

Evaluation of Cu-mineralization potential based on mineralogical and geochemical evidence in Kahdelan area, Eastern Azerbaijan, NW of Iran

Reyhane Lotfi ¹, Mohammad Yazdi ²✉, Iraj Rasa ³, Mansour Ghorbani ⁴

¹ Ph.D. Student, Department of Geology of Mineral and Ground Water Resources, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, r_lotfi@sbu.ac.ir

² Professor, Department of Geology of Mineral and Ground Water Resources, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, m-yazdi@sbu.ac.ir

³ Professor, Department of Geology of Mineral and Ground Water Resources, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, i-rasa@sbu.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Geology of Mineral and Ground Water Resources, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, m-ghorbani@sbu.ac.ir

ARTICLE INFO

Received: 29 May 2022

Accepted: 23 November 2022

Keywords

Mineralogy
Geochemistry
Cu-mineralization
Kahdelan
Sarab
NW of Iran



 20.1001.1.22285210.1401.13.4.3.7

 10.22108/ijp.2022.133870.1282

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Kahdelan area in the SW of Sarab is situated in the northern part of the Urumieh–Dokhtar geotectonic zone and Tarom–Hashtjin metallogenic zone. Some of the most important porphyry Cu ± Mo ± Au mineralizations in Iran occur along the NW–SE trending Urumieh–Dokhtar volcano-plutonic belt, lying between the Sanandaj–Sirjan zone and Central Iran. The Urumieh–Dokhtar magmatic arc, extends over a strike length of about 2000 km from northwest to southeast and is characterized by subduction-related calc-alkaline rocks. Due to extensive Tertiary magmatism and extensive alterations, this zone is one of the remarkable Cu-bearing regions in Iran. Therefore, many studies, regarding different aspects of the area, have been carried out by the Geological Survey of Iran as well as some private companies. Differentiating fertile and barren intrusive bodies could be important factors in reducing exploration expenses, and it is possible to identify susceptible areas by using geochemical data. Thus, the main purpose of the present study is to evaluate the granitoid rocks of the Kahdelan area as the possible potential for Cu-mineralization based on mineralogical and geochemical evidence.

Regional Geology

The main intrusions of the Kahdelan area are Oligocene granitoid bodies composed of syenite, quartz

syenite, and monzosyenite with light color and granular texture. Syenites are the most dominant plutonic rocks and quartz-syenites are the main host of Cu-mineralization. These intrusive bodies intruded the

✉ Corresponding Author

To cite this article: Lotfi, R., Yazdi, M., Rasa, I., Ghorbani, M. (2023) Evaluation of Cu-mineralization potential based on mineralogical and geochemical evidence in Kahdelan area, Eastern Azerbaijan, NW of Iran. *Petrological Journal*, 13(4), 57-86.

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>)



Upper Eocene pyroclastic and volcanic rocks which gave rise to alteration and mineralization occurrences in the area. Volcanic rocks are composed of basalt, basaltic-andesite, andesite, and trachyte mainly with porphyritic texture.

Materials and Methods

The present study evaluates the copper mineralization potential of the Kahdelan area for the first time. The represented information can be divided into three parts: 1) ore mineralogy and mineralogy of the Kahdelan's rocks; 2) the investigating data related to I-type and magnetite series, and 3) the relationship between the obtained mineralogical and geochemical data with Cu-mineralization in the area to compare with porphyry copper deposits along the Urumieh–Dokhtar magmatic arc.

Results and Discussion

The dominant alteration zones in the area under study are argillic, phyllic, carbonatization, silicification, and hematitization. The primary ore minerals are magnetite, chalcopyrite, and bornite which are generally replaced by secondary minerals including chalcocite, covellite, and malachite. The ore textures are predominantly disseminated, open space-filling, replacement, and brecciated. Gangues (carbonate and quartz minerals) textures are crystalline, open space-filling, cementation of brecciated zones, and colloform.

The volcanic rocks of the Kahdelan area are calc-alkaline to shoshonitic and the granitoids are shoshonitic affinity and I-Type nature (magnetite series). In the area of study, sinking solutions washed away most of the pyrites and left behind empty pyrite molds and iron oxides and hydroxides along with different amounts of malachite and neotocite. As the chondrite-normalized REE diagrams display the studied granitoids are enriched in LREEs and fairly depleted in HREEs relative to HREEs. The enrichment of LILE elements and depletion of HFSE elements are features similar to those of the fertile granitoids. The rate of decline of the slope in the diagram is similar to that of the copper porphyry deposits also slightly negative Eu anomalies of these granitoids are similar to fertile granitoids (Karimpour et al., 2021). The $(La/Yb)_n$ and Eu/Eu^* are used in evaluating the oxidation state and investigating the depth changes of parent magma of granitoids. The $(La/Yb)_n$ anomalies vary from 4.05-23.17, and Eu/Eu^* anomalies vary from 0.32-2.65 with an average of 0.8 that are

different from copper porphyry deposits.

Based on spider diagrams, the depletion of titanium could be related to the low oxygen fugacity in subduction zones. The Pb and U enrichment point to the role of the earth's crust in the petrogenesis of these rocks. P depletion could be the consequence of apatite crystallization from the parent magma.

Based on the relationship between geochemical data as well as mineralization, three diagrams have been used to distinguish fertile granitoids. The Eu/Eu^* versus $(La/Yb)_n$ diagram (Karimpour et al., 2021) shows that Kahdelan's granitoids have a reduced nature. The SiO_2 - K_2O diagram (Peccerillo and Taylor, 1976) points out that the intrusive and the volcanic rocks of Kahdelan are characterized by the much less SiO_2 amount compared to fertile granitoids in SNJMB (Saveh-Nain-Jiroft Magmatic Belt) (Karimpour et al., 2021). On A/NK versus A/CNK diagram (Meinert, 1995) the granitoids under study are close to fertile copper porphyry deposits.

Conclusion

On the basis of mineralogical and geochemical data, Kahdelan's intrusive rocks are I-type and magnetite series. The tectonomagmatic setting of the rocks under study lies within Volcanic Arc Granites (VAG), active continental margins, and arc systems. On A/NK versus A/CNK diagram, these granitoids are close to fertile copper porphyry deposits. Quartz syenites are the main mineralization hosts. Based on geochemical data, the average Cu content is 3492.76 ppm in a total of 170 samples collected all over the area and up to 230534 ppm Cu in mineralized Quartz syenites veinlets. Mineralogical, geochemical, and alteration data in combination with fertile–barren discrimination diagrams indicate that the granitoids of the Kahdelan area can be evaluated as the possible potential for Cu mineralization.

Acknowledgments

This research was supported by Iran Minerals Production and Supply Co (IMPASCO). Our grateful thanks are also extended to the Iran Mineral Processing Research Center laboratories (IMPRC) chief and technicians who provide analytical data for this research. Finally, the authors also would like to thank the Editor-in-Chief and the insightful comments offered by anonymous reviewers for the critical and constructive comments which significantly contributed to the improvement of the manuscript.



ارزیابی توان کانه‌زایی مس بر پایه شواهد کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی در محدوده کهدلان، آذربایجان شرقی، شمال‌باختری ایران

ریحانه لطفی^۱، محمد یزدی^۲، ایرج رسا^۳، منصور قربانی^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهیدبهشتی، تهران، ایران، r_lotfi@sbu.ac.ir

^۱ استاد، گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، m-yazdi@sbu.ac.ir

^۱ استاد، گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، i-rasa@sbu.ac.ir

^۱ دانشیار، گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، m-ghorbani@sbu.ac.ir

چکیده

محدوده کهدلان در جنوب‌باختری سراب استان آذربایجان شرقی در شمال‌باختری ایران جای دارد. از دیدگاه زمین‌ساختی، این محدوده در بخش شمالی پهنه ارومیه-دختر و بخشی از کمربند فلزایی تارم - هشتجین به‌شمار می‌رود. در محدوده کهدلان توده‌های گرانیتوئیدی الیگوسن شامل سینیت، کوارتزسینیت و مونوزسینیت درون واحدهای آتشفشانی نفوذ کرده‌اند که عموماً شامل سنگ‌های آذرآوری و آتشفشانی ائوسن بالایی (بازالت، آندزیت و آن‌دزیت و تراکیت با بافت غالب پورفیریتیک) هستند. بر پایه شواهد زمین‌شیمیایی، سرشت این سنگ‌های آتشفشانی، کالک‌آلکالین پتاسیم بالا تا شوشونیتی است. سرشت توده‌های آذرین درونی محدوده نیز شوشونیتی و از نوع I (مگنتیتی) است. در این گرانیتوئیدها، نمودارهای عنکبوتی بهنجار شده به ترکیب کندریت، غنی‌شدگی شدید LREE نسبت به HREE را نشان می‌دهند. سنگ‌های درونی کهدلان با نسبت $(La/Yb)_n$ برابر با ۴/۰۵ تا ۲۳/۱۷، نسبت Eu/Eu^* برابر با ۰/۳۲ تا ۲/۶۵ (میانگین: ۰/۸) محدوده‌ای متفاوت از کانسارهای مس پورفیری را نشان می‌دهند. محیط زمین‌ساختی این توده‌های آذرین درونی در محدوده مرزهای قاره‌ای فعال است. دگرسانی‌های کربناتی‌شدن، سیلیسی‌شدن و هماتیتی‌شدن به‌صورت فراگیر در سنگ‌های محدوده دیده می‌شوند. کوارتزسینیت میزبان اصلی کانه‌زایی مس است و کانه‌های فلزی اولیه شامل کالکوپیریت و بورنیت هستند که عموماً با کانی‌های ثانویه مس مانند کالکوسیت، کوولیت و ملاکیت جانشین شده‌اند. بافت‌های پراکنده‌دانه، پرکننده فضای خالی، جان‌شینی و برشی از بافت‌های رایج کانه‌زایی در این سنگ‌ها هستند. شواهد اولیه کانی‌شناسی و زمین‌شیمی نشان می‌دهند حضور کانی‌سازی مس در محدوده کهدلان محتمل است.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

کلید واژه‌ها

کانی‌شناسی

زمین‌شیمی

کانه‌زایی مس

کهدلان

سراب

شمال‌باختری ایران



20.1001.1.22285210.1401.13.4.3.7

10.22108/ijp.2022.133870.1282



مقدمه

در پایان دهه ۷۰، با مشاهده فعالیت‌های گسترده ماگمایی

ترشیاری و دگرسانی‌های گسترده در ناحیه آذربایجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی و دیگر شرکت‌های دولتی و خصوصی پژوهش‌های اکتشافی بسیاری در این مناطق انجام

نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: لطفی، ر.، یزدی، م.، رسا، ا.، قربانی، م. (۱۴۰۱) ارزیابی توان کانه‌زایی مس بر پایه شواهد کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی در محدوده کهدلان، آذربایجان شرقی، شمال‌باختری ایران. پترولوژی، ۱۳(۴)، ۵۷-۸۶.



در محدوده کهدلان، سنگ‌های آذرین درونی الیگوسن به‌صورت استوک‌های پراکنده با نفوذ در سنگ‌های آتشفشانی در رخداد دگرسانی و رخدادهای کانی‌سازی منطقه مؤثر هستند (شکل ۱- B) (Arabshahi et al, 2015). این سنگ‌های آذرین درونی با رنگ روشن و بافت گرانولار به‌صورت تدریجی با یکدیگر جایگزین می‌شوند. در بیشتر موارد، سینیت‌ها در همبری با سنگ‌های آتشفشانی هستند (شکل ۱- B) و کوارتز سینیت‌ها میزبان کانه‌زایی واقع شده‌اند.

روش انجام پژوهش

در این پژوهش، شمار ۲۶۳ نمونه در دو بازدید صحرایی از محدوده برداشت شد. از میان آنها، ۴۴ مقطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری، ۱۰ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری و ۲ مقطع نازک - صیقلی برای بررسی‌های پاراژنتی و بررسی ارتباط کانه‌زایی با سنگ میزبان تهیه شد. شناسایی سنگ‌ها و کانی‌ها بر پایه منابعی مانند همام (Homam, 2005) و اشتریکایزن (Streckeisen, 1976, 1978) انجام شد. نام اختصاری کانی‌ها از ویتنی و ایوانز (Whitney and Evans, 2010) برگرفته شده‌اند.

برای اندازه‌گیری میزان اکسید عنصرهای اصلی و تجزیه سنگ کل، ۱۶ نمونه با کمترین دگرسانی به روش فلورسانس پرتو ایکس^۱ (XRF) به روش پرس، شامل ۱۱ نمونه سنگ آتشفشانی (جدول ۱) و ۵ نمونه سنگ درونی (جدول ۲) برگزیده شدند. برای اندازه‌گیری فراوانی عنصرهای فرعی، کمیاب و خاکی نادر در توده‌های آذرین درونی، ۶۹ نمونه از سنگ‌های آذرین درونی به روش طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی^۲ (ICP-MS) (پیوست ۱) در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران تجزیه شیمیایی شدند. برای جایگزین کردن داده‌های سنسور^۳ حاصل از تجزیه نمونه‌ها، ضریب ۳/۴ آستانه آشکارسازی دستگاه اندازه‌گیری به کار برده شد (Hosseini et al., 2015). داده‌های اصلاح‌شده در برنامه Excel ترکیب و اصلاح شدند. سپس نمودارها در نرم‌افزار GCDkit رسم شدند (پیوست ۱).

دادند. منطقه سراب و پیرامون آن از مناطقی است که در آن پژوهش‌های اکتشافی بسیاری انجام شده است. محدوده کهدلان از محدوده‌های مورد توجه از دیدگاه کانی‌سازی مس و طلا به‌شمار می‌رود (Lotfi et al., 1978; Babakhani, 1981; Asadian et al., 1993; Mehrnia, 2004; Shahriyar, 2005; Maghsoudi et al., 2005; Mohammadi and Mehrpartou, 2008; Merikhi-Shahrivar, 2008; Maghsoudi, 2011; Maghsoudi et al., 2012a, 2012b; Pour Mohammad Gholi Farzaneh, 2016). شناسایی توده‌های آذرین درونی بارور و نابارور عامل مهمی در کاهش هزینه‌های اکتشافی است و با استفاده از فاکتورهای زمین‌شیمیایی در شناسایی این توده‌ها، مناطق مستعد برای تمرکز فعالیت‌های اکتشافی شناسایی می‌شوند. در این نوشتار، برای نخستین بار با به‌کارگیری داده‌های زمین‌شیمیایی، توان کانه‌زایی محدوده کهدلان ارزیابی می‌شود.

