده است). نفلین، سودولوسیت، پتاسیم‌فلدسپار و پلاژیوکلاز، از مهم‌ترین کانی‌های روشن و اصلی و کانی‌های کلینوپیروکسن و الیوین از مهم‌ترین کانی‌های فرومنیزین در این سنگ‌هاست. آپاتیت، زیرکن و کانی‌های اکسید آهن از کانی‌های فرعی و کلریت، کلسیت، آدولاریا و هماتیت به‌همراه سریسیت، اپیدوت، کائولینیت و بیوتیت از کانی‌های ثانویه به‌شمار می‌روند. بافت‌های اصلی گرانولار و پورفیرویید و بافت‌های فرعی پویی‌کیلیتیک، گرافیک و جانشینی‌هایی که باعث پیدایش شکل‌های سودومورف شده‌اند از بافت‌های رایج در این سنگ‌ها هستند. آپاتیت که کانی حامل عنصرهای خاکی کمیاب به‌شمار می‌رود در سنگ‌های بازیک‌تر مانند نفلین گابروها و نفلین مونزوسینیت‌ها حضور پررنگ‌تری دارد و اندازهٔ بزرگ‌تر و فراوانی بیشتر نشان می‌دهد. این کانی از دگرسانی در امان مانده است و توان به‌کارگیری در بررسی‌های زمین‌شیمیایی پیشرفته‌تر را دارد.

افزون‌بر سنگ‌های یادشده، فنولیت تفریتی، تفریت فنولیتی و همچنین، فنولیت، سینیت کوارتزدار، مونزونیت و گابرو نیز از دیگر واحدهای سنگی شناسایی‌شده در تودهٔ رزگاه هستند (Ameri, 2004). رگه‌ها و رگچه‌هایی از کوارتز، سریسیت و مالاکیت نیز در توده دیده می‌شوند. رخداد این رگه‌ها و دگرسانی همراه آنها بیشتر از روندهای خطی روی زمین پیروی می‌کند و گاه همراه با دایک‌هایی دیده می‌شوند که بسیار دگرسان شده‌اند و رنگ آنها سفیدتر شده است (شکل ۲). بیشتر رگه‌ها با دایک‌ها موازی هستند. نفلین در سنگ‌های دیواره رگه‌ها بسیار دگرسان شده است و جای خود را به کانی‌های رسی و سریسیت داده است؛ اما بیشتر پتاسیم‌فلدسپارهای سنگ دچار دگرسانی نشده و به‌صورت شفاف در سنگ به‌جای مانده‌اند.

در بررسی‌های سنگ‌نگاری مقاطع تهیه‌شده از دایک‌ها و رگه‌ها، دایک‌هایی که در برداشت‌های صحرایی به‌نام دایک بازیک برداشت و انتخاب شده بودند، بر پایهٔ ویژگی‌های بافتی و کانی‌شناسی، لامپروفیر تشخیص داده شدند و این نخستین گزارش از حضور لامپروفیر در منطقهٔ رزگاه به‌شمار می‌رود. این سنگ‌ها بافت پورفیری و کانی‌شناسیِ الیوین، پیروکسن و کرسوتیت (آمفیبول قهوه‌ای) دارند. دایک‌های دیگر، کمابیش ویژگی‌های کانی‌شناسی همانند توده‌های نفلین‌سینیت دارند و در آنها گاه رگه‌های سیلیسی و کانه‌دار دیده می‌شوند. مهم‌ترین ویژگی سنگ‌نگاری این دایک‌ها، دگرسانی شدید آنهاست. کانی‌های رسی از فراوان‌ترین کانی‌های پدیدآمده از دگرسانی این دایک‌ها هستند.



شکل ۲. تصویر صحرایی از **A**) کانی‌سازی مس همراه دایک‌ها؛ **B**) دگرسانی واحدهای نفلین‌سینیتی در محدودهٔ معدنی رزگاه.

Figure 2. Field photographs of **A**) Copper mineralization along with dikes; **B**) Alteration of Nepheline- syenite exposed in Razgah exploration area.

الف- سنگ نگاری واحدهای آذرین درونی

الف-۱- پتاسیم‌فلدسپار نفلین‌سینیت

این سنگ‌ها بافت تراکیتوییید (شبه جریانی) و کانی‌های پتاسیم‌فلدسپار و پیروکسن‌های سبز (در نور طبیعی) دارند. همچنین، بلورهای نفلین به‌صورت شکل‌دار و کمابیش تجزیه‌شده در برخی مقاطع دیده شدند. از کانی‌های فرعی مهم در این واحد می‌توان زیرکن و آپاتیت را نام برد (شکل ۳). نکتهٔ جالب توجه در این گروه از سنگ‌ها اینست که کانی زیرکن، با اندازهٔ بزرگ‌تر و فراوانی بیشتری دیده می‌شود؛ اما میزان و اندازهٔ بلورهای آپاتیت کمتر است.

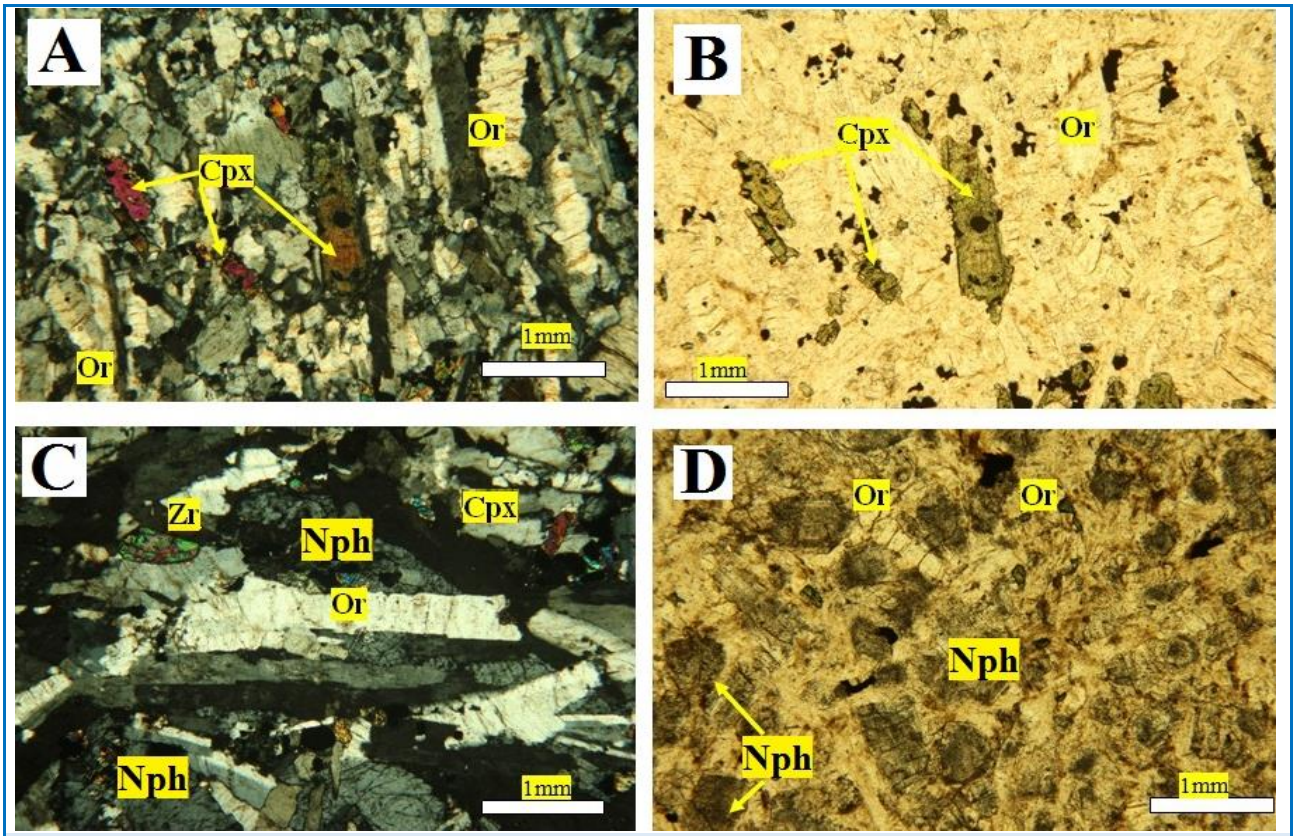
الف-۲- نفلین مونزوسینیت

این سنگ‌ها الیوین (ایدنگزیتی‌شده)، کلینوپیروکسن، آلکالی‌فلدسپار و پلاژیوکلاز به‌همراه نفلین دارند. بافت شبه‌گرافیک که از هم‌رشدی نفلین و پتاسیم‌فلدسپار پدید آمده است، در این گروه از سنگ‌ها دیده می‌شود. کانی‌های اصلی سازندهٔ این سنگ‌ها، نفلین، پتاسیم‌فلدسپار، پیروکسن و الیوین هستند. بافت سنگ، گرانولار است و آپاتیت از کانی‌های فرعی مهم این سنگ‌ها به‌شمار می‌رود. همچنین، کانی‌های رسی (کائولن) به‌دست‌آمده از دگرسانی کانی ارتوکلاز و نیز، بیوتیت و سریسیت از کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند. در این سنگ‌ها، قالب‌های الیوین که

در حاشیه با اکسید آهن جایگزین شده‌اند به‌خوبی دیده می‌شوند (شکل‌های ۴- A و B-۴) . در این سنگ‌ها، برخی پیروکسن‌ها حاشیهٔ واکنشی دارند. همچنین، نفلین، پلاژیوکلاز را فراگرفته است. نفلین در پی دگرسانی، رنگ‌های بیرفرنژانس زرد و نارنجی- قهوه‌ای (کانکریت) نشان می‌دهد. افزون‌بر این، این کانی میانبارهایی از اکسید آهن دارد. مجموعه‌ای از کانی‌های دگرسانی، شامل بیوتیت، سریسیت و هماتیت، در اطراف کانی‌های کدر یافت می‌شود (شکل ۵-A). آپاتیت‌های سوزنی، کانی پیروکسن را قطع کرده‌اند.

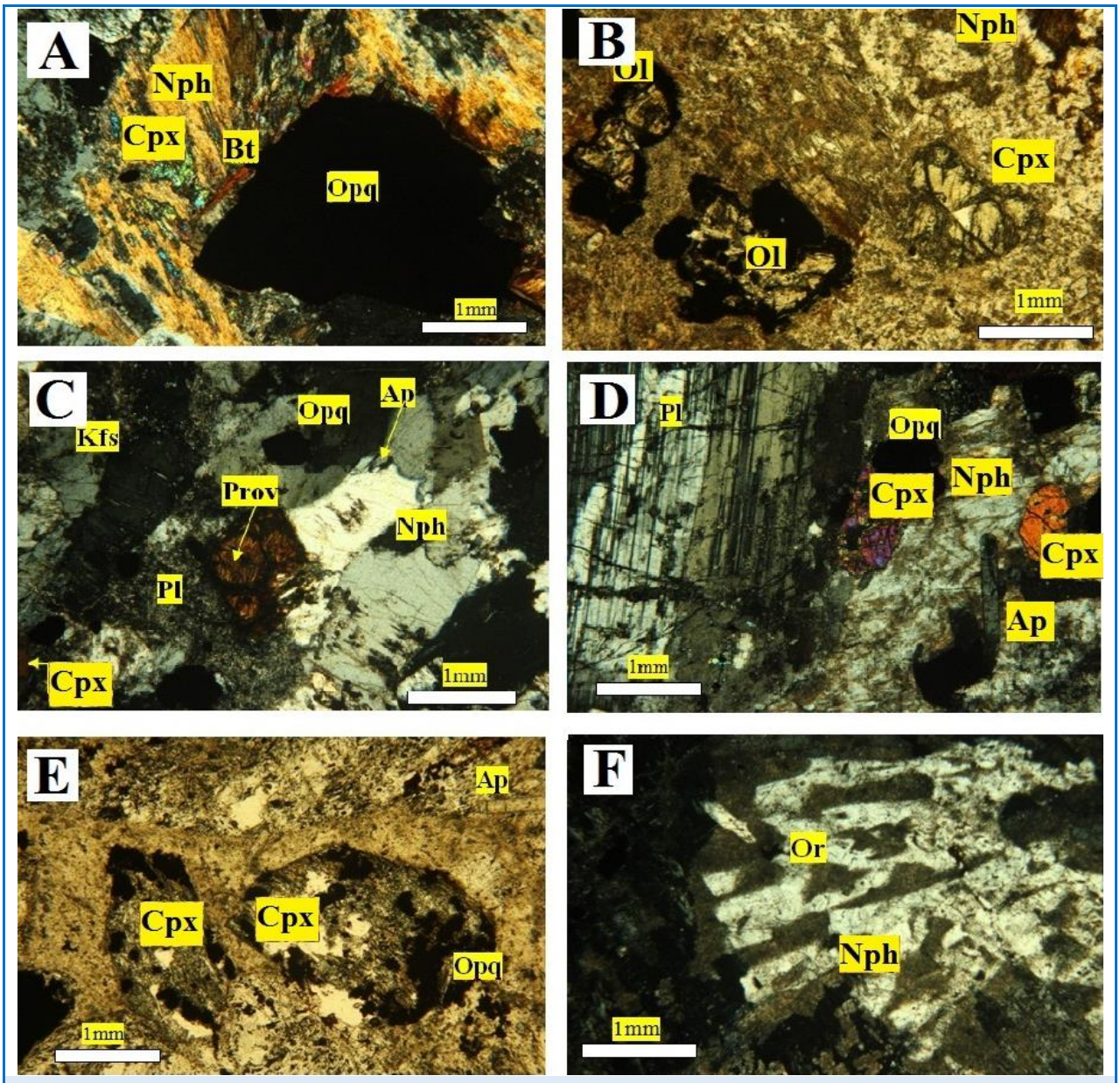
الف-۳- نفلین گابروی الیوین‌دار

پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن از کانی‌های اصلی سازندهٔ این گروه از سنگ‌ها هستند و کانی‌های نفلین، آپاتیت، زیرکن، پرووسکیت و کانی کدر از کانی‌های فرعی سنگ به‌شمار می‌روند (شکل‌های C-۴ و D-۴). در این سنگ‌ها، الیوین به‌صورت جزیره‌ای و سالم و گاه به‌صورت سودومورف (تنها قالب‌هایی از کانی الیوین دیده می‌شود) یافت می‌شود. بلورهای زیرکن و آپاتیت به‌صورت میانبار در بلورهای پلاژیوکلاز جای دارند. پلاژیوکلازها، درشت بلور و با ماکل تکراری (پلی‌سینتتیک) دیده می‌شوند. تفاوت این گروه با گروه پیشین در محتوی بیشترِ پلاژیوکلاز و الیوین و مقدار کمترِ پتاسیم‌فلدسپار و تا اندازه‌ای نفلین است.