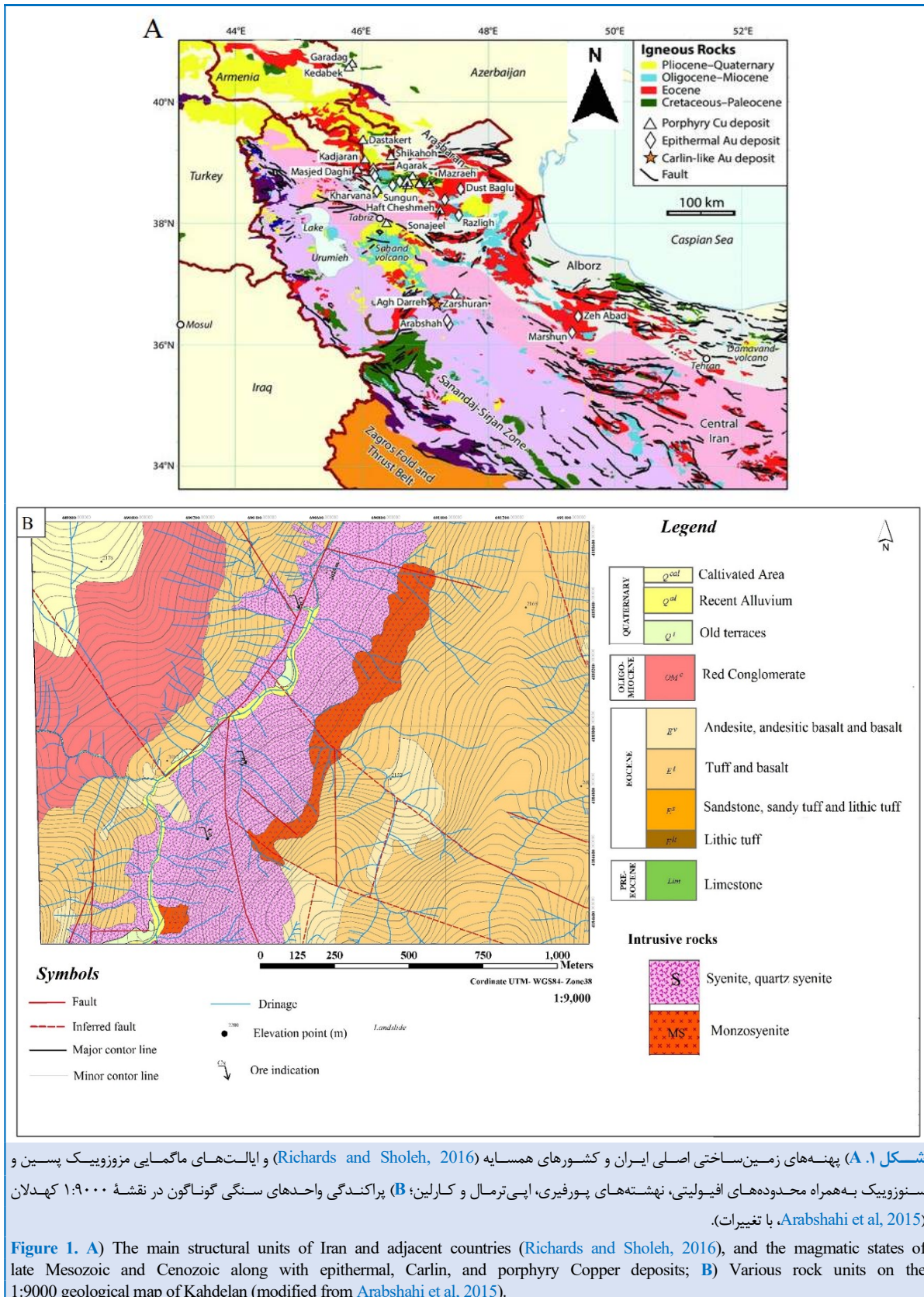
جایگاه زمین‌شناسی

محدوده کهدلان در جنوب‌باختری شهرستان سراب در استان آذربایجان شرقی، شمال‌باختری ایران جای دارد. این محدوده بخشی از شمال پهنه ماگمایی ارومیه-دختر و در کمربند فلزایی تارم - هشتجین به‌شمار می‌رود (شکل ۱- A). محدوده کهدلان بخشی از محور فلزایی اهر یا اهر - جلفا شمرده می‌شود که از نظر فعالیت ماگمایی، کانه‌زایی و شدت دگرسانی با بخش‌های دیگر آذربایجان تفاوت دارد (Ghorbani, 2002). این محور فلزایی از پرمایه‌ترین پهنه‌های فلزایی ایران بوده و از دیدگاه فعالیت ماگمایی قابل‌مقایسه با منطقه کرمان است. محور فلزایی اهر - جلفا، پس از پهنه کرمان، مستعدترین منطقه کانی‌سازی مس و مولیبدن پورفیری در ایران است. در این محور دگرسانی چشمگیر به‌صورت یک دگرسانی گسترده یا دگرسانی ناحیه‌ای نابارور است؛ اما دگرسانی‌های موضعی در محدوده‌هایی که ماگماتیسزم فاز C فعال بوده است، دیده می‌شوند که این دگرسانی‌های موضعی عموماً بارور هستند و با دگرسانی گسترده تفاوت دارند (Ghorbani, 2007). این پهنه از جنوب و جنوب‌باختری به گسل تبریز - سلطانیه، از خاور به گسل اردبیل - میانه و از شمال‌خاوری به فروافتادگی نزدیک گسل خاوری - باختری مغان محدود می‌شود و ادامه آن در شمال به پهنه فلزایی قفقاز کوچک می‌رسد (شکل ۱- A، برگرفته از (Richards and Sholeh (2016)).

¹ X-Ray Fluorescence

² Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

³ Censored data



جدول ۱. داده‌های تجزیه سنگ‌های آتشفشانی کهدلان به روش XRF (اکسیدهای اصلی برپایه درصدوزنی؛ LOI (میزان مواد فرار) برپایه درصد).

Table 1. Analytical data of volcanic rocks from Kahdalan by the XRF method (major elements oxides in weight percent; LOI (Loss on Ignition) in percentage).

Petrography Sample No.	Basalt					Basaltic andesite		Trachyte			
	R.97	R.103	R.122	R.105	R.113	R.89	R.95	R.125	R.143	R.126	R.134
SiO ₂	48.74	50.86	51.08	51.1	51.44	53.46	54.35	53.27	54.51	55.09	56
Al ₂ O ₃	17.72	14.94	15.32	15.9	16.24	14.11	15.57	18.14	19.1	18.55	19.16
CaO	6.61	7.83	7.66	7.06	6.81	6.03	5.54	4.35	2.95	3.6	2.64
MgO	5.39	5.62	5.22	6.12	4.79	5.47	4.86	1.44	2.28	1.65	1.71
TiO ₂	1.18	1.08	0.91	0.9	0.92	0.91	0.86	0.78	0.76	0.78	0.8
F ₂ O ₃	11.33	10.28	9	8.84	9.91	10.93	8.44	5.78	5.37	6.06	4.93
MnO	0.22	0.2	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
SO ₃	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
P ₂ O ₅	0.44	0.33	0.26	0.56	0.57	0.44	0.28	0.49	0.59	0.5	0.56
Na ₂ O	3.37	1.9	2.18	2.33	2.31	1.66	2.3	3.98	4.04	4.1	4.17
K ₂ O	1.52	2.12	2.1	3.29	3.1	3.93	2.49	5.16	6.19	5.21	5.27
SrO	0.12	0.1	0.23	0.13	0.12	0.13	0.11	0.17	0.15	0.19	0.13
CuO	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
LOI	3.17	4.53	5.77	3.59	3.59	2.77	5.1	6.25	3.86	4.06	4.44

سنگ‌نگاری

پس از بررسی‌های صحرایی، میکروسکوپی و زمین‌شیمیایی، سنگ‌های آتشفشانی محدوده کهدلان، بازالت، آندزیت، آن‌دزیت و تراکیت و سنگ‌های درونی، کوارتز سینیت، سینیت و مونوزوسینیت نام‌گذاری شدند.

بازالت

در صحرا و نمونه دستی، بازالت‌های محدوده کهدلان به رنگ خاکستری تیره (شکل‌های ۲-B و ۲-A) تا سیاه، پورفیریتیک و اندکی وزیکولار دیده می‌شوند و دگرسانی آنها از بسیاری از سنگ‌های این محدوده کمتر است. این سنگ‌ها رگچه‌های دگرسانی کوارتز، سریسیت و کربنات دارند. در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت اصلی بازالت‌ها، پورفیریتیک (شکل ۲-C) تا میکروکریستالین است. پلاژیوکلاز با ماکل پلی‌سینتتیک و کمی سریسیتی شده (نزدیک به ۶۰ درصدحجمی)، البوین‌های عمدتاً بی‌شکل و گاه نیمه‌شکل‌دار با حاشیه ایدنگزیتی شده (نزدیک به ۱۵ درصدحجمی) و پیروکسن‌های گاه اورالیتی‌شده (نزدیک به ۱۰ درصدحجمی) از

جدول ۲. داده‌های تجزیه سنگ‌های آذرین درونی کهدلان به روش XRF (اکسیدهای اصلی برپایه درصدوزنی؛ LOI (میزان مواد فرار) برپایه درصد).

Table 2. Analytical data of plutonic rocks from Kahdalan by the XRF method (major elements oxides in weight percent; LOI (Loss on Ignition) in percentage).

Petrography Sample No.	Syenite			Quartz Syenite	
	TR.24	R.119	TR.41	TR.10	R.129
SiO ₂	53.89	54.9	57.79	55.53	57.1
Al ₂ O ₃	20.12	19.05	17.9	17.91	19.19
CaO	4.28	3.35	3.71	4.75	3.45
MgO	1.65	2.86	0.8	1.38	0.8
TiO ₂	0.58	0.54	0.79	0.64	0.8
F ₂ O ₃	5.3	4.98	4.08	4.18	3.82
MnO	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
SO ₃	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075
P ₂ O ₅	0.72	0.63	0.57	0.62	0.72
Na ₂ O	3.82	2.67	2.83	2.64	2.48
K ₂ O	6.24	6.53	8.16	7.69	7.35
SrO	0.21	0.16	0.1	0.1	0.06
CuO	0.075	0.075	0.075	0.075	0.4
LOI	3	4.13	3.05	4.37	3.65
A/NK*	14.34	12.55	14.7	15.08	13.28
A/CNK**	1.40	1.51	1.21	1.18	1.44

اندیس شاند یا اندیس اشباع آلومینیم برپایه نسبت‌های مولی:

* A/NK: Al₂O₃ / (Na₂O + K₂O)

**A/CNK: Al₂O₃ / (CaO + Na₂O + K₂O)

در صدحجمی) (با حاشیه اکسید آهن) و همچنین، بیوتیت‌های پراکنده (کمتر از ۱ درصدحجمی) در زمینه ویتروفیری (شکل ۲-۲) را نام برد.

فنوکرست‌های اصلی (شکل ۲-۲) این سنگ‌ها به‌شمار می‌روند. از کانی‌های فرعی می‌توان کانی‌های کدر (کمتر از ۱۰ درصدحجمی)، آلکالی‌فلدسپار (کمتر از ۵



شکل ۲. A) نمایی از بازالت‌های محدوده کهدلان در صحرا؛ B) بازالت کهدلان در نمونه دستی؛ C) بافت پورفیریتیک در زمینه ویتروفیری در بازالت کهدلان در تصویر میکروسکوپی.

Figure 2. A) A field view of basalts from the Kahdelan area; B) Kahdelan basalt in hand specimen; C) the porphyritic texture and vitrophyric groundmass in the Kahdelan basalt in the Photomicrograph image.

و میکروولیتی (شکل ۳-۳) است.

آندزیت

آندزیت‌های کهدلان در صحرا و نمونه دستی (شکل‌های ۴-۴ و ۴-۵)، تیره رنگ، پورفیریتیک و وزیکولار هستند و نمای نادگرسان تا با دگرسانی بالا و رگچه‌های کلسیت و گاه سیلیس دارند. در بررسی‌های میکروسکوپی، پلاژیوکلازهای دگرسان‌شده یا با ماکل پلی‌سینتیک (نزدیک به ۷۰ درصدحجمی) به‌همراه پیروکسن‌های بسیار خردشده (نزدیک به ۲۰ درصدحجمی) در زمینه میکروولیتی (شکل ۴-۴) از فنوکرست‌های اصلی آن‌ها به‌شمار می‌روند. بافت آندزیت‌ها، پورفیریتیک و پویکیلیتیک (شکل ۴-۴) و کانی‌های فرعی شامل الیوین با حاشیه ایندنگزیتی‌شده (کمتر از ۵ درصدحجمی) و همچنین، کانی‌های کدر شکل‌دار تا بی‌شکل پراکنده (کمتر از ۵ درصدحجمی) در زمینه میکروولیتی (شکل ۴-۴) دیده می‌شوند.

تراکیت

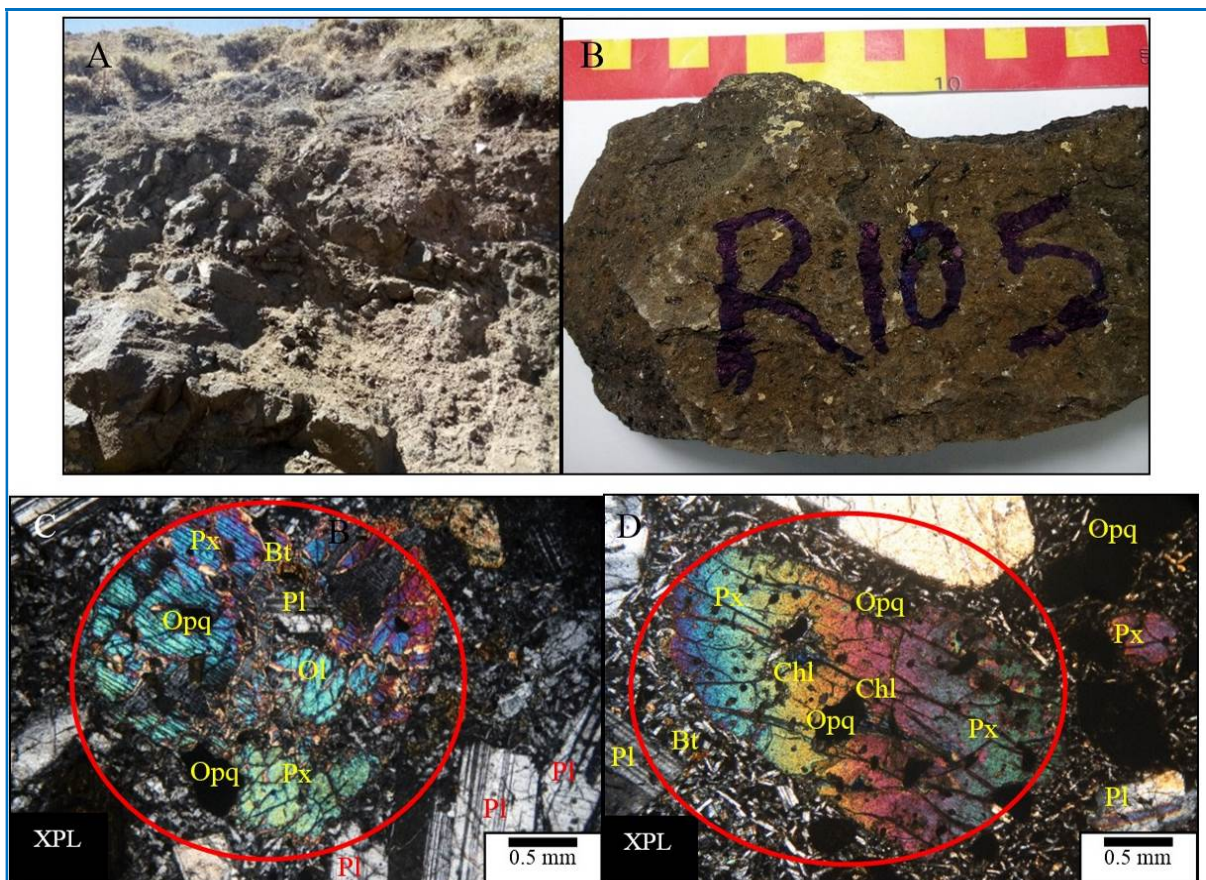
تراکیت‌های کهدلان در صحرا و نمونه دستی عموماً ظاهری محکم دارند و با ظاهری وزیکولار، گاه با رگه و