شکل ۳. تصویرهای میکروسکوپی از پتاسیم‌فلدسپار نفلین‌سینیت‌ها؛ **A**) بافت تراکیتوید یا جریانی به دلیل صف آرایی بلورهای ناهمسانگرد ارتوکلاز (در XPL)؛ **B**) بلورهای کلینوپیروکسن با رنگ سبز (در PPL)؛ **C**) کانی‌های پتاسیم‌فلدسپار و نفلین در همراهی زیرکن درشت بلور (در XPL)؛ **D**) بلورهای شفاف پتاسیم‌فلدسپار به‌همراه بلورهای شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار نفلین نسبتا دگرسان شده (در PPL).

Figure 3. Photomicrographs of K-feldspar nepheline syenites; **A**) Trachytoid or flow texture due to alignment of anisotropic orthoclase crystals (in XPL); **B**) Green clinopyroxene phenocryst (in PPL); **C**) K-feldspar and nepheline in association with zircon (in XP); **D**) Clear crystals of K-feldspar along with euhedral to sub-hedral crystals of relatively altered nepheline (in PPL).



شکل ۴. تصویرهای میکروسکوپی از نفلین مونزوسینیت، نفلین گابروی الیوین دار و سودولوسیت سینیت، **A**) پیروکسن و مجموعه کانی‌های دگرسانی که در اطراف کانی کدر دیده می‌شوند؛ **B**) کانی کلینوپیروکسن و قالب‌هایی از کانی الیوین که با اکسید آهن و کانی‌های ثانویه جایگزین شده‌اند (در نفلین مونزوسینیت)؛ **C**) حضور کانی‌های کلینوپیروکسن، نفلین، پتاسیم‌فلدسپار و پلاژیوکلاز به‌همراه آپاتیت، کانی کدر و پرووسکیت (Prov)؛ **D**) پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در نفلین گابروی الیوین‌دار؛ **E**) بقایای کلینوپیروکسن که در حاشیهٔ آنها، کانی‌های کدر دیده می‌شود؛ **F**) هم‌رشدی نفلین و پتاسیم‌فلدسپار و پیدایش بافت گرافیک در سودولوسیت سینیت.

Figure 4. Photomicrographs of nepheline monzosyenite, olivine nepheline gabbro, and pseudoleucite syenite, **A**) pyroxene and alteration mineral assemblage around the opaque minerals; **B**) clinopyroxene and olivine replaced by iron oxide and secondary minerals in nepheline monzosinite; **C**) clinopyroxene, nepheline, K-feldspar and plagioclase along with apatite, opaque and perovskite (Prov); **D**) plagioclase and clinopyroxene in olivine-bearing nepheline gabbro; **E**) remnants of clinopyroxene with opaque minerals in their rims; **F**) graphic texture formation by Nepheline and K- feldspar intergrowth in pseudoleucite syenite.

الف-۴- سودولوسیت سینیت

این سنگ‌ها بیشتر به‌صورت دگرسان‌شده در منطقه یافت می‌شوند (شکل ۴-E). بافت سنگ گرانولار است و حضور سودولوسیت در برخی نمونه‌ها نمای پورفیری به

سـنگ داده اسـت. بافـت گرافیـک (شـکل F-۴) کـه از هم‌رشدی کانی نفلین و پتاسیم‌فلدسپار پدید آمده است از بافت‌های رایج در این گروه سـنگی اسـت. افزون‌بـر ایـن، بقایایی از کانی کلینوپیروکسن، به‌همراه کانی‌هـای فرعـی آپاتیت، زیرکن، کانی کدر ثانویه (مگنتیـت و ایلمنیـت) و هماتیت دیده می‌شوند.

ب- سنگ‌نگاری دایک‌ها و رگه‌ها:

ب-۱- دایک‌های بازیک (لامپروفیر)

این سنگ‌ها که با رنگ تیره از واحد سنگی میزبان خود شناسایی می‌شوند، در نمونهٔ دستی نیز با ساخت پورفیری و حضور فنوکریست‌های روشن در زمینهٔ تیره دیده می‌شوند. در مقاطع نازک، کانی‌هایی ماننـد پیروکسـن، پلاژیـوکلاز و فلدسپاتویید (نفلین و لوسیت) از کانی‌های اصلی و آپاتیت، مگنتیت و کـانی کـدر از کانی‌هـای فرعـی سـنگ به‌شـمار می‌رونـد. پلاژیوکلازهـا بـا بافـت غربـالی در مرکـز و بـدون میانبار در حاشیهٔ خود هستند. کرسوتیت، آمفیبول قهوه‌ای به‌صورت بلورهای منشوری کوچک در زمینهٔ سنگ پراکنده هسـتند (شـکل ۵). بـا توجـه بـه ویژگی‌هـای صـحرایی و کانی‌شناسی و تأیید حضور آمفیبول قهـوه‌ای (کرسـوتیت)، این سنگ‌ها لامپروفیر نامیده شدند.

لوسیت و نفلین از فلدسپاتوییدهای سازندهٔ این سنگ‌ها هسـتند. لوسـیت به‌صـورت سودولوسـیت دیـده می‌شـود. بدین‌گونه‌کـه قالـب کـانی حفـظ شـده و بـا نفلـین و پتاسیم‌فلدسـپار جانشـین شـده اسـت. در سـنگ‌های بررسی‌شده از منطقهٔ رزگاه نیـز بلورهـای هشت‌گوش ایـن کانی دیده می‌شوند (شکل‌های ۵-A تا ۵-D).

کلینوپیروکسن با کانی‌هـای ریـز قهـوه‌ای رنـگ آمفیبـول جایگزین شده‌اند. برخی پلاژیوکلازها، در مرکز میانبار دارند که به آنها چهرهٔ غربالی (بافت فرعی) داده‌اند؛ اما به‌سوی حاشـیه ، بلور عاری از میانبار می‌شـود. آپاتیـت، نیـز به‌صـورت بلورهـای کشـیده و باریـک درون فلدسـپارها، فلدسـپاتوییدها و زمینـهٔ سنگ دیده می‌شود (شکل ۵-F).

هماتیت، کانی‌های رسی و کلریـت از کانی‌هـای ثانویـه این سـنگ‌ها هسـتند کـه یـا در زمینـهٔ سـنگ و یـا درون بلورهای در حال تجزیه دیده می‌شوند. بافت این سنگ‌ها را می‌توان میکرولیتیک پورفیری و گلومروپورفیری نامید.

از دیدگاه سنگ‌نگاری و با توجه به حضور کانی لوسیت، لامپروفیرهای یافت‌شده در منطقـهٔ رزگـاه را می‌تـوان آنهـا لوسیت- لامپروفیر نامید. از سوی دیگر، اگر این سـنگ‌ها از شمار لامپروفیرهای آلکالن دسته‌بندی شـوند، در زیرگـروه کامپتونیت-مونشی‌کیت جای می‌گیرند.

ب-۲- دایک‌های مشابه تودهٔ آذرین درونی (نفلین‌سـینیت دگرسـان شده)

نفلـین، سودولوسـیت‌های ریـز فـراوان، الیـوین، کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز از کانی‌های اصـلی و آپاتیـت و اکسید آهن، کانی‌های رسی و ایدنگزیت از کانی‌های فرعـی و ثانویـه سـنگ به‌شـمار می‌رونـد. سریسـیت از کانی‌هـای پدیدآمده از دگرسـانی اسـت کـه در برخـی مقـاطع بسـیار گسترش یافته است (شکل ۶).

ب-۳- دایک‌های سینیتی

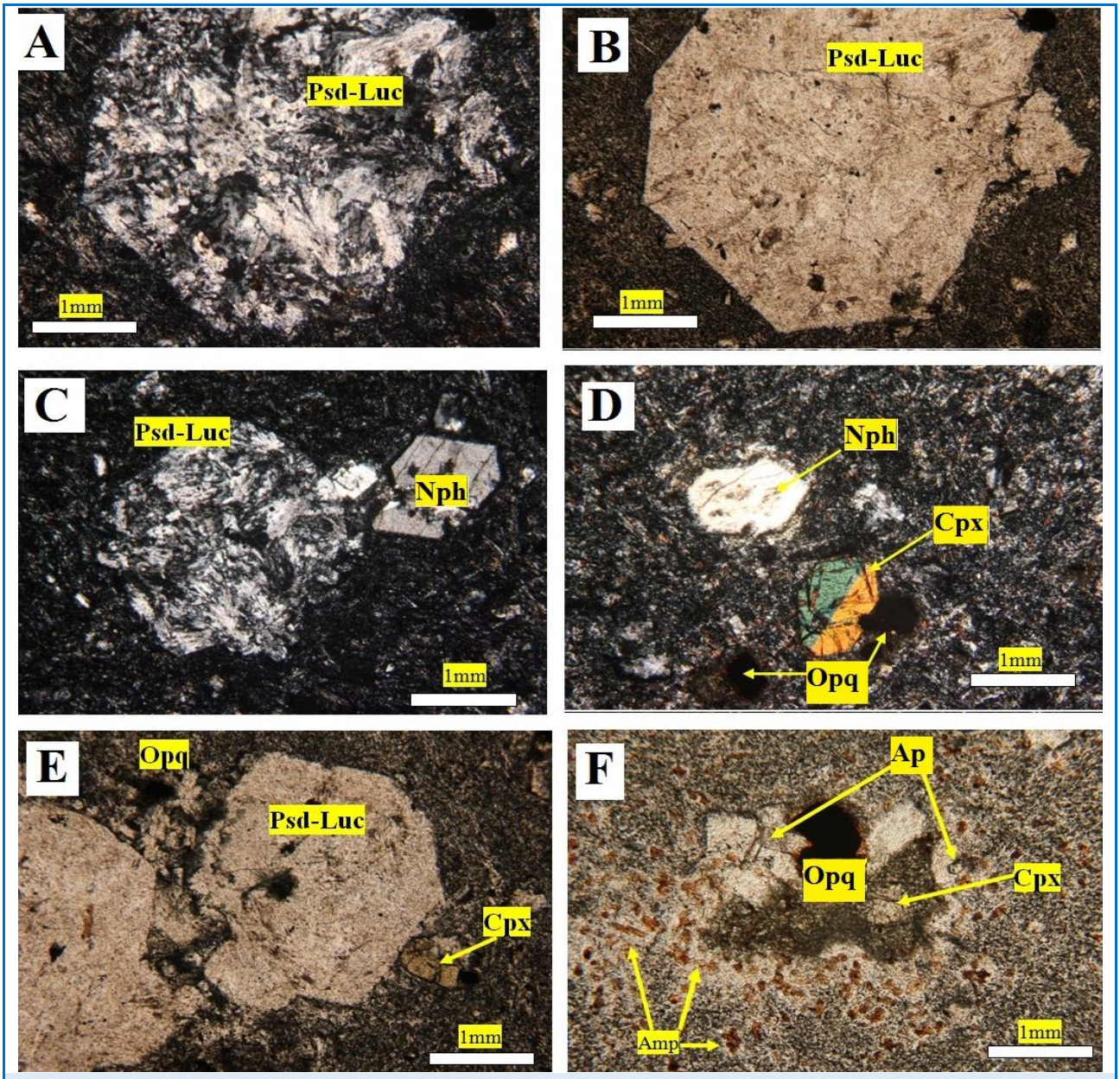
این سنگ‌ها، شامل کانی‌هـای پتاسیم‌فلدسـپار (ارتـوکلاز)، نفلین، کلینوپیروکسن و به‌طور فرعی کانی‌های کـدر و بقایـایی از کانی‌های فرومنیزین هستند. آمفیبول ثانویـه بـا رنـگ سـبز بسیار تیره، به‌صورت حاشیهٔ واکنشی و بلورهای ریز در اطـراف کانی‌هـای کـدر و برخـی کلینوپیروکسـن‌ها، حاشـیهٔ واکنشـی (کرونا) را پدید آورده است (شکل‌های ۷-A و ۷-B).