آندزیت‌بازالت

آندزیت‌بازالت‌های کهدلان در صحرا و نمونه دستی، ظاهری وزیکولار و پورفیریتیک (تا ۶۰ درصدحجمی فنوکرست‌های تیره) نشان می‌دهند (شکل‌های ۳-۴ و ۳-۵) و نمای نادگرسان تا با دگرسانی بالا همراه با رگچه‌های فراوان کلسیتی نشان می‌دهند. در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت‌های پورفیریتیک و پویی‌کیلیتیک (شکل‌های ۳-۴ و ۳-۵) و اینترسرتال (شکل ۳-۴) دیده می‌شوند. بافت کرونا بافت فرعی در برخی نمونه‌های آندزیت‌بازالتی است (شکل ۳-۴). پلاژیوکلاز (بیشتر آنها درشت‌بلور، با بافت غربالی، خردشده و ماکل پلی‌سینتیک هستند) (نزدیک به ۶۵ درصدحجمی)، کلینوپیروکسن (نزدیک به ۱۵ درصدحجمی) و بیوتیت (نزدیک به ۱۰ درصدحجمی) از کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها هستند. الیوین‌های بی‌شکل (گاه در حال ایندنگزیتی‌شدن) (کمتر از ۵ درصدحجمی) و کانی‌های کدر به شکل‌های گوناگون (شکل‌دار و بی‌شکل و در حال اکسیدشدن) (کمتر از ۵ درصدحجمی) از کانی‌های فرعی این سنگ‌ها به‌شمار می‌روند. زمینه آندزیت‌بازالت‌ها ویتروفیری (شکل ۳-۴)

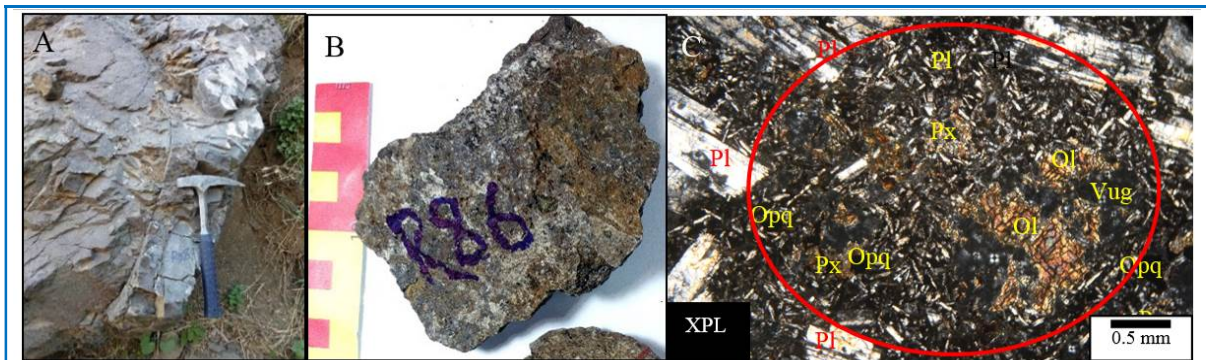
(نزدیک به ۱۰ درصد حجمی) از کانی‌های اصلی سازنده تراکیت‌ها هستند. کانی‌های کدر (حداکثر تا ۱۰ درصد حجمی)، اپیدوت (حداکثر تا ۵ درصد حجمی) و آمفیبول (حداکثر تا ۵ درصد حجمی) نیز از کانی‌های فرعی آنها به‌شمار می‌روند. بافت تراکیت‌ها پورفیری و تراکیتی در زمینه‌ای از میکروولیت‌های آلکالی‌فلدسپار است. این تراکیت‌ها دگرسانی‌های کلسیتی و سریسیتی نشان می‌دهند (شکل‌های C-۵ و D-۵).

رگچه‌های ظریف کلسیت دیده می‌شوند (شکل‌های ۵- B و A). بیشتر تراکیت‌های دیده‌شده در اطراف توده‌های آذرین درونی سینیت تا کوارتز سینیت و همچنین، در کنار آندزیت و بازالت‌ها دیده شدند. در بررسی‌های میکروسکوپی، آلکالی‌فلدسپار (نزدیک به ۶۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز در شکل‌های گوناگون مانند غربالی، دگرسان‌شده و با درز و شکاف فراوان و کلسیتی‌شده (نزدیک به ۱۰ درصد حجمی)، بیوتیت



شکل ۳. A. نمای از آندزیت‌بازالت محدوده کهدلان در صحرا؛ **B** در نمونه دستی با ظاهر پورفیریتیک و وزیکولار؛ **C** تصویر میکروسکوپی از فنوکریست درشت الیون در تماس با پیروکسن که با بافت پویی کیلیتیک (دایره قرمز) (با حضور بیوتیت، پلاژیوکلاز و کانی کدر)، پورفیریتیک و اینترستال در نمونه آندزیت‌بازالت کهدلان؛ **D** فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن با حاشیه دگرسان‌شده به‌صورت بافت کرنا (دایره قرمز)، پویی کیلیتیک (با حضور کلریت و کانی‌های کدر شکل‌دار و نیمه‌شکل‌دار) و پورفیریتیک در زمینه‌ای میکروولیتی.

Figure 3. A) A field view of Kahdelan basaltic andesite; **A)** A hand specimen of basaltic andesites from Kahdelan with porphyritic and vesicular appearance; **C)** Photomicrograph of a coarse olivine phenocryst in contact with a pyroxene with poikilitic texture (the red circle) (characterized by the presence of biotite, plagioclase, and opaque mineral), besides porphyritic and intersertal textures in a basaltic andesite sample; **D)** Plagioclase and pyroxene phenocrysts with altered margins as corona (red circle) and poikilitic (with the presence of chlorite and euhedral and subhedral opaque minerals) and porphyritic texture in a microlithic groundmass.



شکل ۴.۴. (A) نمای از آندزیت‌های محدوده کهدلان در صحرا؛ (B) در نمونه دستی؛ (C) بافت پورفیریتیک و پوکیلیتیک در زمینه‌ای میکرولیتی.

Figure 4. A) A field view of Kahdelan andesite; B) A hand specimen of Kahdelan andesites; C) Photomicrograph of Kahdelan andesite sample with porphyritic and poikilitic textures in a microlithic groundmass.



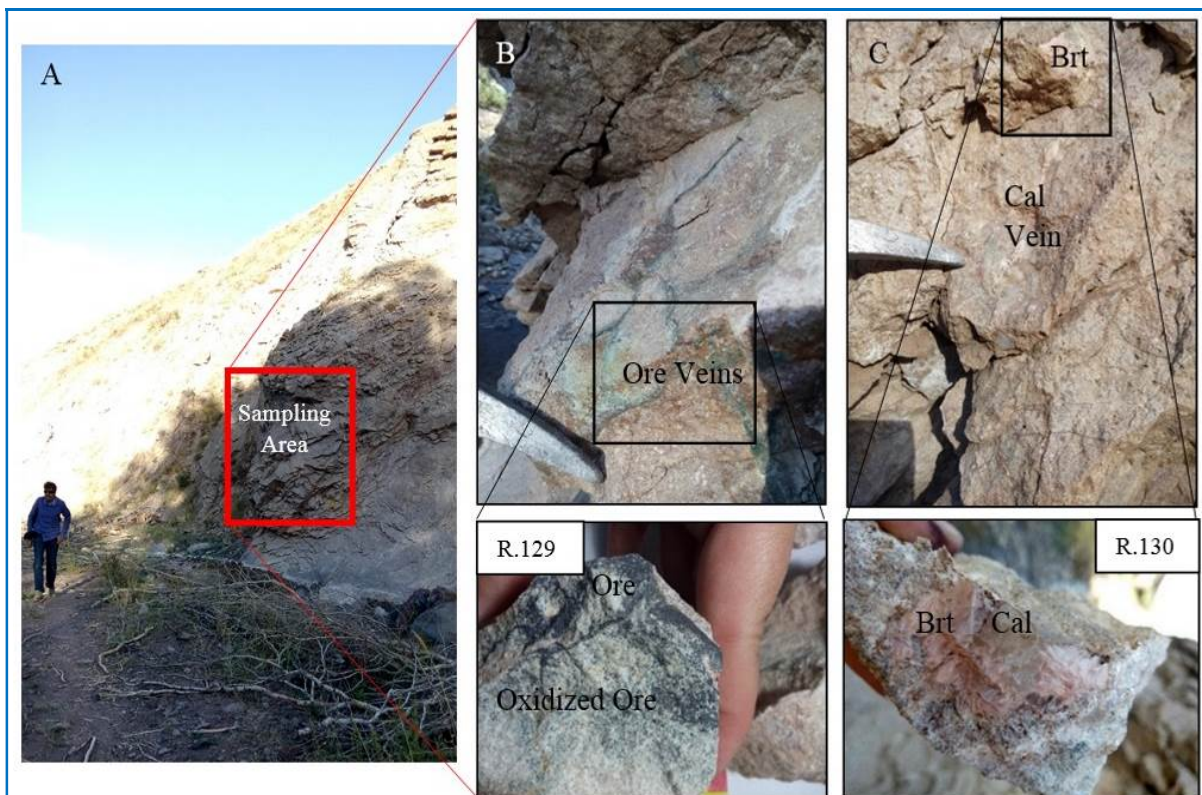
شکل ۵.۵. (A) نمای از تراکیت‌های محدوده کهدلان در صحرا؛ (B) در نمونه دستی با بافت وزیکولار؛ (C) آلکالی‌فلدسپار به همراه کانی‌های کدر و بیوتیت‌های ریزدانه و پراکنده، یک رگچه کلسیتی و یک رگچه سریسیتی در تراکیت؛ (D) آمفیبول دگرسان‌شده در تراکیت کهدلان (Vug: حفره).

Figure 5. A,) A field view of Kahdelan trachyte; B) A hand specimen of Kahdelan trachyte with vesicular appearance; C) Photomicrograph of Kahdelan trachyte sample with opaque minerals, fine-grained and scattered biotites, a calcite veinlet, and a sericite veinlet; D) An altered amphibole in the Kahdelan trachyte.

آثار فراوانی از نئوتسایت در سطح آنها دیده می‌شوند. رگچه‌های اکسید آهن در صحرا و نمونه دستی و مقاطع نازک به خوبی دیده می‌شوند. در نمونه R.129، رگچه کانه‌دار با کانه‌های ثانویه مس در همراهی با رگه کلسیت و باریت دیده می‌شود (شکل‌های A-۶ و B-۶).

کوارتز سینیت

کوارتز سینیت‌های کهدلان، در صحرا و نمونه دستی به رنگ روشن با کانی‌های کدر فراوان دیده می‌شوند و شدت دگرسانی در آنها از کم تا بسیار در نوسان است. همچنین، آثار اکسیدهای آهن مانند هماتیت و گوتیت و

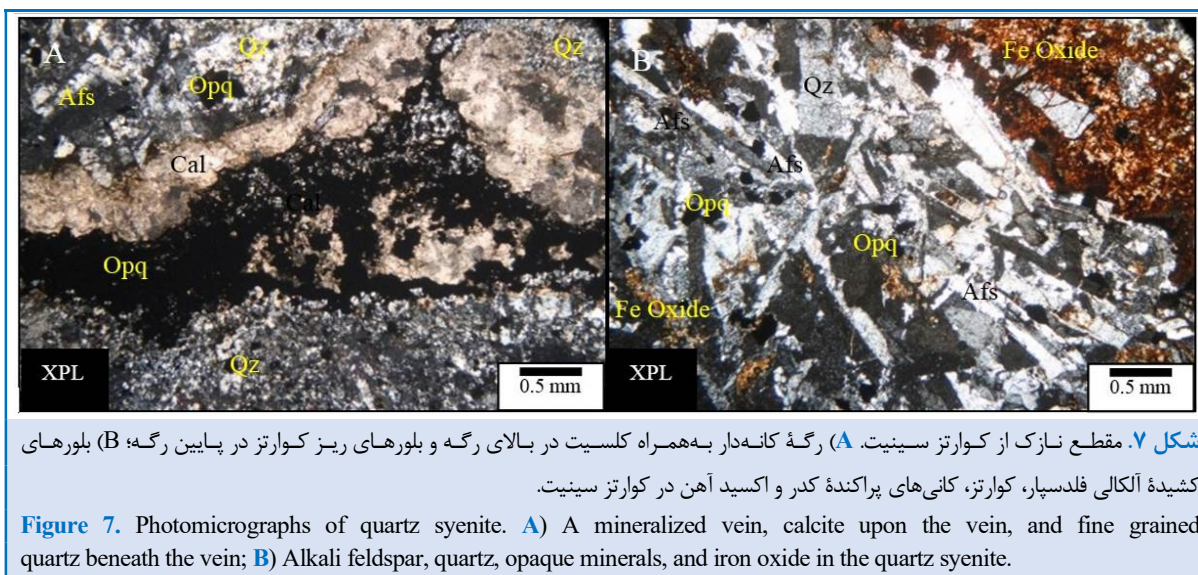


شکل ۶. A) نمای سینیت و کوارتز سینیت؛ B) کوارتز سینیت با کانه‌زایی مس (نمونه شماره R.129)؛ C) سینیت با کلسیت و باریت (نمونه شماره R.130) (Brt: باریت؛ Cal: کلسیت).

Figure 6. A) A field view of Kahdelan syenites and quartz syenites; B) Quartz syenites with mineralization (Sample R.129); C) Syenite with calcite and barite and without mineralization (Sample R.130).

گرانولار، گلومروپورفیری، رگچه‌های برشی همراه با کانی‌های کدر و رگه-رگچه‌ای به همراه بلورهای کلسیت و باریت از بافت‌های کوارتز سینیت‌ها هستند. دگرسانی کربناتی به صورت رگچه‌های کلسیتی و کمتر به صورت کربناتی شدن به همراه دگرسانی سیلیسی شدن از دگرسانی‌های غالب در کوارتز سینیت‌ها به شمار می‌روند. اکسید آهن در همه کوارتز سینیت‌ها به صورت فراگیر دیده می‌شود (شکل‌های A-۷ و B-۷).

در بررسی‌های میکروسکوپی، آلکالی‌فلدسپارهای سالم تا دگرسان‌شده (نزدیک به ۷۰ درصد حجمی) و کوارتزهای پلی‌کریستالین (به خصوص در حاشیه رگچه‌ها) تا بلوری (نزدیک به ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی) از کانی‌های اصلی سازنده کوارتز سینیت‌ها هستند. در برخی نمونه‌ها، کانی‌های کدر (نزدیک به ۱۰ درصد حجمی) با حاشیه اکسید آهن و بیوتیت (کمتر از ۱ درصد حجمی) از کانی‌های فرعی به شمار می‌روند. بافت‌های



شکل ۷. مقطع نازک از کوارتز سینیت. (A) رگه کانه‌دار به‌همراه کلسیت در بالای رگه و بلورهای ریز کوارتز در پایین رگه؛ (B) بلورهای کشیده آلکالی فلدسپار، کوارتز، کانی‌های پراکنده کدر و اکسید آهن در کوارتز سینیت.

Figure 7. Photomicrographs of quartz syenite. A) A mineralized vein, calcite upon the vein, and fine grained quartz beneath the vein; B) Alkali feldspar, quartz, opaque minerals, and iron oxide in the quartz syenite.

کهدلان، این محلول‌های فرورو بخش عمده پیریت‌ها را شسته‌اند و اکسید و هیدروکسیدهای آهن را به‌همراه مقادیر متفاوت مالاکیت و نئوتسایت برجای گذاشته‌اند. باتوجه‌به شواهدی مانند مارتیتی شدن، حضور هماتیت (شکل ۸- C) و سولفات (شکل ۶- C) و نبود پیروتیت، این توده‌های آذرین درونی از تیپ I هستند (Shahabpour, 2008).

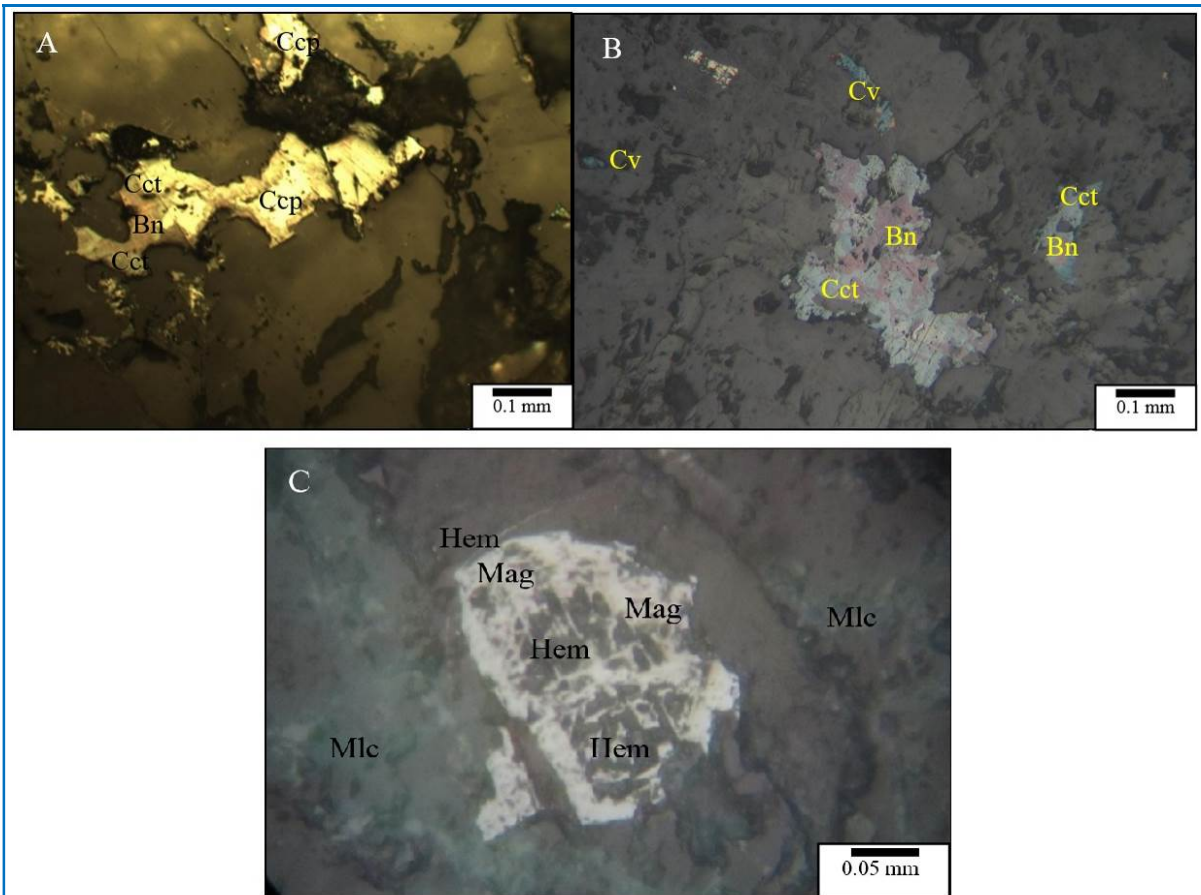
سینیت

توده‌های سینیتی محدوده کهدلان در صحرا و نمونه دست‌ساز، با رنگ روشن (شکل‌های ۹- A و ۶- C) و بلورهای درشت آلکالی‌فلدسپار و همچنین، دانه‌های کدر ریز و پراکنده دیده می‌شوند (شکل ۹- B). در بررسی‌های میکروسکوپی کانی اصلی سینیت‌ها آلکالی‌فلدسپار با ماکل کارلسباد (نزدیک به ۹۰ درصد حجمی) است (شکل ۹- C). کانی‌های فرعی شامل کانی‌های کدر شکل‌دار تا بی‌شکل با آثار اکسید آهن (نزدیک به ۵ درصد حجمی)، کوارتز (کمتر از ۱ درصد حجمی) و مقدارهای اندکی از پلاژیوکلاز یا قالب‌های بجامانده‌ای از پلاژیوکلاز و مقدارهای اندکی از بیوتیت و کلریت (روی هم‌رفته کمتر از ۵ درصد حجمی) نیز دیده شدند. در سینیت‌ها می‌توان دگرسانی کربناتی را شناسایی کرد.

برپایه بررسی‌های مقاطع صیقلی و نازک-صیقلی، کانه‌های اولیه اصلی در محدوده کهدلان شامل کالکوپیریت، بونیت و مگنتیت و کانه‌های ثانویه شامل کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و هماتیت هستند که به‌صورت بخشی تا کامل جانشین کانه‌های اولیه شده‌اند (شکل‌های ۸- A و ۸- B). بخش عمده مگنتیت‌ها مارتیتی شده‌اند (شکل ۸- C) هستند. از بافت‌های رایج در بخش‌های کانه‌دار می‌توان پراکنده‌دانه و افشان، پراکنده فضای خالی، جانشینی و برشی را نام برد.

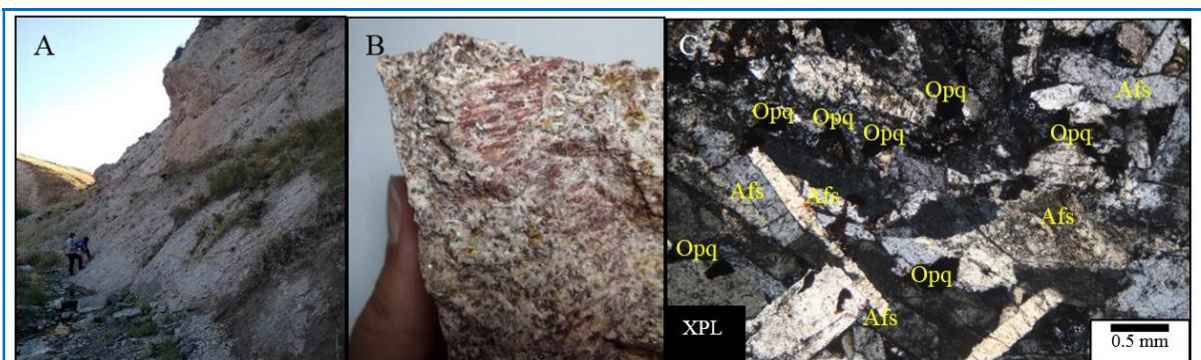
کانه‌زایی مس دیده‌شده در محدوده کهدلان، در کوارتز سینیت‌ها و همچنین، تراکیتهای اطراف آن‌ها رخ داده است و در رگچه‌های کانه‌دار کوارتز سینیت‌ها، تا حداکثر ۲۳۰۵۳۴ ppm (برابری ۲۳/۰۵ درصد حجمی) مس نیز مشاهده شد. در این کوارتز سینیت‌ها غنی‌شدگی رخ داده‌است که عمده‌ترین پیامد هوازدگی به‌شمار می‌رود و به‌علت نفوذ آب‌های جوی پایین‌رو درون واحدهای آذرین کانه‌دار تا سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد (Robb, 2005). غنی‌شدگی سولفیدی سوپرژن نقش مهمی در اقتصادی‌شدن کانسارهای مس پورفیری دارد و می‌تواند عیار و تناژ قابل‌قبولی را فراهم کند (Titely, 1982).

واکنش میان مس در محلول‌های سوپرژن فرورو با سولفیدها باعث ته‌نشست کالکوسیت می‌شود و در ادامه کالکوسیت نیز با کولیت جایگزین می‌شود. در محدوده



شکل ۸. نمایی از مقاطع صیقلی کوارتز سینیت. (A) کالکوپیریت و بورنیت که توسط کالکوسیت جانشین شده‌اند؛ (B) کالکوسیت، بورنیت و کوولیت؛ (C) مارتیتی شدن مگنتیت در کوارتز سینیت.

Figure 8. Photomicrograph of polished sections of quartz syenite; A) Chalcopyrite and bornite replaced by chalcocite; B) Chalcocite, bornite, and covellite; C) Martitization of magnetite in quartz syenite.



شکل ۹. (A) نمایی از سینیت‌های شمال محدوده کهدلان با ظاهری محکم و صخره‌ساز؛ (B) بلورهای آلکالی فلدسپار در نمونه دستی سینیت؛ (C) بلورهای آلکالی فلدسپار دگرسان شده به همراه آثار اکسید آهن.

Figure 9. A) Field outcrop of syenites from the Kahdelan with blocky appearance; B) Alkali feldspar in the hand specimen of a syenite; C) Altered alkali feldspar crystals with iron oxide.

درصدحجمی) و بیوتیت (نزدیک به ۱۰ درصدحجمی)، است. کانی‌های فرعی مونزوسینیت‌ها شامل کانی‌های کدر نیمه‌شکل‌دار (نزدیک به ۵ درصدحجمی)، پیروکسن‌های ریز و پراکنده (کمتر از ۵ درصدحجمی)، اپیدوت، بیوتیت و آمفیبول (روی‌هم‌رفته کمتر از ۵ درصدحجمی) هستند. بافت این سنگ‌ها گلو‌مروپورفیری و پویی‌کیلیتیک است (شکل ۱۰-۱C). دگرسانی‌های مونزوسینیت‌ها شامل سریسیتی و کلسیتی هستند که به‌ویژه در پیرامون کانی‌های کدر دیده می‌شوند.

مونزوسینیت

مونزوسینیت‌های کهدلان، در صحرا و نمونه‌دستی، با رنگ خاکستری (شکل‌های ۱۰-A و ۱۰-B) به‌همراه کانی‌های کدر، آثار اکسیدهای آهن و تجمعات آلکالی‌فلدسپار (شکل ۱۰-B) شناسایی می‌شوند. در بررسی‌های میکروسکوپی کانی‌های اصلی مونزوسینیت‌های کهدلان شامل آلکالی‌فلدسپار (با اندازه‌های گوناگون تا نزدیک به ۶۵ درصدحجمی)، پلاژیوکلازهای دگرسان‌شده با ماکل پلی‌سینتیک یا ظاهر غربالی (نزدیک به ۱۰



شکل ۱۰.۱A) نمای از مونزوسینیت‌های محدوده مورد بررسی در صحرا. B) آثار اکسیدهای آهن در سطح شکسته‌شده یک مونزوسینیت؛ C) بلور آمفیبول در بین آلکالی‌فلدسپارهای درشت و دگرسان‌شده، بیوتیت و کانی‌های کدر.

Figure 10. A) Field outcrop of monzosyenite from the study area. B) Iron oxide traces on the broken surface of a monzosyenite; C) Amphibole crystal among coarse and altered alkali feldspars, biotite, and opaque minerals.

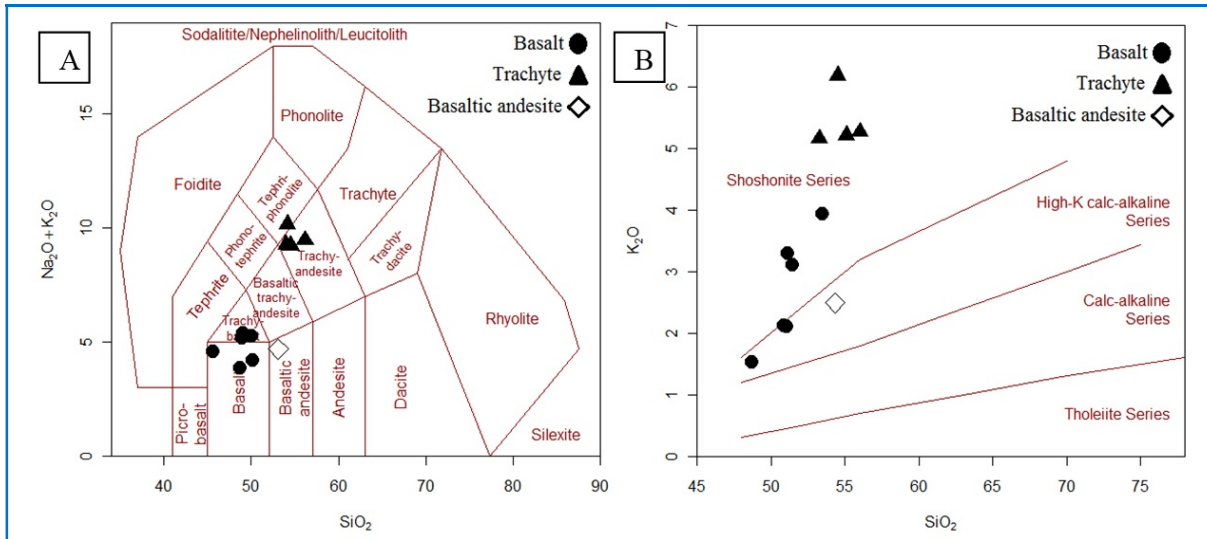
و تیلر (Peccerillo and Taylor, 1976) آن را پیشنهاد کرده‌اند، سنگ‌های آتشفشانی محدوده کهدلان، پتاسیم کمابیش بالایی نشان می‌دهند و در محدوده سری‌های کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی جای می‌گیرند (شکل ۱۱-B).

داده‌های به‌دست‌آمده از تجزیه اکسیدهای اصلی و فرعی سنگ‌های درونی کهدلان برپایه روش XRF، مقدار SiO_2 را ۵۳ تا ۵۷ درصدوزنی نشان می‌دهد (جدول ۲). برای نام‌گذاری این سنگ‌ها از نمودار پیشنهادی کاکس و همکاران (Cox et al., 1979) بهره گرفته شد که با به‌کارگیری نسبت SiO_2 در برابر مجموع $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ طراحی شده‌است و برپایه این نمودار، سنگ‌های درونی کهدلان در محدوده سینیت جانمایی شدند (شکل ۱۲).

بحث

الف) زمین‌شیمی سنگ کل (عنصرهای اصلی و فرعی)

برپایه داده‌های به‌دست آمده از تجزیه اکسیدهای اصلی و فرعی سنگ‌های آتشفشانی کهدلان به روش XRF، مقدار SiO_2 در این سنگ‌ها برابر با ۴۸ تا ۵۶ درصدوزنی است (جدول ۱). برای نام‌گذاری این سنگ‌ها از نمودار پیشنهادی میدلموست (Middlemost, 1994) بهره‌گرفته‌شد. این نمودار برپایه مجموع آلکالی در برابر سیلیس طراحی شده‌است. در این نمودار، سنگ‌های آتشفشانی کهدلان در محدوده بازالت تا تراکی‌بازالت، آندزیت‌بازالت و تراکیت تا تفری‌فنولیت جای می‌گیرند (شکل ۱۱-A). در نمودار SiO_2 در برابر K_2O که پسریلو



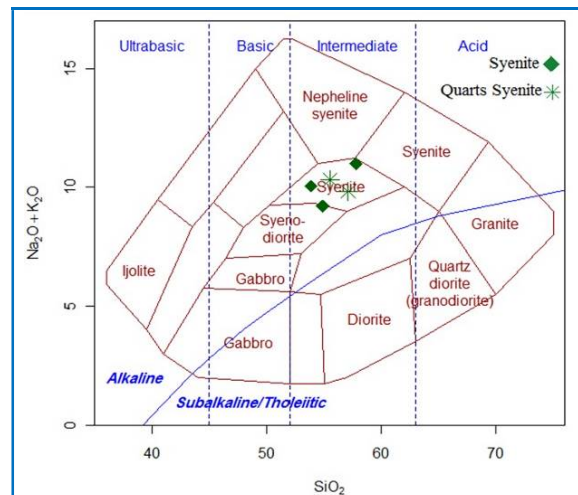
شکل ۱۱. نمودارهای اکسیدهای اصلی برای نام‌گذاری و تعیین سری‌های ماگمایی سنگ‌های آذرین بیرونی کهدلان. (A) نمودار TAS (Middlemost, 1994); (B) نمودار $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Peccerillo and Tylor, 1976).