آپاتیت از مهم‌ترین کانی‌های فرعی سنگ اسـت کـه در مقاطع طولی، به‌صورت بلورهای کشیده و نه‌چندان سوزنی، و در مقاطع عرضی، به شکل شـش‌گوش بـا رنـگ تـداخلی (اینترفرانس) خاکستری دیده می شـود. از بافت‌هـای مهـم ایـن سـنگ، درهمرشـدیِ شـبه‌گرافیک اسـت کـه از درهمرشـدی کالسـیلیت- پتاسیم‌فلدسـپار (شـکل ۷-C) و نفلین- پتاسیم‌فلدسپار (شکل ۷-D) پدید آمده است. مورد اخیر با آزادشدن سیلیس همراه بوده است؛ چنانچه بلورهای ریز کوارتز در کنار آنها گواه این پدید هستند.

ب-۴- دایک‌های میکروسینیتی

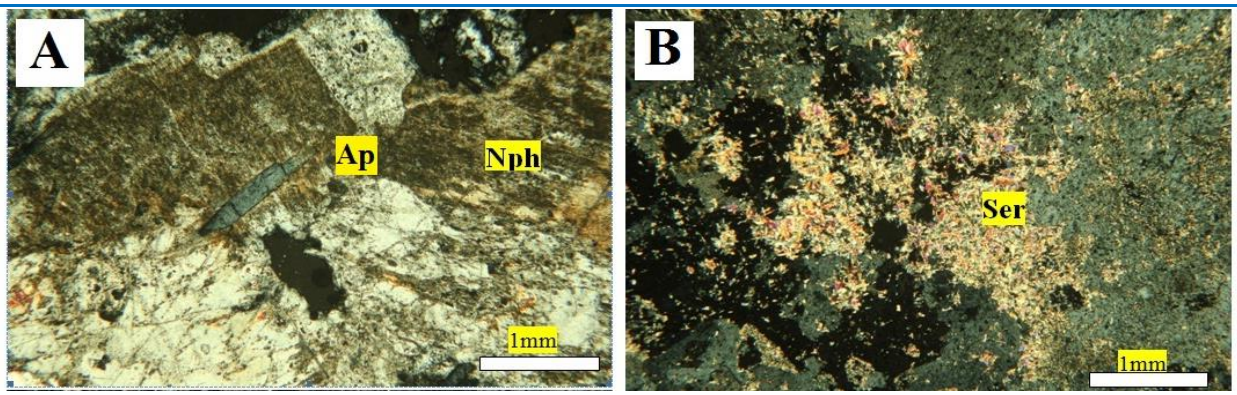
بافـت سـنگ هیپیـدیومورف گرانـولار اسـت. بیشـتر از ۹۵ درصـدحجم سـنگ، شـامل کانی‌هـای فلسـیک

ارتوکلاز (بیشتر از ۵۵ درصدحجم سنگ)، نفلین و پلاژیوکلاز است. اکسید آهن، کانی‌های رسی (کائولینیت)، زیرکن و آپاتیت از کانی‌های ثانویه و فرعی به‌شمار می‌روند.



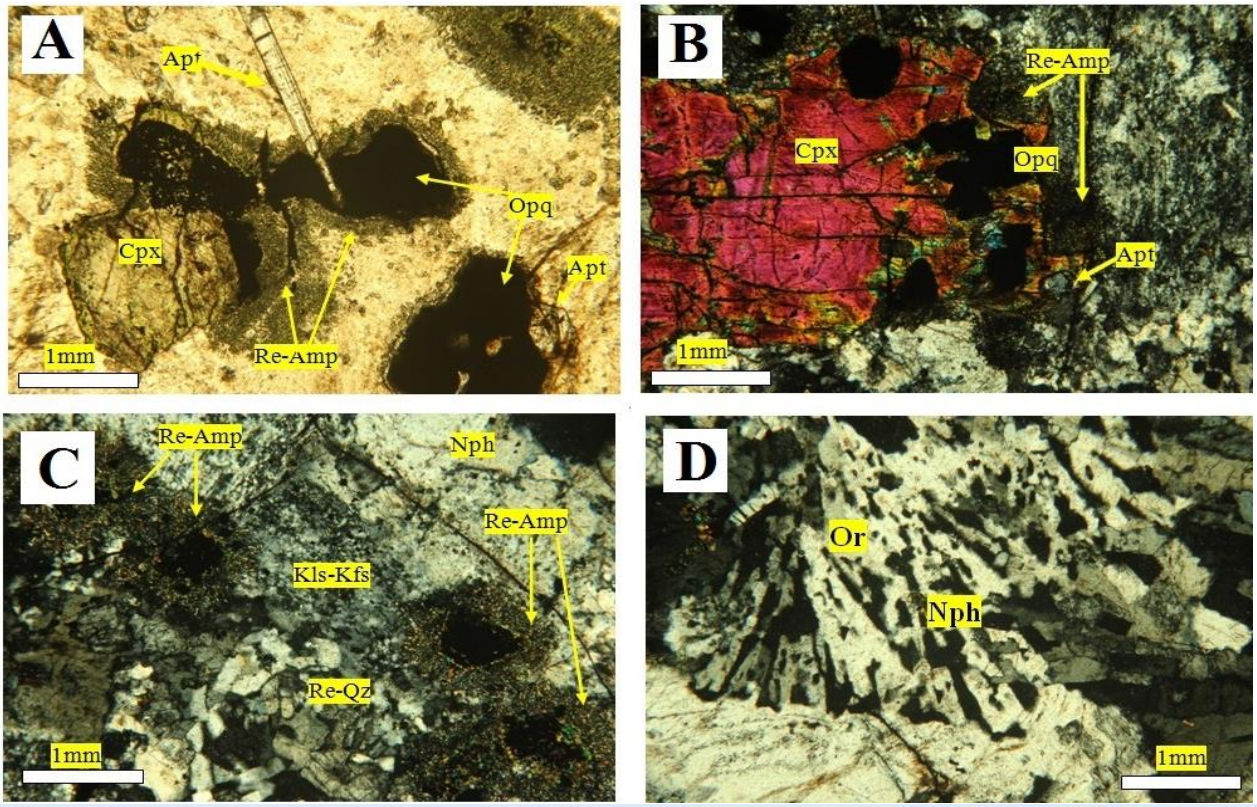
شکل ۵. تصویرهای میکروسکوپی از لامپروفیرها، A، B) سودولوسیت که با مجموعه ای از کانی‌های فلدسپار و فلدسپاتوید جانشین شده است؛ اما قالب هشت‌گوش آن حفظ شده است؛ C، D) نفلین به‌همراه لوسیت و کلینوپیروکسن با بافت پورفیری و میکرولیتیک پورفیری، E) سودولوسیت و کلینوپیروکسن به‌همراه کانی کدر؛ F) بلورهای منشوری و کوچک آمفیبول (کرسوتیت) که در زمینه پراکنده هستند، به‌همراه کلینوپیروکسن با حاشیهٔ واکنشی و کانی‌های آپاتیت و کدر.

Figure 5. Photomicrographs of lamprophyres: **A** and **B**) pseudoleucite (Psd-Luc) that is replaced by feldspar and feldspathoids, but its octagonal form has been preserved; **C** and **D**) nepheline, leucite and clinopyroxene in porphyry and microlitic porphyry texture; **E**) pseudoleucite and clinopyroxene with opaque mineral; **F**) prismatic and small crystals of amphibole (cressotite) scattered in the matrix, and along with the reaction rim of clinopyroxene, apatite and opaque.



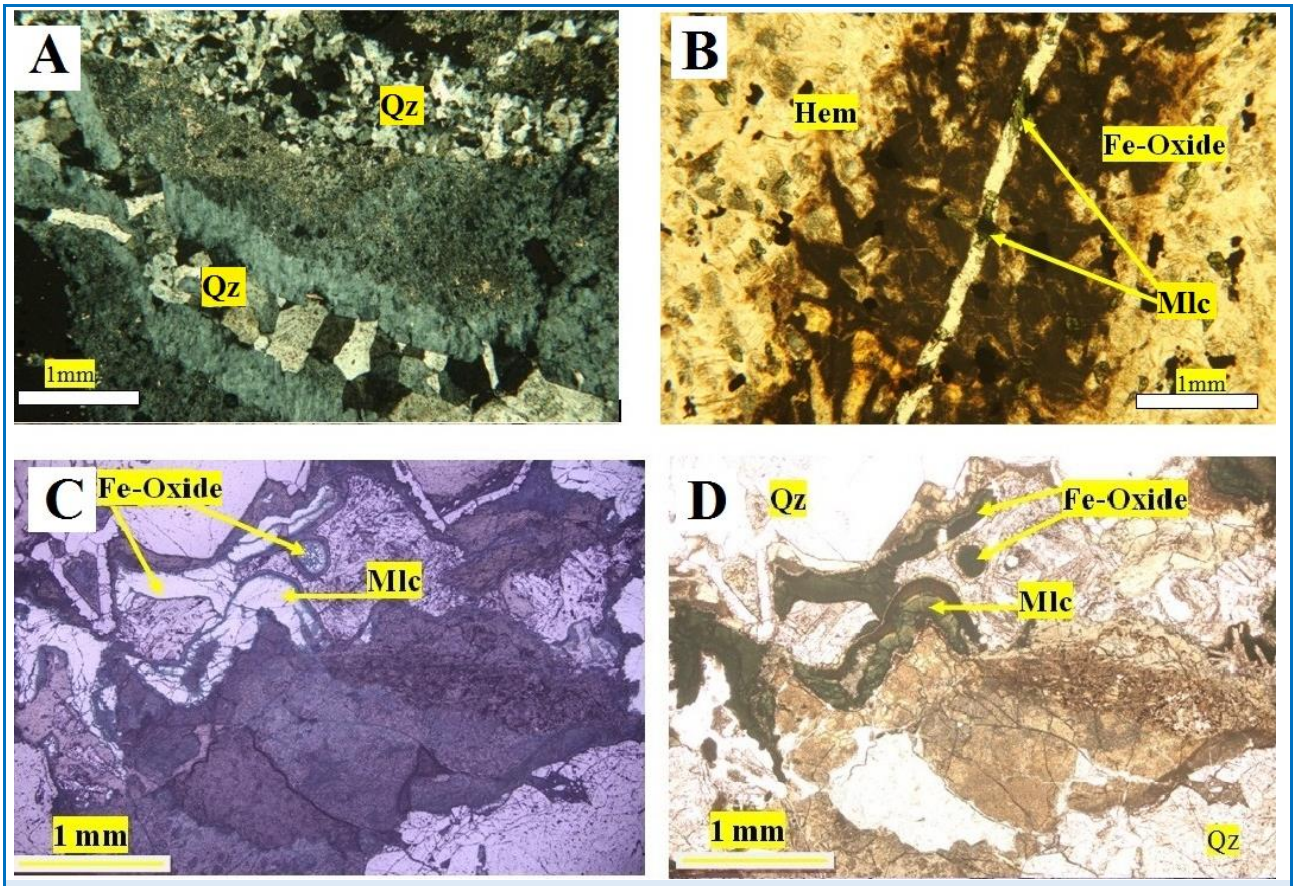
شکل ۶. تصویرهای میکروسکوپی از دایک‌های دگرسان‌شده با دگرسانی شدید کانی‌های نفلین و فلدسپار و همچنین، کانی‌های فرومنیزین. سریسیت از کانی‌های حاصل از دگرسانی است که در برخی نمونه‌ها پیشرفت گسترده‌ای دارد.

Figure 6. Photomicrographs of the altered dykes with intense alteration of nepheline and feldspar, as well as Fe-Mg minerals. Sericite is an alteration mineral, extensively has occured in some samples.



شکل ۷. تصویرهای میکروسکوپی از دایک‌های سینیتی، **A**) بلور طویل آپاتیت به‌همراه کلینوپیروکسن، کانی کدر و آمفیبول‌های واکنشی (Re-Amp) (رنگ سبز تیره)؛ **B**) پیدایش حاشیهٔ واکنشی (کرونا) پیرامون کلینوپیروکسن‌های سدیک به‌همراه مقطع عرضی آپاتیت؛ **C**) حاشیهٔ واکنشی پیرامون کانی‌های کدر، بقایای کانی‌های فرومنیزین و پیدایش بافت شبه‌گرافیک میان دو کانی پتاسیم‌فلدسپار و کالسیلیت، همراه با آزادشدن کوارتز؛ **D**) درهمرشدی شبه گرافیک میان دو کانی پتاسیم‌فلدسپار و نفلین.

Figure 7. Photomicrographs of the syenite dykes, **A**) elongated apatite crystal in association with clinopyroxene, opaque minerals, and amphibole reaction rim (Re-Amp) (in dark green color); **B**) corona around Na-clinopyroxenes, along with cross-section of apatite; **C**) the reaction rim around opaque mineral, the remains of Fe-Mg minerals, and formation of the graphic-like texture between K-feldspar and Kalcilite (Kls) in which the quartz was released (Re -Qz); **D**) graphic-like texture formed by feldspar and nepheline intergrowth.