Figure 11. Major elements oxides diagrams for naming and determining magmatic series of the volcanic rocks of Kahdelan. A) TAS diagram (Middlemost, 1994); B) $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ diagram (Peccerillo and Tylor, 1976).

و تیپ S (White and Chappell, 1977) دسته‌بندی می‌شوند که ماگماهای تیپ I با سرشت کالک‌آلکان، توان کانه‌زایی بالایی برای فلزات پایه و سری مگنتیتی، توان کانه‌زایی سولفیدی دارند (Shahabpour, 2008; Pirajno, 2009). در این بخش با کمک فاکتورهای زمین‌شیمیایی، توان کانه‌زایی مس در ارتباط با توده‌های آذرین درونی محدوده کهدلان ارزیابی می‌شود.

برپایه تجزیه زمین‌شیمیایی عنصرهای فرعی، کمیاب و خاکی نادر توده‌های آذرین درونی (پیوست ۱)، محیط زمین‌ساختی این سنگ‌ها، در نمودار سه‌تایی Hf-Rb/30-3Ta (شکل ۱۳- A) در سیستم‌های کماتی و سیستم‌های فرورانش^۴ جای می‌گیرند که نشان‌دهنده گرانیت‌های نوع I است (Karimpour, 2009). در نمودار دوتایی Y+Nb در برابر Rb برای تعیین موقعیت زمین‌ساختی (شکل ۱۳- B)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده گرانیتوئیدهای پهنه آتشفشانی (VAG) جای می‌گیرند که نشان‌دهنده پهنه فرورانش و گرانیتوئیدهای نوع I با طبیعت متاآلمین و کالک‌آلکان است (Karimpour, 2009). در نمودار تعیین موقعیت زمین‌ساختی Ta در برابر Th (شکل ۱۳- C)،

⁴ Arc systems



شکل ۱۲. نمودار اکسیدهای اصلی سنگ‌های درونی کهدلان در نمودار SiO_2 در برابر مجموع $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (Cox et al., 1979).

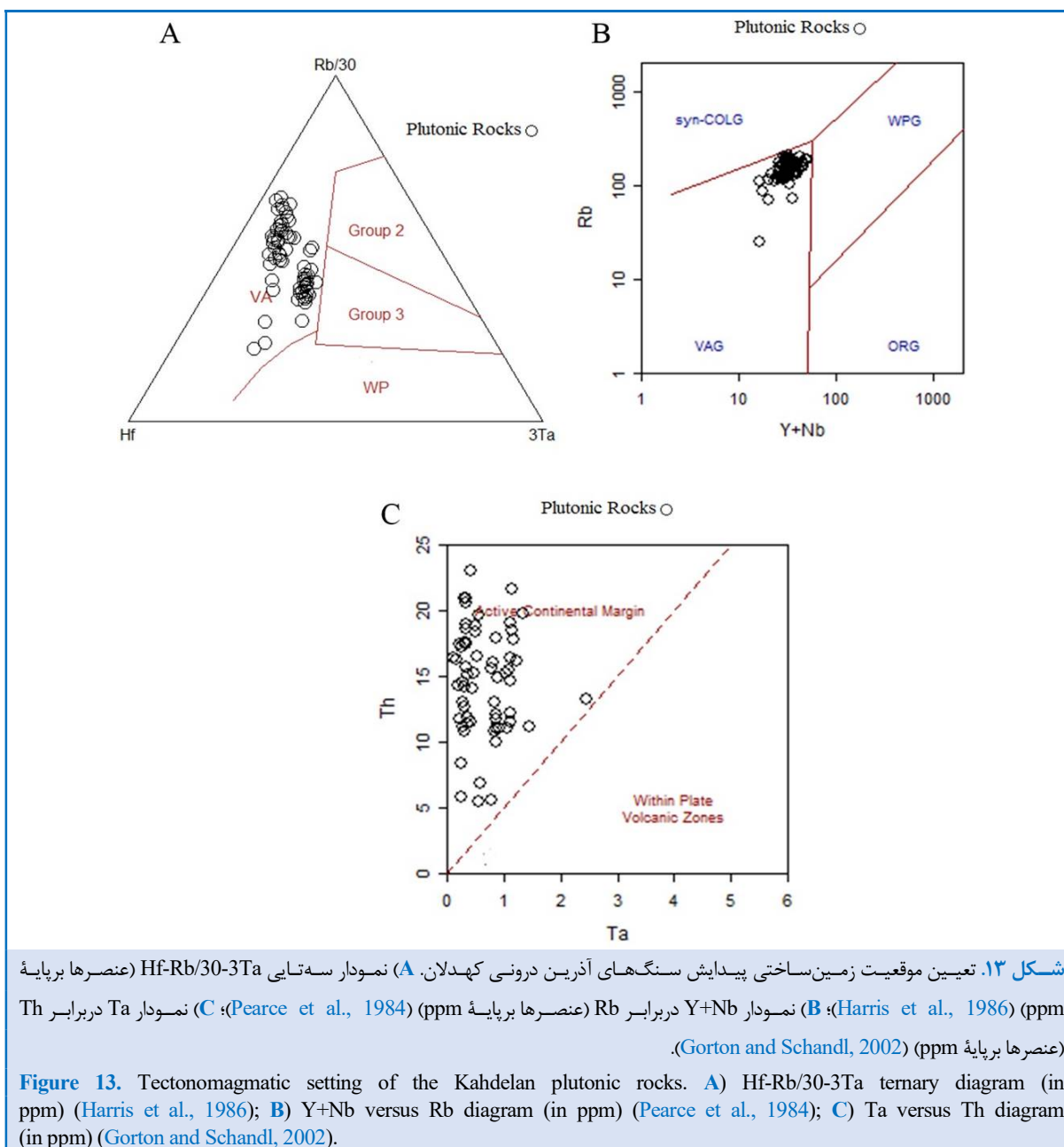
Figure 12. Major elements oxides diagram of plutonic rocks from Kahdelan in total alkalis versus SiO_2 diagram (Cox et al., 1979).

ب) زمین‌شیمی عنصرهای کمیاب و خاکی نادر

گرانیتوئیدها برپایه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی به دو دسته ایلمنیتی (در محیط‌های کششی) و مگنتیتی (در محیط‌های فشارشی) (Ishihara, 1981) و همچنین، تیپ I

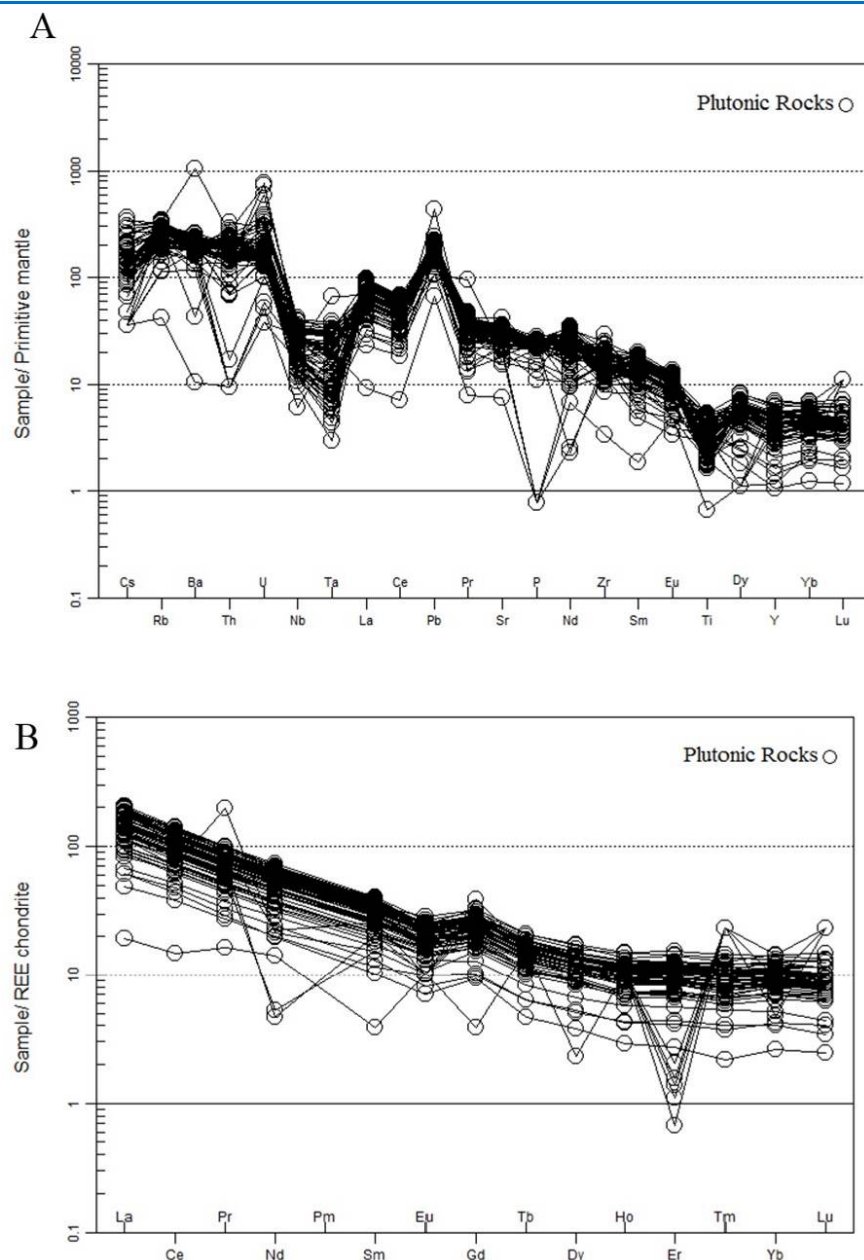
فوران سنگ‌های آلکالن هستند. به باور قربانی و رسولی (Ghorbani and Rasouli, 2012) سنگ‌های با پتاسیم بالا حاصل ذوب‌بخشی سنگ‌های غنی از پتاسیم و دیگر عنصرهای ناسازگار هستند. همچنین، در برخی بخش‌های گوشته تمرکز اندکی از عنصرهای ناسازگار دیده می‌شود؛ اما در حال نقش سنگ مادر سازنده این سنگ‌ها نیز اهمیت دارد.

بیشتر نمونه‌ها در حاشیه‌های فعال قاره‌ای جای گرفته‌اند. با توجه به هدم مشاهده لوپسیت، می‌توان گفت این سنگ‌ها حاصل فرورانش جزیره‌های کمانی هستند (Middlemost, 1985). برپایه شواهد موجود، پلوتونیسیم در این محدوده به صورت کمانی و مرتبط با کمان‌های پسابروردی بوده است. به باور قربانی (Ghorbani, 2007)، سینیت‌های معمولی بزقوش نشان‌دهنده خم‌شدن پلوم گوشته‌ای و



می‌شود. غنی‌شدگی Pb به همراه U، می‌تواند نشان‌دهنده نقش پوسته در پتروژنز این سنگ‌ها باشد (Ghorbani and Rasouli, 2012). تهی‌شدگی P می‌تواند پیامد تبلور آپاتیت از ماگمای مادر باشد (Pearce and Parkinson, 1993).

الگوی پراکندگی عنصرهای فرعی و کمیاب که نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند (McDonough and Sun, 1995)، در شکل ۱۴-A دیده می‌شود. تهی‌شدگی تیتانیوم به دلیل پایین بودن فوگاسیته اکسیژن در پهنه‌های فرورانش دیده



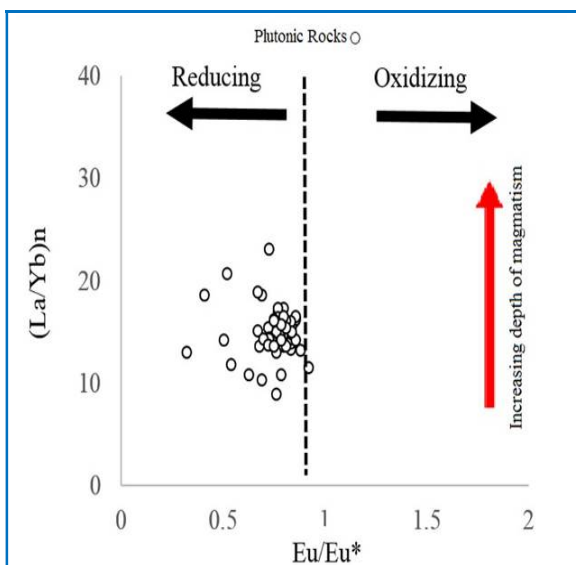
شکل ۱۴. A) نمودار عنکبوتی بهنجار شده به ترکیب گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995)؛ B) نمودار عنصرهای کمیاب خاکی بهنجار شده به ترکیب کندریت (Boynton, 1984).

Figure 14. A) Primitive mantle-normalized spider diagram (McDonough and Sun, 1995); B) Chondrite-normalized rare earth elements diagram (Boynton, 1984).

کانسارهای مس پورفیری پهنه ماگمایی ساوه-ناین-جیرفت و ارومیه-دختر را نشان می‌دهد و به توده‌های نابارور نزدیک‌تر است.

نسبت $(La/Yb)_n$ در کانسارهای مس پورفیری پهنه ماگمایی ساوه-ناین-جیرفت برابر با ۱۵ تا ۳۸ و در توده‌های نابارور برابر با ۲ تا ۱۴ (و اغلب زیر ۱۰) است (Karimpour et al., 2021). این نسبت برای سنگ‌های آذرین درونی کهدلان، برابر با ۴/۰۵ تا ۲۳/۱۷ (میانگین: ۱۸/۴۲) است.

برپایه نمودار Eu/Eu^* در برابر $(La/Yb)_n$ (شکل ۱۵) نمونه‌ها بیشتر در بخش احیایی و بدون کانه‌زایی جای می‌گیرند. ژرفای ماگما در توده‌های آذرین درونی کهدلان بین مناطق نابارور و بارور است؛ اما تراکم نمونه‌ها در بخش احیایی با ژرفای متوسط (منطبق با آنومالی منفی Eu^{2+} در نمودار عنکبوتی شکل؛ شکل‌های A-۱۴ و B-۱۴) بیشتر است.



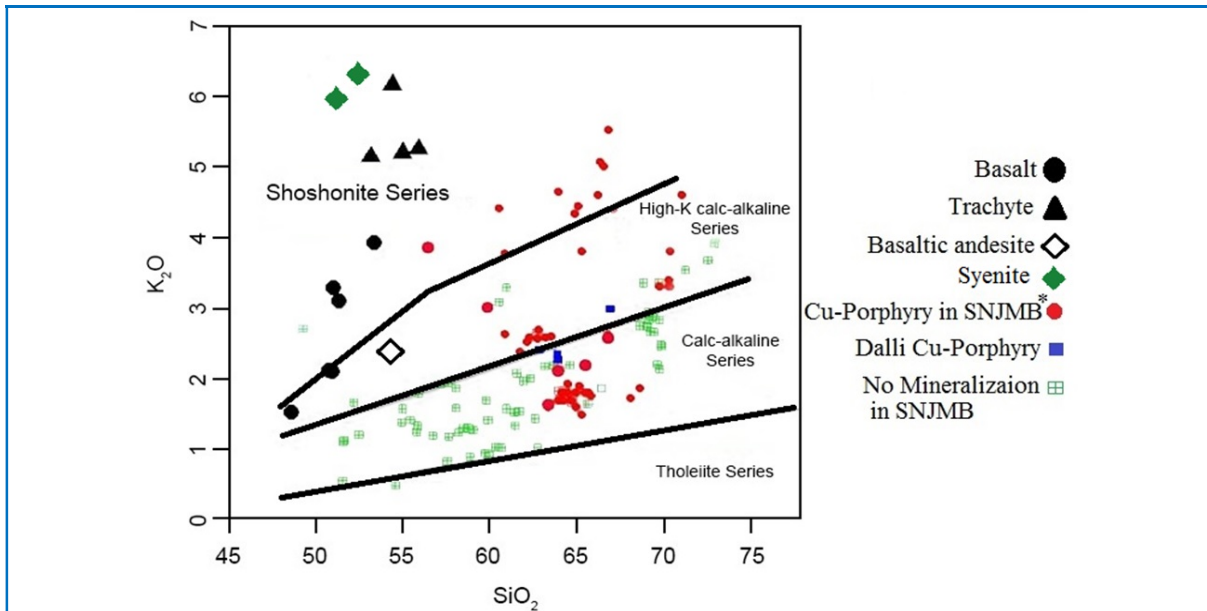
شکل ۱۵. نمودار Eu/Eu^* در برابر $(La/Yb)_n$ برای تفکیک شرایط اکسایش در سنگ‌های درونی کهدلان (Karimpour et al., 2021).