ش‌کل ۸. تصویرهای میکروسکوپی از دایک‌های دگرسان‌شده با رگهٔ سیلیس و کانه‌دار، **A**) رگهٔ سیلیس با بلورهای کوارتز به اندازه‌های گوناگون (در PPL)؛ **B**) کانه‌های آهن و مس در امتداد رگه (در PPL)؛ **C، D**) مالاکیت و اکسید آهن در رگه‌های سیلیسی و به‌صورت شکافه پُرکن همراه با بافت شعاعی و در برخی جاها به‌صورت انبوهه‌ای (به ترتیب در نور بازتابی و XPL).

Figure 8. Microphotographs of the altered dykes containing silica and mineralized veins, **A**) Silica vein with quartz crystals in different size (in XPL); **B**) Iron (Hem, Fe-Oxide) and copper (Mlc) ores along the vein (in PPL); **C, D**) Malachite (Mlc) and iron oxide (Fe-Oxide) in siliceous veins, in the form of fissure filling with radial texture and sometime in aggregation (in reflective light and PPL, respectively).

ب-۵- دایک‌های دگرسان شده

الف) دایک‌های دگرسان‌شده با رگهٔ سیلیس: در این گروه اندازه بلورهای کوارتز در این رگه‌ها متغیر است و کانی‌های ثانویه مانند سریسیت، کانی‌های رسی، هماتیت و لیمونیت با فراوانی متغیر دیده می‌شوند. آدولاریا، سالم و یا با دگرسانی ناچیز، به‌همراه کوارتز در رگه‌ها پدید آمده است (شکل ۸-A).

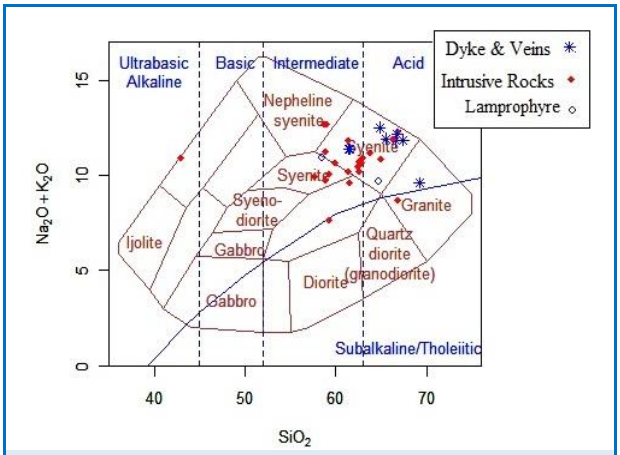
ب) دایک‌های دگرسان‌شده با رگهٔ کانه‌دار: این دایک‌ها پیروکسن و نفلین دگرسان‌شده دارند و بیشتر دگرسانی‌ها از نوع سریسیتی‌شدن و رسی‌شدن است. اکسیدهای آهن (ماگنتیت، هماتیت و لیمونیت) و کربنات مس (مالاکیت و آزوریت) از کانه‌های مهم این دایک‌ها به‌شمار می‌روند (شکل‌های ۸-B، ۸-C و ۸-D).

زمین‌شیمی و سنگ‌زایی

در کل، بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند میزان K_2O در دایک‌ها و رگه‌های همراه با تودهٔ آذرین درونی رزگاه، از تودهٔ آذرین درونی غنی‌تر و میزان CaO و Na_2O در آنها تهی‌تر است. با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده از تجزیهٔ شیمیایی نمونه‌های سنگی منطقهٔ زرگاه، میزان اکسید عنصرهای اصلی بر پایهٔ درصدوزنی و مقدار عنصرهای کمیاب بر پایهٔ ppm در نمودارها به‌کار

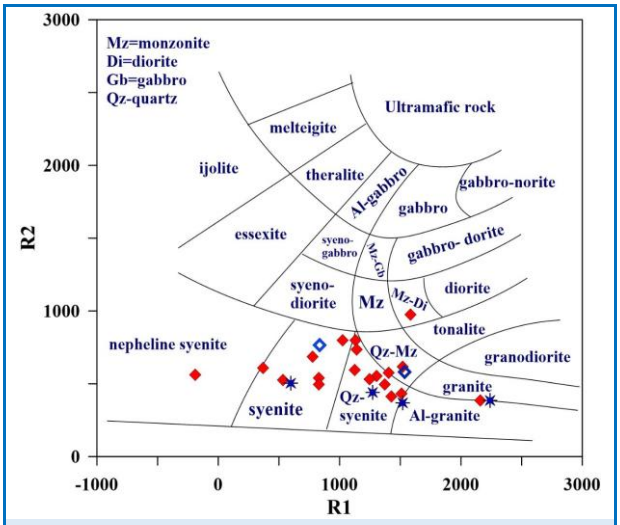
برده شد.

بر پایهٔ رده‌بندی شیمیایی در نمودار مجموع آلکالی در برابر سیلیس، بیشتر نمونه‌های منطقهٔ زرگاه سنگ‌های حدواسط تا اسید به شمار می‌روند و بالای منحنی جداکنندهٔ سنگ‌های آلکالن از ساب‌آلکالن جای می‌گیرند که نشان‌دهندهٔ سرشت آلکالن در این سنگ‌هاست (Cox et al., 1979). افزون‌بر این، بیشتر نمونه‌ها در محدودهٔ نفلین‌سینیت و سینیت جای می‌گیرند (شکل ۹). در نمودار کاتیونی R1-R2 (شکل ۱۰) که درصدوزنی اکسیدها، بر وزن مولکولی آنها تقسیم و در تعداد مول ضرب می‌شود (De la Roche et al., 1980)، نمونه‌ها در در بخش پایین نمودار (شامل نفلین‌سینیت، سینیت، کوارتز سینیت و آلکالی‌گرانیت) جای می‌گیرند. مجموع آلکالی در این سنگ‌ها از ۷/۵ درصدوزنی بیشتر است و نسبت K_2O/Na_2O آنها از یک بزرگ‌تر است. در نمودار ضریب اشباع از آلومین، نمونه‌ها در محدودهٔ متاآلومینوس تا پرآلومینوس جای می‌گیرند (شکل ۱۱).



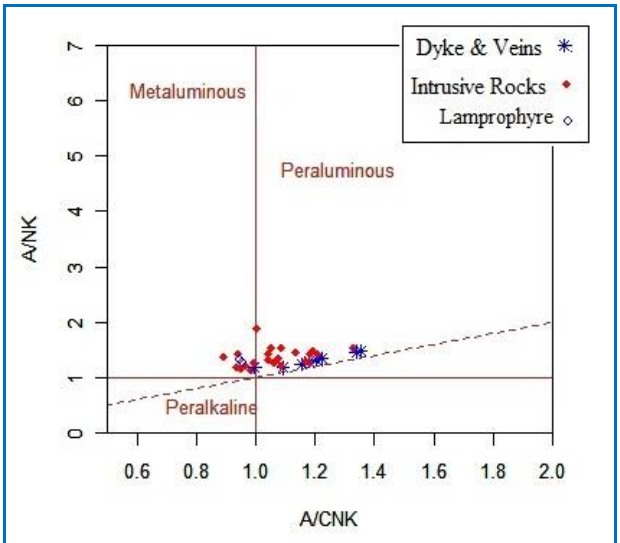
شکل ۹. نمودار سیلیس در برابر مجموع آلکالی‌ها (Cox et al., 1979) (Nph-MoSy: نفلین مونزوسینیت؛ Nph-G: نفلین گابرو؛ Sy: پتاسیم‌فلدسپار سینیت؛ PLu-Sy: پسودولوسیت سینیت).

Figure 9. Silica versus total alkali plot (Cox et al., 1979) (Nph-MoSy: nepheline monzosynite; Nph-G: nepheline gabbro; Sy: potassium feldspar syenite; PLu-Sy: pseudoulocyte syenite).



شکل ۱۰. نمودار کاتیونی R1-R2 (De la Roche et al., 1980) (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۹).

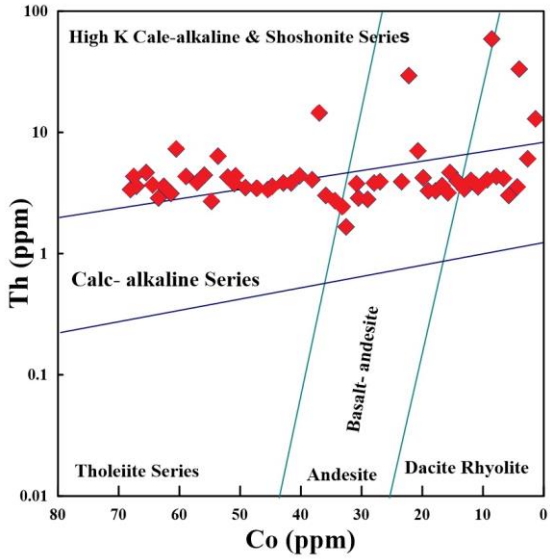
Figure 10. R1-R2 diagram (De la Roche et al., 1980) (Symbols as in Figure 9).



شکل ۱۱. تعیین ضریب اشباع‌شدگی از آلومینیوم (Shand, 1943).

Figure 11. Determination of aluminum saturation coefficient (Shand, 1943).

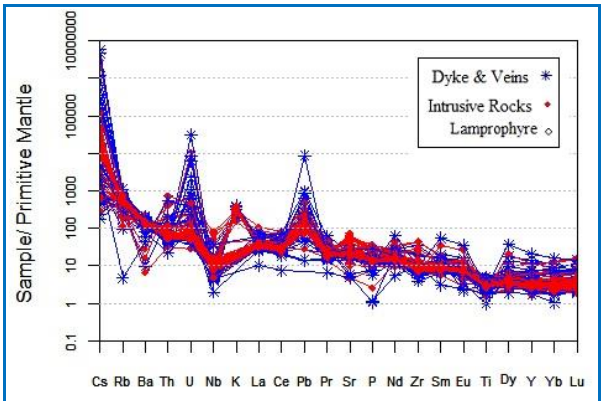
بر پایهٔ فراوانی عنصرهای کمیاب Co و Th که هستی و همکاران (Hastie et al., 2007) پیشنهاد کرده‌اند، نمونه‌ها در محدودهٔ سری‌های ماگمایی کالک‌آلکالن تا کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و سری‌های شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل ۱۲).



شکل ۱۲. سرشت ماگما در نمودار Co در برابر Th (Hastie at al., 2007)

Figure 12. Magma nature in Co versus Th plot (Hastie, at al., 2007).

داده‌های زمین‌شیمیایی به ترکیب گوشتهٔ اولیه (Sun and McDonough, 1989) بهنجار شدند (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). در نمودارهای بهنجارشده به ترکیب گوشتهٔ اولیه، ناسازگاری عنصرها از چپ به راست کاهش می‌یابد. در این نمودار، غنی‌شدگی مهمی از عنصرهای Rb و K، Pb و U و بی‌هنجاری‌های منفی مهمی در عنصرهای Nb و Ti دیده می‌شود (شکل ۱۴). دلیل تهی‌شدگی از Ti در ماگماتیسم وابسته به پهنهٔ فرورانش، فوگاسیتهٔ اکسیژن بالا در پهنهٔ فرورانشی است؛ زیرا هنگامی‌که فوگاسیتهٔ اکسیژن بالا باشد، دمای بیشتری نیاز است تا فازهای Ti دار از مذاب‌های پتاسیک پدیدآمده در پهنهٔ فرورانش جدا شوند (Edward et al., 1994). ازاین‌رو، جدایش Ti روی نداده است و این عنصر بی‌هنجاری منفی نشان می‌دهد. همچنین، بی‌هنجاری منفی در Ti بازتابی از نقش اکسیدهای Fe-Ti و بی‌هنجاری منفی Nb ویژگی سنگ‌های قاره‌ای است و شاید نشان‌دهندهٔ مشارکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (Rollinson, 1993). الگوی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عنصرهای یادشده در سنگ‌های منطقهٔ رزگاه می‌تواند با فرایند متاسوماتیسم گوشته و یا آلایش پوستهٔ قاره‌ای در ارتباط بوده باشد و بی هنجاری منفی عنصرهای Nb و Ti را می‌توان بی‌هنجاری منفی TNT (تیتانیم، نیوبیم و تانتالیم) برشمرد. همچنین، تأثیر فرورانش بر منابع گوشته‌ای می‌تواند در پیدایش این بی‌هنجاری مؤثر باشد (Soesoo, 2000). بر پایهٔ شکل ۱۳، مقدار Cs، U و Pb در نمونه‌های دایک و رگه نسبت به تودهٔ آذرین درونی منطقهٔ رزگاه بیشتر است؛ اما بی‌هنجاری در هر سه عنصر مثبت است.