Figure 15. Eu/Eu^* versus $(La/Yb)_n$ diagram, demonstrating the oxidation state of plutonic rocks of Kahdelan (Karimpour et al., 2021).

در شکل ۱۴-B، الگوی پراکندگی عنصرهای خاکی نادر آورده شده است. غنی‌شدگی در LREE که با شیب بسیار به HREE می‌رسد چه‌بسا گویای ذوب‌بخشی اندک یا جدایش کانی‌های HREE در مراحل نخست تبلور ماگما، وجود کانی‌های اسپینل، گارنت یا هورنبلند در سنگ خاستگاه (Rollinson, 1993) و یا آرایش ماگما با مواد پوسته ای است (Almeida et al., 2007). آنومالی منفی Eu نشان‌دهنده حذف مقادیری از Eu^{2+} از نمونه‌ها و نشان‌دهنده احیایی بودن ماگما است. سرعت افت شیب نمودار و نزدیک‌تر بودن عنصرهای LREE و دور بودن عنصرهای HREE به یکدیگر همانند کانسارهای مس پورفیری پهنه ماگمایی ساوه-ناین-جیرفت (Karimpour et al., 2021) هستند.

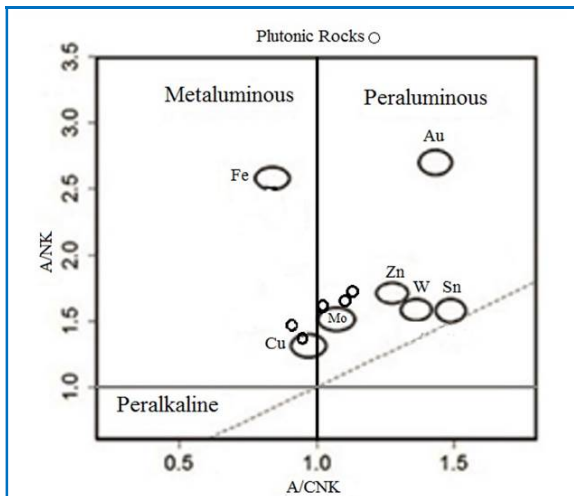
از آنجایی که سیستم‌های مس پورفیری در پی تزریق ماگماهای اکسیدان غنی از گوگرد و فلز رخ می‌دهند (Sillitoe, 2010)، نسبت‌های Eu/Eu^* و $(La/Yb)_n$ (پیوست ۱) به کار برده شدند. این مقادارها در ارزیابی احیایی یا اکسیدان بودن ماگمای سازنده گرانیتوئیدها و بررسی نسبت حدودی تغییر ژرفا کاربرد دارند (شکل ۱۵).

برپایه بررسی‌های زمین‌شیمیایی، نسبت Eu/Eu^* در کانسارهای مس پورفیری پهنه ماگمایی ساوه-ناین-جیرفت (Karimpour et al., 2021) از ۰/۸۲ تا ۱/۳ (میانگین: ۱/۲) است که برپایه داده‌های زراسوندی و همکاران (Zarasvandi et al., 2015) این محدوده از کانسارهای بارور پهنه ارومیه-دختر، با نسبت Eu/Eu^* برابر با ۰/۴۵ تا ۱/۶۷ است. نسبت Eu/Eu^* در توده‌های نابارور مقداری از ۰/۴۳ تا ۱ (میانگین: ۰/۶۵) را نشان می‌دهد. در محدوده کهدلان این نسبت برابر با ۰/۳۲ تا ۲/۶۵ با میانگین ۰/۸ است که محدوده‌ای وسیع‌تر و بالاتر از



شکل ۱۶. نمودار $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Peccerillo and Tylor, 1976) برای سنگ‌های آذرین درونی و آتشفشانی در کهدلان در مقایسه با کنسارهای نابارور و بارور پهنه ماگمایی ساوه-نابین-جیرفت (SNJMB) (Karimpour et al., 2021).

Figure 16. $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ diagram (Peccerillo and Tylor, 1976) for plutonic and volcanic rocks from Kahdalan in comparison with porphyry-bearing and barren granitoids in SNJMB (Saveh-Naein-Jiroft Magmatic Belt) (Karimpour et al., 2021).



شکل ۱۷. تعیین وضعیت اشباع‌شدگی آلومین در سنگ‌های درونی کهدلان در نمودار A/CNK در برابر A/NK (Shand, 1943) (محدوده‌های کنسارهای فلزی برگرفته از: Meinert (1943) (1995); Omidianfar et al. (2020)).

Figure 17. Determination of alumina saturation state in the plutonic rocks of Kahdalan in A/CNK versus A/NK diagram (Shand, 1943) (ranges of metal ore deposits from: Meinert (1995); Omidianfar et al. (2020)).

در نمودار $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ (Peccerillo and Tylor, 1976)، سنگ‌های آذرین درونی و آتشفشانی کهدلان در منطقه کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی جای می‌گیرند (شکل ۱۶) و با گرانیتوئیدهای بارور میوسن متفاوت هستند. تفاوت اصلی در نمونه‌های محدوده کهدلان و کنسارهای مس پهنه ماگمایی ساوه - نابین - جیرفت (Karimpour et al., 2021)، بالابودن آلکالینیت سنگ‌های آذرین درونی و کم‌بودن SiO_2 در سنگ‌های کهدلان است که برابر با ۴۸ تا ۵۷ درصدوزنی است و به‌روشنی از کنسارهای مس کمتر است.

برپایه نمودار نسبت‌های مولی A/CNK در برابر A/NK (Shand, 1943) که نشان‌دهنده وضعیت اشباع‌شدگی آلومین است (شکل ۱۷؛ جدول ۲) سنگ‌های درونی کهدلان در محدوده متاآلومین تا پراآلومین جای می‌گیرند. ادغام این نمودار با محدوده‌های کنسارهای فلزی گوناگون (Meinert, 1995; Omidianfar et al., 2020) نشان می‌دهد در کهدلان احتمال رخداد کانی‌زایی مس وجود دارد.

برداشت

در مقایسه با دیگر کانی‌های تیره اکسیدی، حضور هماتیت و سولفات، ماریتی شدن مگنتیت‌ها به همراه عدم حضور پیروتیت و زیرکن و عدم همراهی با سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای گواهی بر این ادعا هستند. همچنین، نمودارهای موقعیت زمین‌ساختی، گویای گرانیتوئیدهای سیستم‌های کم‌انرژی و سیستم‌های فرورانش حاشیه‌قاره هستند که از شواهد تیپ I هستند.

ویژگی یادشده همراه با بررسی‌های صحرایی، بررسی نمودارهای مرتبط با باروری توده‌های آذرین درونی و همچنین، عیار مس در رگچه‌ها که تا ۲۳۰۵۳۴ ppm می‌رسد، گویای حضور احتمالی کانی‌سازی مس در این منطقه هستند. از این رو، بررسی توان کانه‌زایی در این گرانیتوئیدها اهمیت ویژه‌ای دارد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان این مقاله از مدیریت بخش اکتشاف شرکت تهیه و تولید مواد معدنی کشور و مدیریت آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران برای فراهم کردن تجزیه شیمی نمونه‌ها صمیمانه سپاس‌گزاری می‌کنند.

گرانیتوئیدهای محدوده کهدلان با ترکیب کوارتز سینیت، سینیت و مونوزوسینیت و سرشت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی، درون سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازالت، آندزیت بازالیت، آندزیت و تراکیت نفوذ کرده‌اند و رخداد دگرسانی‌های شدید و گسترده‌ای را در این محدوده در پی داشته‌اند. کوارتز سینیت‌ها میزبان اصلی کانه‌زایی هستند و دچار غنی‌شدگی سوپرژن شده‌اند که با حضور قالب پیریت‌های شسته‌شده و حضور وسیع انواع اکسیدهای آهن تأیید می‌شود. در بررسی‌های کانه‌نگاری، بخش بزرگی از کانه‌های اولیه اصلی شامل کالکوپیریت و بورنیت، با کانی‌های ثانویه مس شامل کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت جانشین شده‌اند و مگنتیت‌ها نیز در حال ماریتی شدن هستند.

نمودار مقادیر Eu/Eu^* در برابر $(La/Yb)_n$ نشان‌دهنده احیایی بودن و دیگر شواهد موجود، گویای طبیعت I و مگنتیتی بودن این گرانیتوئیدها است. شواهدی مانند وجود استوک‌های کوچک، همراهی توده‌های پلوتونیک محدوده با سنگ‌های آذرین، تنوع ترکیب سنگ‌های محدوده، حضور بسیار بیشتر مگنتیت

References

- Almeida, M. E., Macambira, M. J. B. and Oliveira, E. C. (2007) Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97-1.96 Ga) in Central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research*, 155(2), 69-97.
- Arabshahi, A. H., Fadavinia, S., Yarveisi, S. and Seidi, M. (2015) Geology Map of Kahdelan Exploration Area 1:9000, 2-9202, Kavoshgaran Consulting Engineers, Tehran, IRI.
- Asadian, O., Amini-fazl, A., Khodabandeh, A. and Emami, M. H. (1993) Explanatory text of Qarachaman-Torkamanchay, Geological Quadrangle Map 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran, IRI.
- Babakhani, A. R. (1981) Petrography and Geochemistry of the North Azerbaijan Nepheline syenites and Phonolites. M.Sc. Thesis. Tehran University, Tehran, IRI (in Persian).
- Boynnton, W. V. (1984) Cosmochemistry of the Rare Earth Elements: Meteorite Studies. *Developments in Geochemistry*, Elsevier, New York, 2, 63-114.
- Cox, K. G., Bell, J. D. and Pankhurst, R. J. (1979) The interpretation of igneous rocks, Chapman & Hall, London.
- Ghorbani, M. (2002) Alteration of the northwestern region of Iran. Arian Zamin Press, Tehran, IRI (in Persian).

- Ghorbani, M. (2007) Economic Geology of mineral and natural resources of Iran. Arian Zamin Press, Tehran, IRI (in Persian).
- Ghorbani, M. and Rasouli, J. (2012) Advanced petrography and petrogenesis of igneous rocks. Arian Zamin Press, Tehran, IRI (in Persian).
- Gorton, M. P. and Schandl. E. S. (2002) From Continents to Island Arc. A Geochemical Index of Tectonic Setting for Arc Related and within Plate Felsic to Intermediate Volcanic Rocks. The Canadian Mineralogist, 38, 1065-1073.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A. and Tindle, A. G. (1986) Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. Geological Society London, Special Publications, 19: 67-81.
- Homam, S. M. (2005) Igneous Petrology, Arsalan Publications, Mashhad, 138-141 (in Persian).
- Hosseini, S. A., Eftekhari Mahabadi, S. and Asghari, O. (2015) The Comparison of Appropriate Methods in Imputation of The Censored Values in the Geochemical Datasets. Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering, 5(9), 63-72 (in Persian).
- Ishihara, S. (1981) The granitoid series and mineralization. Economic Geology Anniversary, 75, 458-484.
- Karimpour, M. H. (2009) Geochemistry, Petrology and Magmatic Ore Deposits, Ferdowsi University of Mashhad Publication, Mashhad, IRI (in Persian).
- Karimpour, M. H., Rezaei, M., Zarasvandi, A. and Malekzadeh Shafaroudi, A. (2021) Saveh-Nain-Jiroft Magmatic Belt replaces Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt: Investigation of genetic relationship between porphyry copper deposits and adakitic and non-adakitic granitoids. Journal of Economic Geology, 13(3), 465-506 (In Persian).
- Lotfi, M., Alavi Tehrani, N., Bordet, P., Haghypour, A., Sabzehei, M., Behroozi, A., Lescuyer, J., Riou, R. and Amidi, M. (1978) Explanatory text of Mianeh, Geological Quadrangle Map 1:250.000. Geological Survey of Iran, Tehran., IR Iran.
- Maghsoudi, A., Rahmani, M. and Rashidi, B. (2005) Gold Deposits and Indications of Iran. Arian Zamin Press, Tehran, IRI (in Persian).
- Maghsoudi, A. (2011) Geochemical Studies on Gold and Copper mineralization in North of Sarab. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, IRI (in Persian).
- Maghsoudi, A., Yazdi, M., Mehrpartou, M., Vosoughi, M. and Younesi, S. (2012a) Porphyry Cu-Au mineralization in the Mirkuh Ali Mirza Magmatic Complex, NW Iran. Journal of Asian Earth sciences, 79, 932-941.
- Maghsoudi, A., Yazdi, M., Mehrpartou, M. and Vosoughi, M. (2012b) Geochemical and fluid inclusions data of low sulfidation Au-mineralization in the Mirkuh Ali Mirza area, Sarab. Journal of Iran Earth Sciences, 22(83), 125-140.
- McDonough, W. F. and Sun, S. S. (1995) The composition of the Earth. Chemical Geology, 120(3-4), 223-253.
- Mehrnia, S. R. (2004) Generation of gold, copper and related compounds in connection with Middle Cenozoic magmatism (East Azerbaijan). Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, IRI (In Persian).
- Meinert, L. D. (1995) Compositional variation of igneous rocks associated with skarn deposits-chemical evidence for a genetic connection between petrogenesis and mineralization. Mineralogical Association of Canada, Short Course Series, 23, 401-418.
- Merikhi-Shahrivar, L. (2008) Geochemical exploration and economic geology on kighal ore deposit (NW Ahar). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, IRI (in Persian).

- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magmas and Magmatic Rocks, An Introduction to Igneous Petrology*. Addison-Wesley Longman Ltd.
- Middlemost, E. A. K. (1994) Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37, 215-224.
- Mohammadi, B. and Mehrpartou, M. (2008) Investigation and introduction of porphyry gold and copper indices in Arasbaran area. Geological Survey of Iran, Tehran, IRI (in Persian).
- Omidianfar, S., Rahgoshay, M. and Monsef, I. (2020) Geochemical data as a tool for estimation of mineralization potential in the Hanar granitoids as part of Tertiary plutonism in Lut block (East of Iran). *Petrological Journal*, 11(2), 19-36.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. and Tindle, A. G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, *Journal of Petrology*, 25, 956-983.
- Pearce, J. A. and Parkinson, I. J. (1993) Trace element models for mantle melting: application to volcanic arc petrogenesis. In: *Magmatic Processes and Plate Tectonics* (Eds. Prichard, H. M., Alabaster, T., Harris, N. B. W. and Neary, C. R.) Special Publications 76: 373-403. Geological Society, London.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R. (1976) Geochemistry of Eocene Calc-Alkaline Volcanic Rocks from the Kastamonu Area, Northern Turkey, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Pirajno, F. (2009) *Hydrothermal processes and mineral systems*. Springer, Perth.
- Pour Mohammad Gholi Farzaneh, A. A. (2016) Petrography and Petrology of potassic and ultrapotassic lavas of north of Benaravan, Bozqosh Mountains, NW Iran. M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, IRI (in Persian).
- Pracejus, B. (2008) *The Ore Minerals Under the Microscope; An Optical Guide*, Elsevier.
- Richards, J. P. and Sholeh, A. (2016) The Tethyan Tectonic History and Cu-Au Metallogeny of Iran. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 19, 193-212.
- Robb, L. J. (2005) *Introduction to Ore-forming Processes*, Blackwell Publishing, Malden.
- Rollinson, H. R. (1993) *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Routledge, London.
- Shahabpour, J. (2008) *Economic Geology*. Shahid Bahonar University of Kerman Publication, Kerman, IRI (in Persian).
- Shahriyar, V. (2005) Petrology and petrography studies of Bozqush intrusion mass (south of Sarab). M.Sc. Thesis, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, IRI (In Persian).
- Shand, S. J. (1943) *Eruptive Rocks*. Wiley, London.
- Sillitoe, R. H. (2010) Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.
- Streckeisen, A. L. (1976) To each plutonic rock its proper name. *Earth Science Reviews*, 12, 1-33.
- Streckeisen, A. L. (1978) Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melilitic rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 134, 1-14.
- Titley, S. R. (1982) *Advances in geology of the porphyry copper deposits*. University of Arizona press.
- White, A. J. R. and Chappell, B. W. (1977) Ultrametamorphism and granitoid genesis. *Tectonophysics*, 43, 7-22.

- Whitney, D. L. and Evans, B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals, *American Mineralogist*, 95, 185–187.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Sadeghi, M., Lentz, D., Adelpour, M. and Pourkaseb, H. (2015) Rare earth element signatures of economic and sub-economic porphyry copper systems in Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (UDMA), Iran. *Ore Geology Reviews*, 70, 407-423.

پیوست ۱. داده‌های خام به‌دست‌آمده از تجزیه عنصرهای فرعی و کمیاب در سنگ‌های درونی کهدلان با روش ICP-MS (علامت < به معنای کمتر از حد آشکارسازی دستگاه آنالیز و NA به معنای اندازه‌گیری نشده است).

Appendix 1. The raw data obtained from the analysis of minor and trace elements in the plutonic rocks of Kahdalan by ICP-MS method (symbol < means less than the detection limit of the analysis device and NA means not available).

Element	Units	SF-KH-4007	SF-KH-5000	SF-KH-6000	SF-KH-7001	SF-KH-7003	TR1-01M	TR1-02M	TR1-03M	TR1-04M	TR1-05M
Li	ppm	12.06	5.46	6.14	10.7	17.75	15.6	14.2	11.5	11.6	9.9
Be	ppm	0.87	1.1	1.26	1.73	1.18	4.7	4.1	4.2	3.8	5.4
Na	%	0.62	2.34	1.99	1.87	1.95	1.70	1.93	2.18	1.87	1.79
Mg	ppm	2700	14500	1200	1500	1400	9330	5790	5280	4990	9550
Al	%	1.75	5.97	7.18	6.83	8.83	7.89	8.12	8.63	8.76	7.87
P	ppm	<0.01	<0.01	0.1	<0.01	0.21	2000	2070	2220	1940	2060
S	ppm	1.01	0.25	0.37	<0.1	<0.1	< 50	< 50	53	< 50	< 50
K	%	0.72	5.19	8.15	5.65	6.18	4.98	4.79	5.92	5.79	5.64
Ca	%	0.76	4.37	0.83	0.7	0.87	4.07	3.01	2.64	2.71	3.34
Sc	ppm	8	6	8	6	5	5	5	6	4	5
Ti	ppm	800	2300	4000	3300	4000	3160	2620	2500	2480	2160
V	ppm	46	70	109	103	137	115	110	126	112	105
Cr	ppm	15	14	10	7	10	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	121	1166	812	519	341	1000	792	742	665	832
Fe	%	0.58	1.45	1.52	1.68	2.01	3.09	3.11	3.04	3.07	2.88
Co	ppm	3	12	28	23	13	10.3	9.1	7.9	7.4	9.9
Ni	ppm	1.6	2	11	3	5	4	5	4	5	5
Cu	ppm	230534	30141	10344	27944	1839	44.9	74	222.7	73.1	100.7
Zn	ppm	38	73	36	63	35	72.3	64	57.6	56.7	65.1
Ga	ppm	3	11	14	16	23	18.5	18.5	19.7	19.4	17.7
Ge	ppm	NA	NA	NA	NA	NA	0.61	0.6	0.6	0.62	0.63
As	ppm	81	19	557	81	46	10.1	14	49.9	50.5	57.5
Se	ppm	NA	NA	NA	NA	NA	0.42	0.29	0.45	0.44	0.4
Rb	ppm	24.81	69.39	189.75	103.7	71.02	130	117	171	140	131
Sr	ppm	150	417	414	380	578	590	587	567	583	624
Y	ppm	5	16	30	19	16	18.5	15.1	18.8	15.6	16.4
Zr	ppm	35	171	160	141	177	151	127	136	115	111
Nb	ppm	11	4	18	14	19	14.4	11.1	12.3	10.1	9.1
Mo	ppm	3	4	9	5	5	2.6	2.3	2.5	2.2	2.1
Ag	ppm	11	4	2	4	2	0.08	0.09	0.1	0.08	0.09
Cd	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03
Sn	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	1.7	1.4	1.7	1.4	1.2
Sb	ppm	2	3	3	3	<1	2.8	2.7	2.3	2.4	2.3
Te	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	2	2.7	2.6	3.3	2.5
Ba	ppm	68	767	1168	961	1151	1180	1200	1240	1200	1170
La	ppm	6	35	58	42	55	43.7	35.1	47	38.3	37.1
Hf	ppm	1.56	5.69	6.94	6.31	6.67	3.97	3.36	3.67	3.04	2.79
Ta	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	2.46	0.83	0.45	0.35	0.3
W	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	2.6	2.4	2.5	2.1	2.5
Re	ppm	NA	NA	NA	NA	NA	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Tl	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
Pb	ppm	10	16	19	21	16	23.4	23.8	27.4	25.5	25.1
Bi	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	12	57	112	63	84	80.6	67.2	89.1	71.3	70
Pr	ppm	2	24	11	7	9	8.54	7.21	9.55	7.75	7.59
Nd	ppm	8.42	12.72	13.26	3.15	2.82	31.4	26.4	34.3	28.1	28.2
Sm	ppm	<1	3	5	3	4	5.92	4.96	6.4	5.24	5.16
Eu	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	1.59	1.31	1.57	1.38	1.4
Gd	ppm	1	6	10	7	8	5.97	5.05	6.29	5.3	5.08
Tb	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.73	0.62	0.78	0.64	0.64
Dy	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	3.92	3.27	4.19	3.44	3.49
Ho	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.78	0.65	0.82	0.65	0.69
Er	ppm	0.33	0.29	0.43	0.23	0.14	2.23	1.87	2.4	1.89	2
Tm	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.32	0.27	0.35	0.27	0.29
Yb	ppm	1	2	3	2	2	2.07	1.74	2.21	1.74	1.87
Lu	ppm	<1	<1	<1	<1	<1	0.3	0.25	0.31	0.24	0.26
Th	ppm	<1	<1	1.36	<1	<1	13.3	10.8	15.2	11.4	10.8
U	ppm	<1	1.04	2.01	1.18	<1	2.99	3.26	3.44	3.17	2.55
Eu/Eu*		2.65	0.54	0.32	0.5	0.41	0.82	0.8	0.76	0.8	0.84
(La/Yb) _n		4.05	11.8	13.03	14.16	18.54	14.23	13.6	14.34	14.84	13.38

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR1-06M	TR1-07M	TR1-08M	TR1-09M	TR1-10M	TR1-11M	TR1-12M	TR1-13M	TR1-14M
Li	ppm	8.8	11.2	11.1	12.5	13.1	13.5	11.4	13.1	12
Be	ppm	4.5	4.2	4.3	4.2	4.4	4.5	4.3	4.5	3.9
Na	%	1.91	0.019	0.0176	0.0155	0.0186	0.0217	0.0245	0.0255	0.0221
Mg	ppm	6340	5280	6930	6290	4750	6680	7960	0.01	4940
Al	%	8.83	0.0805	0.0892	0.0773	0.0908	0.0926	0.0934	0.0942	0.0869
P	ppm	1920	1970	2030	2160	2060	2220	2200	1960	2210
S	ppm	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	159	221	< 50
K	%	5.81	0.0539	0.0521	0.053	0.0566	0.055	0.0639	0.048	0.0439
Ca	%	2.84	0.0253	0.0357	0.0308	0.0261	0.0303	0.0264	0.0333	0.0229
Sc	ppm	5	4	5	3	4	6	7	6	5
Ti	ppm	2240	2150	2970	2420	1970	2600	3090	3420	2620
V	ppm	108	110	117	121	105	107	107	97	108
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	529	639	644	758	737	943	778	812	707
Fe	%	3.14	0.0352	0.0329	0.0347	0.0354	0.0357	0.035	0.0327	0.0374
Co	ppm	8.3	8.6	9.8	10.2	8.4	9.8	9.5	9.2	8.3
Ni	ppm	5	5	6	8	6	5	4	3	5
Cu	ppm	55.9	87	30.7	32.1	93.9	209.7	293.5	772.1	73.9
Zn	ppm	58.9	58.7	64.1	65.4	58.2	59.3	56.5	52.4	58.9
Ga	ppm	19.2	18.6	18.6	18.5	19.3	18.5	18.5	17.6	18.6
Ge	ppm	0.64	0.59	0.55	0.53	0.73	0.65	0.65	0.65	0.61
As	ppm	26.1	23.3	47.1	41.3	47.9	41.9	30.8	27.4	29.4
Se	ppm	0.36	0.31	0.38	0.35	0.33	0.32	0.38	0.33	0.26
Rb	ppm	157	115	133	84.9	130	129	182	144	117
Sr	ppm	632	596	655	618	645	685	633	626	615
Y	ppm	16.6	11.7	16.4	8.93	14.6	17.6	22	20.2	14.7
Zr	ppm	110	103	128	89	104	123	142	142	129
Nb	ppm	9.2	8.3	11.9	8.3	7	8.9	11	11.5	9
Mo	ppm	2.6	2.2	2.6	2.1	1.8	1.9	2.2	2.1	1.9
Ag	ppm	0.05	0.05	0.08	0.05	0.08	0.13	0.12	0.18	0.06
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04
Sn	ppm	1.3	1.2	1.5	1.1	1	1.3	1.8	1.9	1.5
Sb	ppm	2.3	2.7	3.6	2.7	1.5	1.3	1.5	1.5	1.7
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	3.2	3.1	4.4	3.9	3.4	2.7	1.9	1.4	2.1
Ba	ppm	1270	1160	1360	1360	1320	1510	1340	1310	1270
La	ppm	43.4	28.7	39.6	21.2	38.6	42.3	57.3	50.5	37.1
Hf	ppm	2.88	2.75	3.32	2.45	2.83	3.26	3.66	3.76	3.36
Ta	ppm	0.3	0.25	0.4	0.24	0.22	0.26	0.31	0.33	0.27
W	ppm	2.7	2.4	2.2	2.3	2.2	2.5	2.6	2.5	2.4
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	0.06	0.37	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.07	0.11	0.16	< 0.05
Tl	ppm	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Pb	ppm	24.8	25.3	24.8	21.9	22.8	25.2	29.2	27.8	27.1
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	79.7	55	73.8	41.6	72.8	78.5	101	92	69
Pr	ppm	8.65	5.99	8.09	4.54	7.89	8.61	11.1	10.1	7.48
Nd	ppm	31.9	22.1	29.6	17	28.9	31.4	40.1	36.4	27.2
Sm	ppm	5.72	4.16	5.57	3.26	5.25	5.87	7.16	6.76	5.05
Eu	ppm	1.55	1.13	1.52	0.95	1.45	1.62	1.89	1.69	1.37
Gd	ppm	5.85	4.18	5.58	3.33	5.35	5.96	7.32	6.48	4.94
Tb	ppm	0.68	0.51	0.68	0.39	0.63	0.73	0.89	0.82	0.61
Dy	ppm	3.65	2.77	3.68	2.11	3.31	3.92	4.71	4.44	3.29
Ho	ppm	0.71	0.53	0.72	0.41	0.65	0.75	0.91	0.86	0.63
Er	ppm	2.02	1.54	2.1	1.17	1.87	2.2	2.58	2.47	1.83
Tm	ppm	0.29	0.22	0.3	0.17	0.27	0.31	0.37	0.35	0.26
Yb	ppm	1.85	1.46	1.93	1.08	1.76	1.99	2.36	2.24	1.68
Lu	ppm	0.25	0.2	0.26	0.14	0.24	0.28	0.33	0.31	0.23
Th	ppm	12.7	8.37	11.5	5.82	11.7	13	17.6	15.7	11.2
U	ppm	2.5	3.01	3.47	2.95	2.9	3.71	3.69	3.92	3.1
Eu/Eu*		0.82	0.83	0.83	0.88	0.84	0.84	0.8	0.78	0.84
(La/Yb) _n		15.82	13.25	13.83	13.23	14.79	14.33	16.37	15.2	14.89