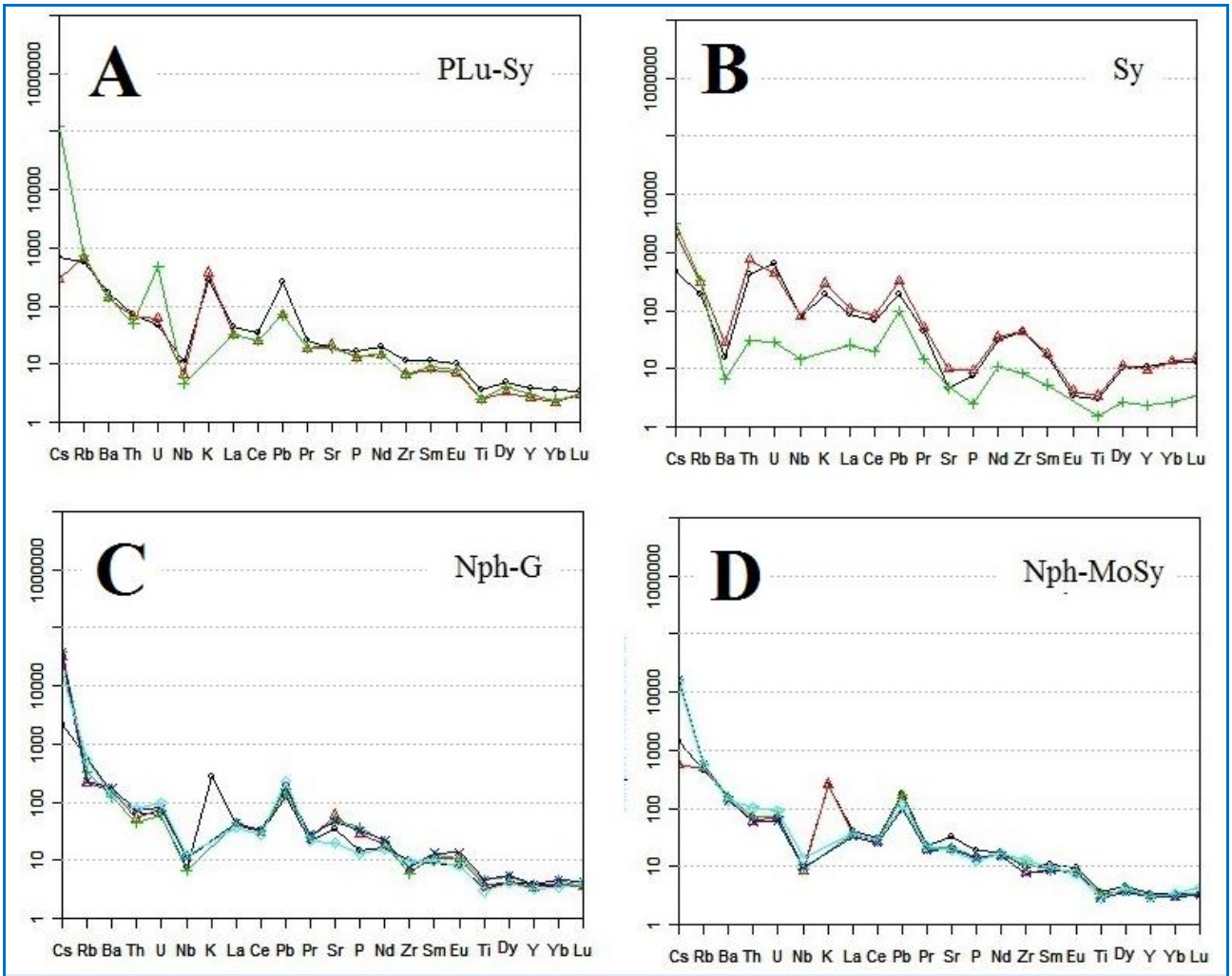


شکل ۱۳. نمودار چند عنصری به‌هنجار شده نسبت به گوشتهٔ اولیه (Sun and McDonough, 1989) و مقایسه تودهٔ آذرین درونی با دایک‌ها و رگه‌ها.

Figure 13. Primitive mantlenormalized trace element diagram (normalization values from Sun and McDonough, 1989), and comparison of the intrusive rocks with dikes and veins.

تهی‌شدگی از Ti در نمونه‌های دایک و رگه‌های همراه تودهٔ آذرین درونی همانند مقدار این عنصرها در تودهٔ آذرین درونی یادشده است. در کل، روند نمونه‌های دایک و رگه‌های همراه همانند روند تودهٔ آذرین درونی است و گاه با یکدیگر همخوانی دارند. همهٔ سنگ‌های منطقهٔ زرگاه از گابرو که مافیک‌ترین گروه سنگی است تا سینیت که جدایش‌یافته‌ترین واحد به‌شمار می‌رود، آنومالی‌های مشابهی در نمودار چندعنصری نشان می‌دهند و تفاوت آنها در شدت آنومالی‌هاست. بی‌هنجاری P به حضور بلورهای آپاتیت در این سنگ‌ها

بستگی دارد. در نفلین گابروها، آپاتیت فراوانی بیشتری دارد که موجب می‌شود آنومالی عنصر P در این گروه از خط ۱۰ بالاتر و در پتاسیم‌فلدسپار سینیت‌ها زیر خط ۱۰ باشد (شکل ۱۴).



شکل ۱۴. نمودارهای چندعنصری به‌هنجارشده به ترکیب گوشتهٔ اولیه (داده‌های بهنجارسازی Sun and McDonough (1989)) برای ۴ گروه سنگی تودهٔ آذرین درونی منطقهٔ رزگاه (Nph-MoSy: نفلین مونزوسینیت؛ Nph-G: نفلین گابرو؛ Sy: پتاسیم‌فلدسپار سینیت؛ PLu-Sy: پسودولوسیت سینیت).

Figure 14. Primitive mantle-normalized multi-element diagrams (normalization values from Sun and McDonough (1989)) for 4 rock intrusive rock groups from Razgah area (PLu-Sy: pseudodulosite syenite; Sy: potassium feldspar syenite; Nph-G: nepheline gabbro; Nph-MoSy: nepheline monzosinite).

تهی‌شدگی و غنی‌شدگی Ti را کانی‌های تیتانیم‌دار مانند اسفن و کانی‌هایی مانند آمفیبول، ایلمنیت، تیتان و مگنتیت کنترل می‌کنند (Gaetani, 2004). تهی‌شدگی از Ti در همهٔ نمونه‌های منطقهٔ رزگاه دیده می‌شود؛ اما این تهی‌شدگی در سینیت‌ها آشکارتر است و چه‌بسا با جدایش کانی‌های تیتانیم‌دار مرتبط است.

غنی‌شدگی از سرب در نمونه‌ها نیز به متاسوماتیسم گوهٔ گوشته‌ای توسط سیال‌های رهاشده از پوستهٔ اقیانوسی فرورونده و یا آلایش ماگما با سنگ‌های پوستهٔ قاره‌ای ارتباط دارد (Glenn Kamber et al., 2002). همان‌گونه‌که

گفته شد، غنی‌شدگی از LILE و همچنین، Pb در سنگ‌های منطقهٔ زرگاه چه‌بسا پیامد ورود این عنصرها از پوستهٔ فرورنده به گوشتهٔ بالای آن و رخداد فرایند متاسوماتیسم است. با درنظرگرفتن غنی‌شدگی از Pb در نمونه‌های زرگاه در همراهی با غنی‌شدگی LILE و تهی‌شدگی HFSE ها، پیدایش سنگ‌های یادشده را می‌توان در ارتباط با ذوب گوشتهٔ متاسوماتیسم‌شده همراه با آلایش پوسته‌ای ماگمای گوشته‌ای در ترازهای بالاتر دانست.

برپایهٔ آنچه گفته شد، گمان می‌رود گوشتهٔ سنگ‌کره‌ای متاسوماتیسم‌شده توسط سیال‌های رهاشده از سنگ‌کرهٔ فرورونده ماگمای سازندهٔ سنگ‌های زرگاه را پدید آورده است.

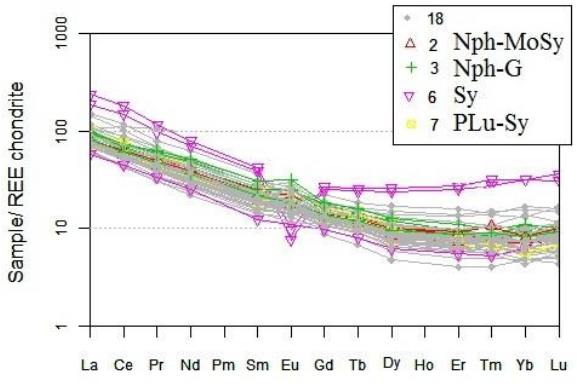
الگوی عنصرهای خاکی کمیاب نمونه‌های تودهٔ آذرین درونی زرگاه که به ترکیب کندریت بهنجار شده است در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ آورده شده است. در کل، الگوهای مربوط به نمونه‌های تودهٔ آذرین درونی، همانند و موازی هم هستند و تنها دربارهٔ عنصر Eu تفاوت‌هایی دیده می‌شود. این تشابه و موازی‌بودن نمونه‌ها گویای تشابه فرایندهای ماگمایی سازندهٔ هر ۴ گروه سنگی در منطقه است. بالابودن نسبت‌های $(La/Yb)_N$، $(La/Sm)_N$ و $(Sm/Yb)_N$ همهٔ نمونه‌ها نشان می‌دهد LREE فراوانی بسیار بیشتری از HREE دارد. حضور احتمالی اسپینل یا گارنت در سنگ مادر می‌تواند عاملی در نگهداری HREE در گوشته و خروج LREE همراه با مذاب بخشی تولیدی باشد. بالابودن فراوانی عنصرهای LIL مانند Rb، Ba و K و منفی‌بودن ناهنجاری عنصرهای HFS مانند Ti و Nb نشان می‌دهد احتمالاً عنصرهای پهنهٔ فرورانشی در غنی یا فقیرشدن مذاب دخالت داشته‌اند (Rollinson, 1993). الگوی عنصرهای خاکی کمیاب بهنجارشده به ترکیب کندریت برای مقایسه مقدار این عنصرها در تودهٔ آذرین درونی و دایک‌ها و رگه‌های همراه در شکل ۱۶ آورده شده است.

بحث

تهی‌شدگی Sr به شیمی ناحیهٔ خاستگاه مذاب (تهی‌شدگی از استرانسیم)، تبلوربخشی کانی‌های دارندهٔ این عنصر (مانند پلاژیوکلاز)، شرایط دما و فشار ناحیهٔ ذوب بستگی دارد. ذوب در فشار بالاتر و دمای کمتر، تهی‌شدگی این عنصر را در پی خواهد داشت. وجود غنی‌شدگی در عنصرهایی مانند K و Th بازتابی از نقش پوستهٔ قاره‌ای (Harris et al., 1986) در تحولات ماگمای سازندهٔ تودهٔ آذرین درونی زرگاه است. معمولاً Th به‌دنبال فرایند متاسوماتیسم در پهنه‌های فرورانشی به خاستگاه گوشته‌ای افزوده می‌شود (Machado et al., 2005). در برابر آن، عنصرهایی با پتانسیل یونی بالا و نامتحرک مانند Nb و Ti و به مقدار کمتری Ta تهی‌شدگی نشان می‌دهند. تهی‌شدگی Nb ویژگیِ سنگ‌های قاره است و چه‌بسا نشان‌دهندهٔ شرکت پوسته و مواد پوسته‌ای در فرایندهای ماگمایی است (Rollinson, 1993). به باور شانگ و همکاران (Shang et al., 2004)، تنها دو درصد از آلودگی گوشتهٔ اولیه با پوستهٔ قاره‌ایی بالایی می‌تواند تهی‌شدگی شدیدی برای Ti و Nb در پی داشته باشد؛ بی‌آنکه در فراوانی عنصرهای اصلی تغییرات چندانی روی دهد. تهی‌شدگی عنصرهای با میدان پایداری بالا مانند Nb و Ti به ماگماتیسم مرتبط با فرایند فرورانش و شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی بستگی دارد و نشانهٔ تهی‌شدگی این عنصرها در خاستگاه و نیز پایداری فازهای دارای این عنصرها در طی ذوب‌بخشی و یا جدایش آنها در هنگام فرایند جدایش بلوری است (Hongyan et al., 2009).

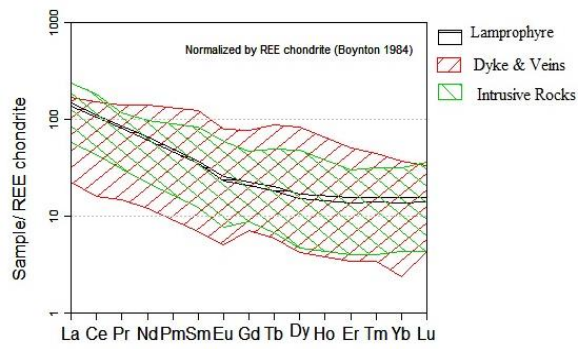
درصدوزنی بالای K_2O (بیشتر از ۱/۵ درصدوزنی، به‌ازای ۵۰ درصدوزنی سیلیس) و نسبت

Ti/P کمتـر از ۱۰/۸، ذوب‌بخشـی سـنگ پوسـته‌ای (بـا ترکیـب مافیـک تـا حـد واسـط) را نشـان می‌دهـد (Opio-Aketch et al., 1999).



شکل ۱۵. الگوی عنصرهای خاکی کمیاب بهنجارشده به ترکیب کنـدریت (داده‌هـای بهنجارسـازی Boynton (1984)) بـرای توده‌های آذرین درونی رزگاه.

Figure 15. Chondrite-normalized REE pattern for the Razgah intrusive rocks (normalization values from Boynton (1984)).

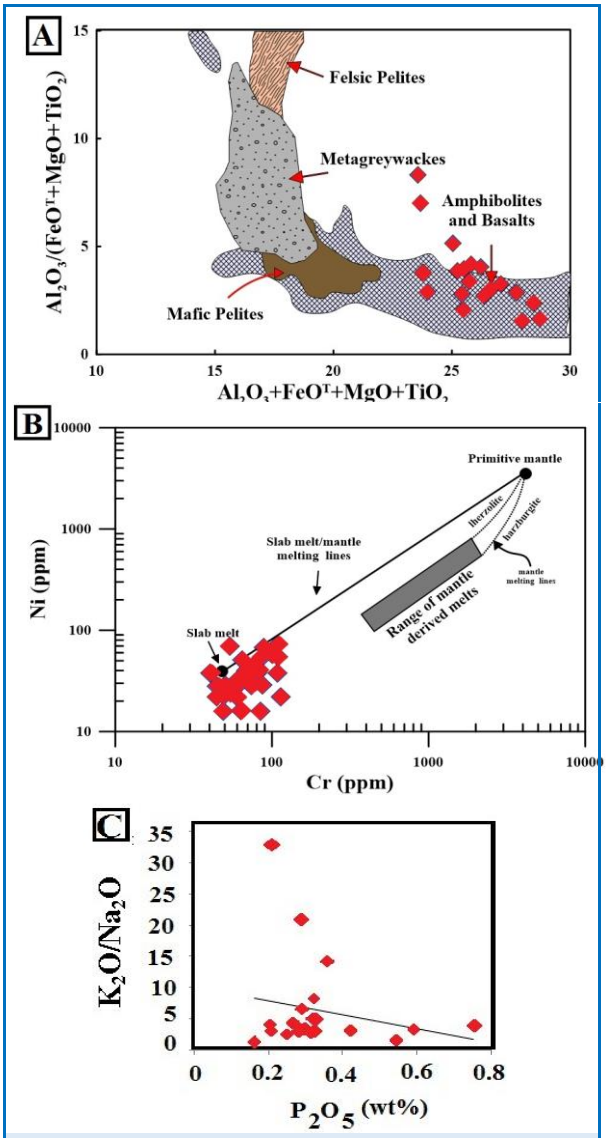


شکل ۱۶. الگوی عناصرخاکی کمیـاب بهنجارشـده بـه ترکیـب کندریت (داده‌های بهنجارسازی Boynton (1984)) برای تـودهٔ آذرین درونی، دایک‌ها و رگه‌ها و لامپروفیرها.

Figure 16. Chondrite-normalized REE pattern for Razgah intrusive rocks, dikes and veins, and lamprophyres (normalization values from Boynton (1984)).

در نمـودار $Al_2O_3+FeO^T+MgO+TiO_2$ در برابـر $Al_2O_3/FeO^T+MgO+TiO_2$ (شـکل A-۱۷)، ترکیـب خاستگاه ماگمای مادر مذاب سازندهٔ تـودهٔ آذریـن درونـی رزگاه در محدودهٔ آمفیبولیت به‌دست آمد.

بـر پایـهٔ نمـودار Cr در برابـر Ni (شـکل B-۱۷)، نمونـه‌های زرگـاه احتمـالاً پیامـد ذوب تختـهٔ[1] فرورونـده بوده‌اند؛ به‌گونه‌ای‌کـه مـواد پوسـته‌ای ماننـد آمفیبولیـت (شکل A-۱۸)، دچار ذوب‌بخشـی شـده‌اند و در پیـدایش مذاب نهایی نقش داشته‌اند.



شـکل ۱۷. A) نمـودار $Al_2O_3+FeO^T+MgO+TiO_2$ (برپایـهٔ درصـدوزنی) در برابـر $Al_2O_3/FeO^T+MgO+TiO_2$ (Patino Douce, 1999)؛ **B**) نمودار Cr در برابر Ni (Tsuchiya et al., 2005)؛ **C**) نمودار P_2O_5 در برابر K_2O/Na_2O.

Figure 17. A) $Al_2O_3+FeO^T+MgO+TiO_2$ versus $Al_2O_3/FeO^T+MgO+TiO_2$ diagram (Patino Douce, 1999); **B**) Cr versus Ni diagram (Tsuchiya et al., 2005); **C**) P_2O_5 versus K_2O/Na_2O plot.

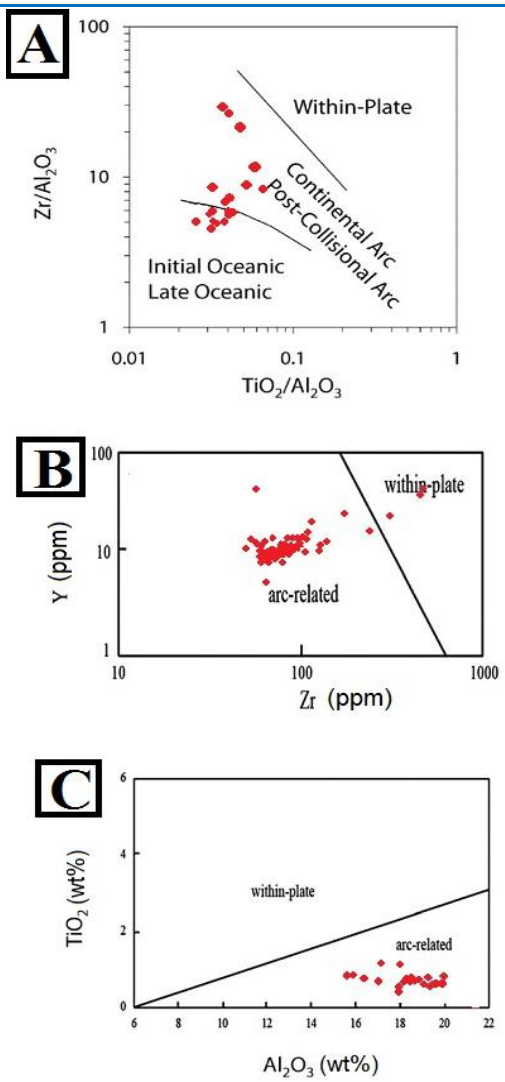
[1] slab

هر ماگمایی در شرایط خاص و در مرحله‌ای از تبلور خود، از کانی‌های تیتانیم‌دار و فسفردار اشباع می‌شود. آزمایش‌های اکتشافی ولف و لندن (Wolf and London, 1995) نشان داد افزایش REEها در ترکیب گرانیت‌های کالک‌آلکالن، آشکارا حلالیت آپاتیت را نزدیک به ۳۵-۴۰ درصد کاهش می‌دهد. از سوی دیگر، گرین و آدام (Green and Adam, 2002) نشان دادند میزان حلالیت P در گرانیت‌های متاآلومین کالک‌آلکالن با افزایش نسبت K_2O/Na_2O کاهش می‌یابد. مقایسهٔ مقدار P_2O_5 با نسبت K_2O/Na_2O برای نمونه‌های رزگاه گویای کاهش مقدار P با افزایش نسبت یادشده است (شکل ۱۷-C). افزون‌بر این، با توجه به نمودار عنصرهای خاکی کمیاب، نمونه‌های سینیتی نسبت به نمونه‌های گابرویی از میزان REE غنی‌تر هستند و بالاتر قرار می‌گیرند؛ به‌گونه‌ای‌که میزان LRRE بهنجارشده به ترکیب کندریت در آنها از ۱۰۰ بیشتر است. همچنین، فراوانی HREE بهنجارشده به ترکیب کندریت از ۱۰ بیشتر است. اما دربارهٔ گابروها این مقدارها به‌ترتیب کمتر از ۱۰۰ و نزدیک به ۱۰ هستند. با توجه به آنچه گفته شد، کاهش حلالیت P با افزایش مقدار K و REE، شرایط جدایش آپاتیت از مذاب مادر را فراهم کرده است.

برای تمایز محیط‌های زمین‌ساختی مرتبط با فرورانش از محیط‌های زمین ساختی پس از برخورد و محیط‌های همراه با کشش قاره‌ای و دور از فرورانش، از نسبت تغییرات Zr-Nb سنگ‌های آلکالن بهره گرفته می‌شود. مقدار بالای این عنصرها ویژهٔ سنگ‌های آلکالن دور از فرورانش است و بیشتر، ویژگی‌های محیط‌های زمین‌ساختی مرتبط با کشش را نشان می‌دهد (Thompson and Fowler, 1986). برای نمونه، در سینیت‌های نامیبیا تجمع این عنصرها بالاست (Zr=۴۰۰-۱۱۰۰ppm؛ Nb>۲۰۰ppm) و محیطی مرتبط با کشش دور از فرورانش را برای آن منطقه در نظر گرفته‌اند (Jung at al., 2007). با توجه به این مقدارها و نیز مقدار میانگین آنها دربارهٔ سنگ‌های منطقهٔ رزگاه (Zr=۶۴-۵۰۸ppm؛ Nb<۵۶ppm)، محیط‌های مرتبط با فرورانش و پس از برخورد، محیط‌های زمین‌ساختی مناسبی برای پیدایش این سنگ‌ها هستند. به باور برخی پژوهشگران، ماگماهای آلکالن جایگیرشده در پهنه‌های فرورانش نسبت‌های Ba/Nb و La/Nb بالاتری دارند؛ به‌گونه‌ای‌که مقدار La/Nb از ۳ تا ۱۲و مقدار Ba/Nb از ۲۰ بزرگ‌تر است. این نسبت‌ها برای اعضای بدون آلودگی که مذاب آلکالن آنها در یک محیط مرتبط با کشش جایگیری کرده باشند، کمتر است (Jung et al., 2007; Jung et al., 2020). این نسبت‌ها برای نمونه‌های رزگاه به‌ترتیب برابر با ۱ تا ۷ (میانگین: ۴) برای بیشتر نمونه‌ها و برابر با ۲ تا ۲۸۴ (میانگین: ۱۵۰ تا ۲۰۰) برای بیشتر نمونه‌هاست که مقادیر بالایی است و احتمال جایگیری آنها در پهنهٔ فرورانش را افزایش می‌دهد.

در نمودارهای تفکیک محیط زمین‌ساختی که برای سنگ‌های پتاسیک پیشنهاد شده‌اند، نمونه‌ها در محدودهٔ کمان‌های قاره‌ای و کمان‌های پس از برخورد جای می‌گیرند (شکل‌های ۱۸ تا ۲۱). بر پایهٔ نمودارهای پیشناهدی مولر و گراوز (Muller and Groves, 1997) سنگ‌های منطقهٔ رزگاه در محیط زمین‌ساختی مرتبط با کمان و در محدوده کمان‌های قاره‌ای و کمان‌های پس از برخورد جای می‌گیرند (شکل ۱۸).

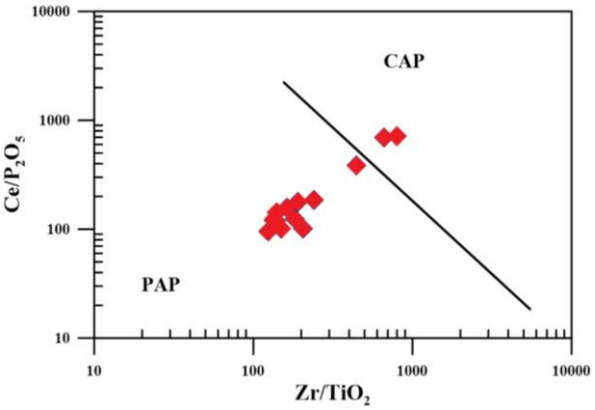
در نمودار Zr/TiO_2-Ce/P_2O_5 که برای جدایش کمان‌های حاشیه فعال قاره‌ای (CAP) از کمان‌های پس از برخورد قاره‌ای (PAP) به‌کار می‌رود (Muller and Groves, 1997)، نمونه‌ها در محدودهٔ پس از برخورد جای می‌گیرند (شکل ۱۹). در نمودار La/Yb در برابر Th/Yb که برای شناخت محیط پیدایش به‌کار می‌رود و انواع کمان‌های قاره‌ای، اقیانوسی و نوع آند را از هم متمایز می‌کند، نمونه‌ها، ویژگی کمان‌های نوع آند و کمان‌های حاشیه قاره را نشان می‌دهند (شکل ۲۰).



شکل ۱۸. نمودارهای تفکیک محیط‌های زمین‌ساختی سنگ‌های پتاسیک درون‌صفحه‌ای و مرتبط با کمان (Muller and Groves, 1997)، **A**) نمودار TiO_2/Al_2O_3 در برابر Zr/Al_2O_3؛ **B**) نمودار Zr در برابر Y برای جداکردن سنگ‌های کمان‌های قاره‌ای از سنگ‌های درون‌صفحه‌ای؛ **C**) نمودار Al_2O_3 در برابر TiO_2.

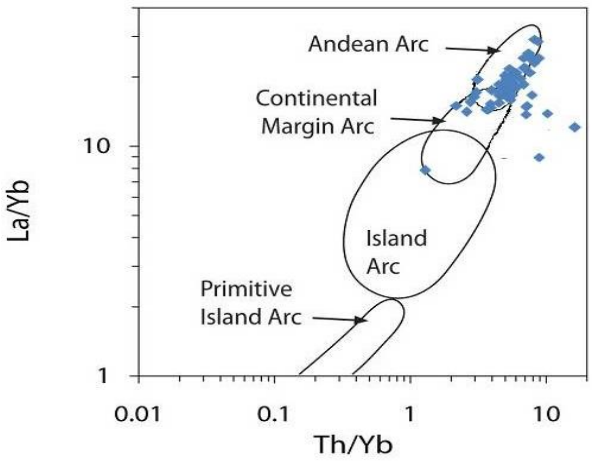
Figure 18. Discrimination diagrams for within plate and arc related potassic rocks (Muller and Groves, 1997), **A**) TiO_2/Al_2O_3 versus Zr/Al_2O_3; **B**) Zr versus Y plot to separate continental arc from intraplate; **C**) Al_2O_3 versus TiO_2.

در نمودار Nb در برابر Rb/Zr که برای بررسی میزان بلوغ کمان کاربرد پیشنهاد شده است، نمونه‌های منطقهٔ زرگاه در محدودهٔ کمان حاشیهٔ قاره‌ای نرمال جای گرفته‌اند (شکل ۲۱-A). بر پایهٔ نمودار La/Nb در برابر Ba/Nb، ترکیب بیشتر نمونه‌ها به CC یا همان ترکیب پوستهٔ قاره‌ای گرایش نشان می‌دهد (شکل ۲۱-B) و از ترکیب مورب، گوشتهٔ اولیه و OIB[2] دور می‌شود. نسبت Ba/Nb در سنگ‌های آلکالنِ وابسته به محیط فرورانش از ۲۰ بیشتر است و مقدار La/Nb برابر با ۳ تا ۱۲ است که با نسبت‌های مربوط به تودهٔ آذرین درونی رزگاه همخوانی دارد.



شکل ۱۹. نمودار Zr/TiO_2 در برابر Ce/P_2O_5 (Müller and Groves, 1997) (CAP: حاشیهٔ فعال قاره‌ای؛ PAP: کمان پسابرخوردیِ قاره‌ای).

Figure 19. Zr/TiO_2 versus Ce/P_2O_5 diagram (Müller and Groves, 1997) (CAP: continental arc potassic rocks; PAP: post-collisional arc potassic rocks).

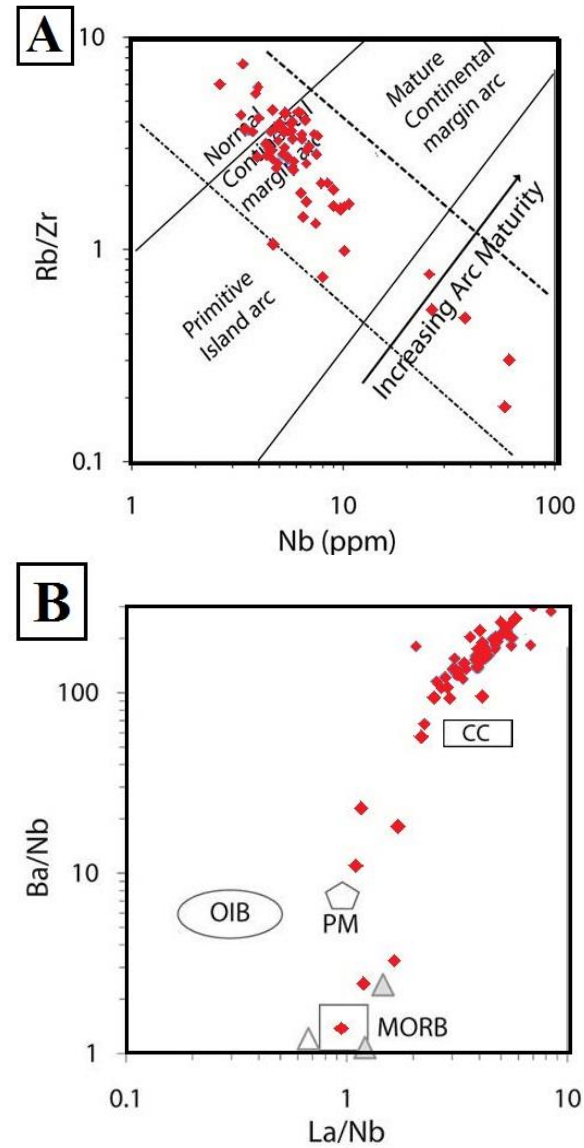


شکل ۲۰. نمودار Th/Yb در برابر La/Yb (Dostal et al., 2001).

Figure 20. Th/Yb versus La/Yb diagram (Dostal et al., 2001).

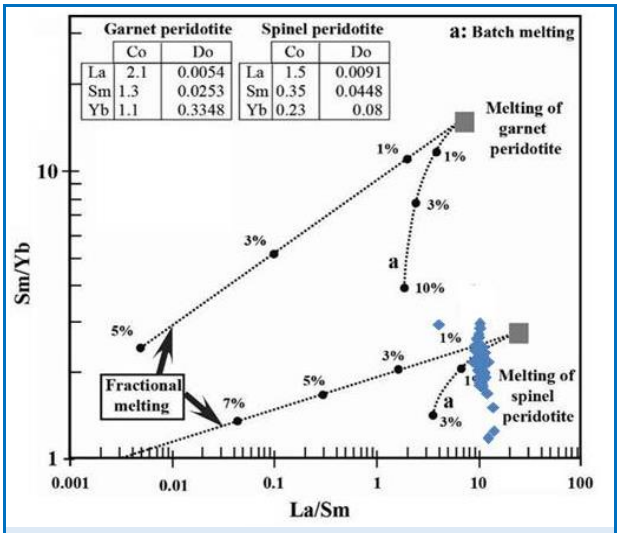
[2] Oceanic Island Basalt

باتوجه به نمودار La/Sm برابر Sm/Yb که برای بررسی سنگ خاستگاه و برآورد درجهٔ ذوب‌بخشی به‌کار می‌رود، درجات کم ذوب‌بخشی به‌همراه وجود روتیل در خاستگاه از مهم‌ترین عوامل برای غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE به‌شمار می‌روند. نمونه‌های منطقه زرگاه، ذوب‌بخشی یک اسپینل لرزولیت با درجهٔ ذوب‌بخشی کم (نزدیک به ۱ درصد) را نشان می‌دهند (شکل ۲۲).



شکل ۲۱. A) نمودار Rb/Zr در برابر Nb برای تعیین میزان بلوغ کمان (Brown, et al., 1984)؛ **B**) نمودار Ba/Nb درمقابل La/Nb. (Dilek et al., 2009)

Figure 21. A) Nb versus Rb/Zr to determine arc maturity (Brown, et al., 1984); **B**) La/Nb versus Ba/Nb (Dilek et al., 2009)



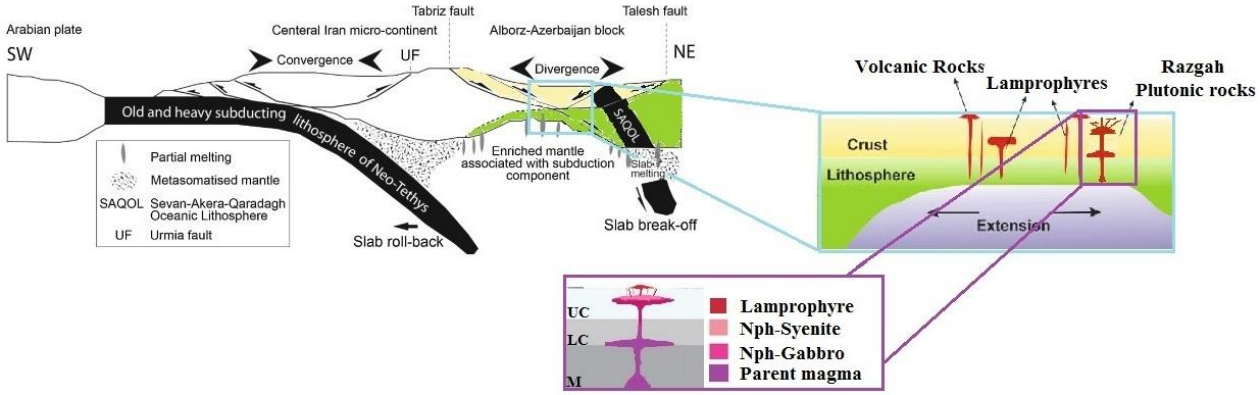
شکل ۲۲. نمودار La/Sm در برابر Sm/Yb (Keskin, 2005).

Figure 22. La/Sm versus Sm/Yb diagram (Keskin, 2005).

دریک نگاه کلی به نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی، نمونه‌های تودهٔ آذرین درونی رزگاه بیشتر محیط کمان حاشیهٔ فعال قاره‌ای و پسابرخوردی را نشان می‌دهند. انحلال‌ناپذیری Nb و Ta در سیال‌های پهنه‌های فرورانش و بجاماندن پیروکسن و روتیل در پوستهٔ اقیانوسی در حال فرورانش و گوهٔ گوشته بالای آن و بالابودن ضریب تفکیک Nb برای این کانی‌ها نسبت به مذاب، باعث غنی‌شدگی عنصرهای LIL نسبت به عنصرهای HFS در این پهنه‌ها می‌شود (Prouteau et al., 2003; Baier et al., 2008). با توجه به این ویژگی و نمودارهای عنکبوتی، تهی‌شدگی Nb و Ti و پژوهش‌های پیشین، ماگمای سازندهٔ توده‌های آذرین درونی رزگاه در یک محیط وابسته به فرورانش پدید آمده است. پیدایش توده‌های آذرین درونی رزگاه را می‌توان پیامد حرکت‌های کششی پسابرخوردی و فرورانش تختهٔ فرورونده اقیانوسی درون گوشتهٔ سنگ‌کره‌ای زیر قاره‌ای دانست که به‌دنبال آنها، سیال‌های آزادشده شرایط ذوب این بخش ازگوشته را فراهم کرده‌اند و مذاب مافیک اولیه پدید آمده است. این مذاب در مرحلهٔ بعد در آشیانهٔ ماگمایی دچار

جـدایش بلـوری ماگمـایی شـده و درون پوسـته نفـوذ کـرده اسـت و نفلـین گـابرو را پدیـد آورده اسـت. بـه دنبال ادامهٔ جـدایش بلـوری و درگیـری مـذاب بـا پوسـتهٔ زیـرین، ترکیـب ماگمـا بـه مونزوسـینیت گـرایش پیـدا کـرده اسـت. بـا پیشـرفت جـدایش بلـوری و آلایـش بـا مـواد پوسـته‌ای، سـنگ‌هـای اسـیدی‌تری ماننـد پتاسیم‌فلدسپار سینیت پدیدار شده‌اند.

داشتن نشانه‌های محیط فرورانشی می‌تواند پیامد افـزایش سـیال آزادشـده از تختـهٔ فرورونـده و اثـر متاسوماتیسمی آن بـر سـنگ‌کره و ذوب ایـن سـنگ‌کره متاسوماتیسم‌شـده باشـد (Turner et al., 1996). ازاین‌رو، شاید بتـوان گفـت، از زمـان ائوسـن زمین‌سـاخت پسـابرخوردی بـر آذربایجـان حـاکم بـوده اسـت. ایـن مسـئله بـا هندسـهٔ صـفحه‌های برخـوردی در شـمال‌باختری ایـران‌زمین همخـوانی دارد. گمـان مـی‌رود از آنجایی‌کـه شـمال‌باختری ایـران پیشـتر از منـاطق دیگر دچـار برخـورد قـاره‌ای شـده اسـت و یـک مرحلـه از مناطق جنوبی‌تـر جلـوتر بـوده اسـت، سسـت‌کـرهٔ زیـر آن بـه‌علت شکسـت تختـهٔ فرورونـده و در پـی آن، پوسته‌شـدگی، بـه ترازهـای بـالاتر انتقـال یافتـه اسـت. مجمـوع ایـن دو سـازوکار می‌توانسـته اسـت ذوب‌بخشـی گوشـته سـنگ‌کره‌ای و پوسـتهٔ زیـرین و در پایـان، پیـدایش و جـای‌گیری توده‌هـایی بـا جایگـاه پسـابرخوردی را در آذربایجـان بـه‌دنبال داشـته باشـد (Rabiee et al., 2020). در شـکل ۲۳، الگـوی زمـین‌سـاختی پیـدایش سـنگ‌های ماگمـایی رزگـاه، فـرورانش صـفحهٔ عربـی بـه زیـر ورقـهٔ ایـران و شکسـت تختـه و سـپس، رخـداد سـازوکار کششـی را نشـان می‌دهـد. همچنـین، ماگمـای برخاسـته از گوشـتهٔ غنی‌شـده و رخـداد جـدایش بلـوری در قاعـدهٔ پوسـته و سـپس نفـوذ بخـش جدایش‌یافتـه بـه ترازهـای بـالاتر پوسته و آلایـش صـورت گرفتـه اسـت. بـا خـروج گازهـا و پیـدایش شکسـتگی‌های عـادی در سـقف آشـیانه، نفـوذ دایک‌هـای لامپروفیـری و دایک‌هـای متعـدد دیگـر کـه تودهٔ رزگاه را قطع کرده‌اند، رخ داده است.



شکل ۲۳. الگوی زمین‌ساختی پیدایش سنگ‌های ماگمایی منطقهٔ رزگاه بر پایهٔ الگوی پیشنهادیِ اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2018) (با اندکی تغییرات).

Figure 23. Geotectonic model for the occurance of magmatic rock in Razgah area, based on the model by Ashrafi et al. (2018) (with minor modification).

برداشت

بـر پایـهٔ بررسـی‌های ماکروسـکوپی و میکروسـکوپی، سـنگ‌های منطقـه شـامل نفلـین گـابروی الیـوین دار، نفلـین مونزوسـینیت، سودولوسـیت سـینیت و پتاسیم‌فلدسـپار نفلین‌سـینیت و دایک‌هـا هسـتند. دایک‌های بازیـک منطقـه را بـا توجـه بـه حضـور لوسـیت و آمفیبـول می‌تـوان از لامپروفیرهـای آلکـالن دانسـت. رگه‌های کانـه‌دار اکسـیدآهن و کربنـات مـس گـاهی همـراه بـا دایـک‌هـا و گـاهی بـه‌تنهایی تـوده را قطـع کـرده‌انـد. وجـود سودولوسـیت، حاشـیهٔ واکنشـی در کلینوپیروکسـن

و الیوین، وجود نفلین در پیرامون پلاژیوکلاز و نفلین‌های دگرسان و خوردگی پلاژیوکلاز گویای تغییر ترکیب ماگما و فشار وارده بر آن هستند.

بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند دایک‌ها و رگه‌های همراه با تودهٔ آذرین درونی رزگاه، از میزان K_2O غنی‌تر و از CaO و Na_2O فقیرتر از تودهٔ آذرین درونی هستند. در نمودارهای نامگذاری، نمونه‌های سنگی منطقه در محدودهٔ نفلین‌سینیت، سینیت و آلکالی‌فلدسپار سینیت جای می‌گیرند. هرچند، بر پایهٔ مقدار اکسیدهای اصلی (K_2O و Na_2O) این سنگ‌ها آلکالن پتاسیک هستند و بر پایهٔ ضریب اشباع‌شدگی از آلومینیم، متاآلومینوس تا پرآلومینوس هستند؛ اما سرشت ماگما بر پایهٔ مقدار عنصرهای فرعی Co و Th و نسبت‌های Ce/Yb، Ta/Yb و Th/Yb از نوع کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و متعلق به سری‌های شوشونیتی شناسایی شد.

الگوی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عنصرهای REE، LILE و HFSE در سنگ‌ها می‌تواند با فرایند متاسوماتیسم گوشته و یا آلایش پوستهٔ قاره‌ای در ارتباط باشد و بی هنجاری منفی عنصرهای Nb و Ti را می‌توان بی‌هنجاری منفی TNT (تیتانیم، نیوبیم و تانتالیم) به‌شمار آورد. همانندیِ الگوهای عنصرهای خاکی کمیاب و موازی‌بودن نمودارهای چندعنصری، گویای همانندی فرایندهای ماگمایی سازندهٔ همهٔ گروه‌های سنگی در منطقه است. افزون‌براین، کاهش حلالیت P با افزایش مقدار K و REE، شرایط جدایش آپاتیت از مذاب مادر را فراهم کرده است. ماگمای مادر مذاب سازندهٔ تودهٔ آذرین درونی رزگاه، آمفیبولیت شناخته شد و محیط‌های مرتبط با فرورانش و کمان‌های پسابرخوردی محیط زمین‌ساختی پیدایش این سنگ‌ها دانسته شد. بر پایهٔ الگوی REE، می‌توان گفت مذاب از سنگ‌کرهٔ گوشته‌ای زیر قاره‌ای با درجهٔ ذوب‌بخشی کم پدید آمده است و خود گوشته نیز با سیال‌ها و مذاب‌های جداشده از مواد قاره‌ای و تختهٔ اقیانوسی فرورونده در پهنهٔ فرورانش، دچار آلایش شده است. بر پایهٔ مدل زمین‌ساختی، پس از فرورانش صفحه عربی به زیر ورقه ایران و شکست تختال و رخداد رژیم کششی، ماگمای برخاسته از گوشته غنی‌شده و ذوب تختهٔ فرورونده در قاعدهٔ پوسته دچار جدایش بلوری شده است و سپس با نفوذ بخش جدایش‌یافته به ترازهای بالاتر پوسته، آلایش پوسته‌ای رخ داده است. با خروج گازها و پیدایش شکستگی درسقف آشیانه، امکان نفوذ دایک‌های لامپروفیری و دیگر دایک‌های قطع‌کنندهٔ تودهٔ آذرین درونی در منطقه فراهم شده است.

سپاس‌گزاری

نگارندگان نهایت مراتب سپاس خود را برای پذیرش هزینه‌های پژوهش طی قرارداد ۳۷۶۸۸ از سوی سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران اعلام می‌دارند.

References

Ameri, A. (2004) Petrological and geochemical studies of Razgah intrusive mass, (Mehraban East), Northwest of Iran (Unpublished M.Sc. dissertation). Tabriz University. (in Persian).

Ashrafi, N. (2009) Mineralogy, petrology and geochemistry of foid syenites of East Azarbaijan, Northwest Iran (Unpublished Ph.D. dissertation). Tabriz University. (in Persian).

Ashrafi, N., Hasebe, N., and Jahangiri, A. (2018) Cooling history and exhumation of the Nepheline Syenites, NW Iran: Constraints from Apatite fission track. Iranian Journal of Earth Scinces, (IJES), 10(2), 109-120, https://ijes.mashhad.iau.ir/article_543036.html

Baier, J., Audétat, A., and Keppler, H. (2008) The origin of the negative niobium tantalum anomaly in subduction zone magmas. Earth and Planetary Science Letters, 267(1-2), 290-300, https://doi.org/10.1016/j.epsl.2007.11.032

Boynton, W.V. (1984) Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In Henderson, P., Ed., Rare Earth Element Geochemistry. 63–114. Elsevier. Amsterdam.

Brown, G.C., Thorp, R.S., and Webb, B.P. (1984) The geochemical characteristic of granitoids in contras- ting arcs and comments on magma source. Journal of the Geological Society of London, 141(3), 413-426, https://doi.org/10.1144/gsjgs.141.3.0413

Cox, K.G., Bell, J.D., and Pankhurst, R.J. (1979) The interpretation of igneous rocks, 450 p. Allen and uniwin.

De la Roche, H., Leterrier, J., Grand Claude, P., and Marchal, M.A. (1980) Classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses its relationships with current nomenclature. Chemical Geology, 29(1-4), 183- 210, https://doi.org/10.1016/0009-2541(80)90020-0

Dilek, Y., Imamverdiyev, N. A., and Altunkaynak, S. (2009) Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. International Geology Review, 52(4-6), 536-578, https://doi.org/10.1080/00206810903360422

Dostal, J., Church, B. N., Reynolds, P. H., and Hopkinson, L. (2001). Eocene volcanism in the Buck Creek Basin, central British Columbia (Canada): transition from arc to extensional volcanism. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 107(1-3), 149-170, https://doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00261-4

Edward, C.M.H., Menzies, M.A., Thirlwall, M.F., Morrid, J.D., Leeman, W.P., and Harmon, R.S. (1994) The transition to potassic alkaline volcanism in island arcs: the Ringgite-Beser Complex, East Java. Indonesia. Journal of Petrology, 35(6), 1557-1595, https://doi.org/10.1093/petrology/35.6.1557

Esmaeili, D. (1997) Petrological and alteration study of Razgah-Dechan pseudoleucite syenite mass (Unpublished M.Sc. dissertation). Islamic Azad University, North Tehran branch (in Persian).

Gaetani, A.G. (2004) The influence of melt structure on trace element partitioning near the peridotite solidus. Contributions to mineralogy and Petrology, 147, 511-527.

Glenn Kamber, B.S., Ewart, A., Collerson, K.D., Bruce, M.C., and McDonald, G.D. (2002) Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. Contributions to Mineralogy and Petrology, 144, 38-56.

Green, T.H., and Adam, J. (2002) Pressure effect on Ti- or P-rich accessory mineral saturation in evolved granitic melts with differing K_2O/Na_2O ratios. Lithos, 61(3-4), 271-282, https://doi.org/10.1016/S0024-4937(02)00083-X.

Harris, N.B.W., Pearce, J.A., and Tindle, A.G. (1986) Geochemical characteristics of collision zone magmatism. Geological Society Special Publication, 19(1), 67-81, https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.019.01.04.

Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A., and Mitchell, S.F. (2007) Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th–Co discrimination diagram. Journal of Petrology, 48(12), 2341-2357, https://doi.org/10.1093/petrology/egm062

Hongyan, G., Min, S., Chao, Y., Xiao, W., Zhao, G., Zhang, L., and Fuyuan, W. (2009) Geochemical, Sr-Nd and Zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late – Subduction. Chemical Geology, 266(3-4), 364-398.

Jamali, H., Yaghubpur, A., and Mehrabi, B. (2012) Relationships of copper and gold mineralizations

with magmatic pulses in the Khankandi and Useflu bodies, East of Ahar. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 20(3), 547-564 (in Persian), http://ijcm.ir/article-1-368-en.html

Jung, S., Hoffer, E., and Hoernes, S. (2007) Neo-Proterozoic rift-related syenites (Northern Damara Belt, Namibia): geochemical and Nd–Sr–Pb–O isotope constraints for mantle sources and petrogenesis. Lithos, 96(3-4), 415–435, https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.11.005

Jung, S., Huff, F., and Berndt, J. (2020) Generation of a potassic to ultrapotassic alkaline complex in a syn-collisional setting through flat subduction: Constraints on magma sources and processes (Otjimbingwe alkaline complex, Damara orogen, Namibia). Gondwana Research, 82, 267-287. https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.01.004

Keskin, M. (2005) Domal uplift and volcanism in a collision zone without a mantle plume: Evidence from Eastern Anatolia, https://api.semanticscholar.org/CorpusID:197412876

Machado, A., Lima, E.F., Chemale, J.F., Morta, D., Oteiza, O., Almeida, D.P.M., Figueiredo, A.M. G., Alexandre, F.M., and Urrutia, J.L. (2005) Geochemistry constraints of Mesozoic-Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica. Journal of South American Earth Science, 18(3-4), 407-425, https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.11.011

Mahdavi, M.A., and Fazli, A. (2008) Ahar Geological Quadrangle Map 1:100000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (in Persian).

Morris, E.M., and Pasteris, J.D. (1987) Mantle metasomatism and alkaline magmatism, 383 p. Special Publication 215, Geological Society of America, Colorado.

Müller, D., and Groves, D.I. (1997) Potassic igneous rocks and associated gold copper mineralization, 242 p., 2nd Edition, Springer Verlag.

Opio-Aketch, N., Tarney, J., and Hoshino, M. (1999) Petrology and geochemistry of granites from Archean terrain north of lake Victoria,Western Kenya. Journal of African Earth Science, 29(2), 283-300, https://doi.org/10.1016/S0899-5362(99)00098-6

Patino Douce, A.E. (1999) What do experiments tell us about the relative contributions of crust and mantle to the origine of granitic magmas?. Geological Society of London,special publication. 168(1), 55-75, https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.168.01.05

Prouteau, G., and Scaillet, B. (2003) Experimental Constraints on the Origin of the 1991 Pinatubo Dacite. Journal of Petrology, 44(12), 2203–2241, https://doi.org/10.1093/petrology/egg075

Rabiee, A., Rossetti, F., Asahara, Y., Azizi, H., Lucci, F., Lustrino, M., and Nozaem, R. (2020) Long-lived, Eocene-Miocene stationary magmatism in NW Iran along a transform plate. Gondwana Research, 85, 237-262, https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.03.014

Rollinson, H.R. (1993) Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation. 352 p. Longman Scientific and Technical, London.

Shand, S.J. (1943) Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite. John Wiley and Sons,

Shang, C.K., Satir, M., Sieble, W., Nsifa, E.N., Taubald, H., Liegeoise, J.P., and Tchoua, F.M. (2004) Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematic: Case of the Sangmelima region, Ntem Complex, southern Cameroon. Journal of African Earth Science, 40(1-2), 61-79.

Soesoo, A. (2000) Fractional crystallization of mantle-derived melts as a mechanism for some I-type granite petrogenesis: an example from Lachlan Fold Belt, Australia. Journal of the geological Society, 157(1), 135-149, https://doi.org/10.1144/jgs.157.1.135

Sun, S.S., and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Journal of the Geological Society, London,

Special Publications, 42(1), 313-345, https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

Thompson, R.N., and Fowler, M.B. (1986) Subdaction related shoshonitic and ultrapotassic magmatism, a study of Siluro- Ordovician syenites, from the Scottish Caledonids. Contributions to Mineralogy and Petrology, 94(4), 507-522.

Tsuchiya, N., Suzuki, S., Kimura, J-I., and Kagami, H. (2005) Evidence for slab melt/ mantle reaction: Petrogenesis of early cretaceous and eocene high-Mg andesites from the kitakami mountains, Japan. Lithos, 79(1), 179–206, https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.053

Turner, S., Arnaud, N., Liu, J., Rogers, N.W., Harris, N.B., and Kelley, S.P. (1996) Van calsteren, P. and Deng, W. Post-collisional, shoshonitic volcanism on the Tibetan Plateau: implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. Journal of Petrology, 37(1), 45-71, https://doi.org/10.1093/petrology/37.1.45

Wolf, M.B., and London, D. (1995) Incongruentdissolution of REE and Sr rich apatite in peraluminous granitic liquids: differential apatite, monazite, and xenotime solubilities during anatexis. American Mineralogist, 80(7-8), 765-775, https://doi.org/10.2138/am-1995-7-814