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR2-01M	TR2-02M	TR2-03M	TR2-04M	TR2-05M	TR2-06M	TR2-07M	TR2-08M
Li	ppm	11.2	14.5	9	4.9	8.1	8.7	8.9	9
Be	ppm	4.4	5	4.2	4.3	4.5	4	4.1	4.3
Na	%	0.023	0.0224	0.0186	0.0235	0.0212	0.0208	0.0222	0.0235
Mg	ppm	2460	2150	4080	2980	7560	4630	5120	4970
Al	%	0.0893	0.102	0.0883	0.0604	0.0813	0.101	0.0993	0.106
P	ppm	1820	2180	2020	1470	1950	2240	2250	2260
S	ppm	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
K	%	0.0446	0.0645	0.049	0.0392	0.0429	0.0523	0.0609	0.0618
Ca	%	0.0232	0.0111	0.0397	0.0239	0.0385	0.0298	0.0257	0.022
Sc	ppm	6	7	5	1	4	6	6	6
Ti	ppm	4150	4640	3020	4000	3170	3070	3620	3520
V	ppm	129	141	109	80	105	122	125	115
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	1120	1280	688	1030	1210	731	832	832
Fe	%	0.0342	0.0416	0.033	0.0333	0.0353	0.0366	0.041	0.0398
Co	ppm	8	12.2	11.3	9.4	10.1	10.4	8.4	8.1
Ni	ppm	3	6	6	4	5	5	5	4
Cu	ppm	81.5	94.6	91.2	98.6	80.3	80	70.2	61.5
Zn	ppm	63.3	78.1	60.5	57.5	61.2	59.5	57	63
Ga	ppm	18.3	19.9	18.3	17.6	17.3	18.5	18.4	19.3
Ge	ppm	0.77	0.84	0.55	0.49	0.48	0.55	0.59	0.65
As	ppm	18.2	31.4	20	18.6	21.2	24.9	24.3	23.5
Se	ppm	0.45	0.55	0.44	0.19	0.27	0.33	0.28	0.39
Rb	ppm	155	177	156	123	120	164	172	194
Sr	ppm	471	576	611	431	618	713	663	654
Y	ppm	26.4	27	18.5	6.2	15.6	18.4	18.1	20.4
Zr	ppm	178	188	129	207	150	120	144	152
Nb	ppm	17.4	17.8	11.7	20.7	11.6	9.9	12.4	13.2
Mo	ppm	3.8	3.6	2.2	3.7	2.1	2	2.4	2.7
Ag	ppm	0.08	0.18	0.13	0.11	0.08	0.08	0.1	0.09
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Sn	ppm	1.9	1.9	1.3	1.6	1.4	1.3	1.5	1.5
Sb	ppm	2.8	4.4	2	1.7	2.3	2.4	2.1	2
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	1.4	2.7	4.1	2.6	3	5.5	4.4	5.5
Ba	ppm	1220	1410	1330	782	1250	1420	1510	1460
La	ppm	59.4	62	47.2	19.1	37.2	47.7	46.7	54.2
Hf	ppm	4.42	4.78	3.31	4.97	3.78	3.24	3.71	4.09
Ta	ppm	0.5	0.5	0.3	0.58	0.34	0.26	0.34	0.85
W	ppm	2.8	3.4	2.7	2.4	2.2	2.4	2.9	3
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.08	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Tl	ppm	0.1	0.1	0.1	< 0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Pb	ppm	28.2	27.2	23.2	21.8	23.1	24.9	24.7	28.1
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	104	107	84	38.6	69.9	86.9	86.2	99.6
Pr	ppm	11.4	12.1	9.25	4.05	7.59	9.38	9.41	10.8
Nd	ppm	41.3	43.7	33.2	14.4	27.4	34.1	33.7	38.9
Sm	ppm	7.6	7.97	6.1	2.54	5.11	6.16	6.21	6.95
Eu	ppm	1.86	1.97	1.71	0.6	1.25	1.73	1.66	1.72
Gd	ppm	7.58	7.96	6.22	2.51	5.01	6.16	6.08	6.68
Tb	ppm	0.96	1	0.74	0.3	0.64	0.74	0.73	0.82
Dy	ppm	5.2	5.56	3.93	1.62	3.48	3.93	3.85	4.4
Ho	ppm	1.05	1.08	0.75	0.31	0.67	0.77	0.75	0.86
Er	ppm	3.04	3.2	2.19	0.92	1.95	2.19	2.16	2.5
Tm	ppm	0.44	0.47	0.31	0.13	0.28	0.31	0.32	0.36
Yb	ppm	2.8	2.99	1.99	0.84	1.76	1.98	2.02	2.29
Lu	ppm	0.4	0.43	0.27	0.11	0.25	0.27	0.27	0.32
Th	ppm	18.4	18.8	14.2	6.9	11.9	14.5	15.1	17.9
U	ppm	3	3.12	3.1	3.89	4.16	2.93	2.68	2.93
Eu/Eu*		0.75	0.76	0.85	0.73	0.76	0.86	0.83	0.77
(La/Yb) _n		14.3	13.98	15.99	15.33	14.25	16.24	15.59	15.96

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR2-09M	TR2-10M	TR2-11M	TR2-12M	TR2-13M	TR2-14M	TR2-15M	TR2-16M
Li	ppm	10.3	6.2	9.3	5.5	6.8	7.3	6.3	4.4
Be	ppm	4.5	2.7	4.5	3.4	3.8	3.7	3.2	4
Na	%	0.0219	0.0234	0.022	0.0245	0.0202	0.0222	0.0223	0.0247
Mg	ppm	4870	2160	7890	3510	4910	4960	3860	8190
Al	%	0.107	0.0848	0.104	0.0977	0.0897	0.103	0.1	0.103
P	ppm	2300	1200	2310	2190	2110	2180	1810	1910
S	ppm	53	< 50	< 50	< 50	< 50	52	< 50	1870
K	%	0.0619	0.0427	0.0667	0.048	0.043	0.0626	0.0604	0.0779
Ca	%	0.0301	0.0398	0.0297	0.0158	0.0319	0.0244	0.0324	0.0386
Sc	ppm	5	3	7	6	6	6	6	6
Ti	ppm	3320	3720	3840	3920	3270	2600	2300	2520
V	ppm	114	53	119	127	114	119	81	84
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	666	1090	1110	450	819	854	568	1400
Fe	%	0.0383	9270	0.0418	0.0362	0.0348	0.0389	0.0316	0.0362
Co	ppm	8.7	5.5	9.1	5.1	8.9	8	6.8	9.2
Ni	ppm	5	< 2	5	4	5	5	4	4
Cu	ppm	67.2	1689	63.7	39.3	61.6	49.1	49.7	42.1
Zn	ppm	61.4	25	60.3	49.7	58.7	55.5	50.2	72.5
Ga	ppm	18.8	16	19.7	19.8	18.7	19.9	18.2	17.4
Ge	ppm	0.57	0.77	0.56	0.61	0.48	0.53	0.56	0.6
As	ppm	21.5	14.3	27.7	21	24.5	22.6	15.5	21.4
Se	ppm	0.23	0.46	0.28	0.49	0.28	0.32	0.24	0.23
Rb	ppm	181	158	183	164	143	194	197	207
Sr	ppm	708	320	696	541	572	645	503	828
Y	ppm	18.6	18.7	21.8	21.2	18.6	20.3	20.2	22.3
Zr	ppm	143	264	155	180	154	128	138	121
Nb	ppm	11.8	27.3	13.5	16.7	13.3	9.3	9.2	9.4
Mo	ppm	2.3	3.7	2.6	3.7	2.3	1.9	1.9	2.1
Ag	ppm	0.09	0.19	0.09	0.09	0.07	0.06	0.08	0.06
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Sn	ppm	1.4	1.9	1.5	1.9	1.6	1.3	1.3	1.4
Sb	ppm	1.8	1	2.2	2.9	2.8	3.1	3.1	3.2
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	6	1	4.2	3.7	4.6	4.3	4.2	2.6
Ba	ppm	1460	287	1730	1370	1280	1310	1060	6910
La	ppm	47.5	61.2	53.2	57.6	45.4	56.5	60.2	55.5
Hf	ppm	3.66	6.18	3.86	4.7	3.91	3.38	3.55	3.22
Ta	ppm	0.78	1.17	0.53	0.56	0.43	0.29	0.33	0.29
W	ppm	2.5	2.6	3.5	3	2.8	2.9	2.2	2.2
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Tl	ppm	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Pb	ppm	25.9	20.1	27.1	28.8	25.9	30.8	28.4	32.6
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	88.6	112	94.9	105	83.9	101	107	99.3
Pr	ppm	9.6	11.9	10.5	11.4	9.12	10.8	11.4	10.6
Nd	ppm	35.2	40.6	37.4	40.3	32.9	38.5	40.7	37.4
Sm	ppm	6.4	7.34	6.91	7.35	6.14	7.11	7.28	6.8
Eu	ppm	1.63	1.23	1.91	1.87	1.57	1.87	1.64	2.1
Gd	ppm	6.34	7.15	7.05	7.45	6.11	7.21	7.24	8.28
Tb	ppm	0.76	0.85	0.85	0.87	0.74	0.84	0.82	0.83
Dy	ppm	4.05	4.34	4.55	4.54	3.98	4.31	4.31	4.55
Ho	ppm	0.78	0.8	0.86	0.87	0.79	0.83	0.82	0.88
Er	ppm	2.21	2.29	2.51	2.47	2.27	2.38	2.35	2.61
Tm	ppm	0.33	0.32	0.36	0.36	0.33	0.35	0.34	0.39
Yb	ppm	2.06	2	2.31	2.29	2.11	2.2	2.19	2.65
Lu	ppm	0.29	0.28	0.32	0.31	0.3	0.29	0.31	0.36
Th	ppm	15.6	26.4	16.5	19.7	14.1	17.6	21	21
U	ppm	3.15	5.86	2.72	3.11	3.12	2.97	3.31	3.5
Eu/Eu*		0.78	0.52	0.84	0.77	0.78	0.8	0.69	0.86
(La/Yb) _n		15.55	20.63	15.53	16.96	14.51	17.31	18.53	14.12

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR2-17M	TR2-18M	TR2-19M	TR2-20M	TR2-21M	TR2-22M	TR2-23M	TR2-24M
Li	ppm	4.9	8	5.9	6.1	9.8	8.6	8.1	6.4
Be	ppm	3.4	4.1	4	3.6	4	3.5	3.8	4
Na	%	0.0211	0.0196	0.0216	0.0276	0.0241	0.0265	0.0268	0.0251
Mg	ppm	7990	9010	6390	3190	5420	4410	4380	5680
Al	%	0.0897	0.0986	0.104	0.103	0.111	0.104	0.105	0.0944
P	ppm	1850	2310	2330	1820	2490	2380	2200	2070
S	ppm	< 50	< 50	< 50	< 50	96	82	108	273
K	%	0.0571	0.0616	0.0647	0.0483	0.0732	0.0638	0.0546	0.0466
Ca	%	0.0319	0.0238	0.0229	0.015	0.0278	0.0276	0.0284	0.0328
Sc	ppm	6	6	6	5	7	6	7	7
Ti	ppm	2770	2210	2640	3470	3330	2740	3570	3560
V	ppm	103	126	114	117	129	117	124	134
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	859	791	643	493	795	665	884	1230
Fe	%	0.0314	0.0368	0.0361	0.0331	0.0295	0.0407	0.039	0.03
Co	ppm	9.4	8.6	9.6	5.6	8.2	6.6	7.8	7.6
Ni	ppm	4	5	5	3	4	4	3	3
Cu	ppm	57	66.9	60.2	1130	2227	294.3	819.3	1918
Zn	ppm	54.8	55.4	62.4	47.4	64.4	52.6	66.7	56.1
Ga	ppm	17.2	18.5	18.4	18.7	19.3	18.4	19.2	18
Ge	ppm	0.45	0.49	0.58	0.62	0.55	0.57	0.63	0.6
As	ppm	19.7	20	18.6	26.7	20.8	13.4	23.2	39.6
Se	ppm	0.27	0.25	0.29	0.35	0.53	0.34	0.4	0.59
Rb	ppm	181	199	198	180	198	176	168	169
Sr	ppm	631	676	698	503	711	689	623	582
Y	ppm	20.7	20.4	21.2	21.2	21.1	17.8	21.5	23.3
Zr	ppm	147	122	127	164	120	112	148	164
Nb	ppm	11.9	7.8	9.1	14.9	10.8	8.2	11.7	13.1
Mo	ppm	2.4	1.7	2.2	2.5	1.6	1.6	2.3	2.2
Ag	ppm	0.06	0.06	0.09	0.19	0.33	0.08	0.17	0.36
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.06	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04
Sn	ppm	1.4	1.2	1.4	2.1	1.6	1.4	1.8	1.8
Sb	ppm	2.9	2.8	2.3	2.4	2	1.9	2.1	1.9
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	2.8	7	6.3	2	5.2	3.6	2.5	1.8
Ba	ppm	1350	1530	1520	1270	1610	1690	1490	1350
La	ppm	53.4	53	54.3	64.1	54.8	45.7	56.8	57.7
Hf	ppm	3.73	3.16	3.33	4.39	3.38	3.18	4.05	4.14
Ta	ppm	0.31	0.16	0.21	0.4	0.24	0.18	0.31	0.33
W	ppm	2	2.5	2.9	3	2.7	2.5	2.9	3
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.62	0.53	0.09	0.41	2.2
Tl	ppm	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2
Pb	ppm	25.8	28.2	28.7	30.4	32.1	29.7	32.6	32.5
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	94.8	95.9	95.7	115	98.1	84	102	101
Pr	ppm	10	10.2	10.3	12.1	10.5	9.18	11.1	11
Nd	ppm	35.7	37.2	36.7	42.4	37.8	32.9	39.3	39.1
Sm	ppm	6.49	6.74	6.65	7.6	6.87	6.08	7.1	7.22
Eu	ppm	1.71	1.88	1.83	1.67	1.74	1.61	1.79	1.79
Gd	ppm	6.73	6.64	6.86	7.67	6.86	6.04	7.16	7.28
Tb	ppm	0.8	0.79	0.82	0.89	0.81	0.73	0.85	0.89
Dy	ppm	4.34	4.18	4.38	4.58	4.35	3.89	4.5	4.81
Ho	ppm	0.83	0.81	0.84	0.86	0.83	0.73	0.88	0.94
Er	ppm	2.41	2.31	2.44	2.49	2.41	2.08	2.57	2.68
Tm	ppm	0.35	0.33	0.35	0.36	0.34	0.3	0.36	0.4
Yb	ppm	2.28	2.17	2.3	2.29	2.14	1.92	2.35	2.58
Lu	ppm	0.31	0.29	0.32	0.32	0.3	0.26	0.32	0.36
Th	ppm	17.4	16.3	17.4	23.1	17.2	14.3	19	18.6
U	ppm	4.1	3.63	2.88	3.76	3.48	2.92	3.69	4.54
Eu/Eu*		0.79	0.86	0.83	0.67	0.77	0.81	0.77	0.75
(La/Yb) _n		15.79	16.47	15.92	18.87	17.26	16.05	16.03	15.08

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR2-25M	TR2-26M	TR2-27M	TR3-01M	TR3-02M	TR3-03M	TR3-04M	TR3-05M
Li	ppm	6.6	10.7	9.7	19.8	14.8	12.1	15	15.6
Be	ppm	3.8	4.8	3.5	4.7	3.8	6.7	4	4.6
Na	%	0.0265	0.0208	0.0202	0.0182	0.022	0.0214	0.0236	0.023
Mg	ppm	4760	6230	2970	1610	769	2810	1020	918
Al	%	0.0955	0.104	0.0708	0.0728	0.0927	0.0817	0.0962	0.0939
P	ppm	2000	2400	1920	1920	2150	2210	2110	2080
S	ppm	73	56	54	3170	299	4770	233	1320
K	%	0.0519	0.0546	0.0403	0.0371	0.0444	0.0504	0.0633	0.0469
Ca	%	0.0265	0.0328	0.0346	0.0119	7610	0.0169	0.0138	7850
Sc	ppm	7	6	5	4	4	7	6	6
Ti	ppm	3210	2180	4360	5390	5840	5260	5920	6130
V	ppm	128	107	122	255	200	1340	165	298
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	871	728	1180	1020	350	683	610	275
Fe	%	0.0333	0.0365	0.0351	0.0124	0.0176	0.0282	0.0232	0.0208
Co	ppm	6.3	10.7	6	11	6.4	27.7	7.4	8.6
Ni	ppm	3	5	3	4	3	8	4	5
Cu	ppm	1009	87.9	155.5	5979	527.4	656.7	1574	2694
Zn	ppm	51.3	63.4	48.9	63.6	44	135	42.3	56.8
Ga	ppm	19.4	18.2	17.8	19.2	20.7	20.3	20.2	20.3
Ge	ppm	0.62	0.53	0.83	1.35	1.34	1.59	1.23	1.52
As	ppm	25.8	22.2	24	163	60.5	492	57.5	142
Se	ppm	0.33	0.28	0.32	1.16	0.39	20.8	0.56	2.05
Rb	ppm	182	164	128	137	171	170	200	168
Sr	ppm	544	692	468	306	374	427	460	435
Y	ppm	23.3	20.9	17.1	13.2	16.9	12.1	21.2	15.3
Zr	ppm	160	103	159	304	252	220	213	244
Nb	ppm	12.3	6.2	16.2	26.3	25.2	20.4	21.5	23.5
Mo	ppm	2.3	1.4	2.8	3.3	4.2	5.4	3.9	4.3
Ag	ppm	0.2	0.13	0.12	1.3	0.37	1.2	0.36	0.58
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.07	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04
Sn	ppm	1.7	1.1	1.7	2.5	2.6	2.1	2.4	2.3
Sb	ppm	2	2.5	2.3	3.6	4	4.8	3.1	4
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	2.4	7.6	2.5	2	2	3.1	2.1	2.9
Ba	ppm	1400	1570	1310	880	1120	1270	1440	1270
La	ppm	60.2	52.7	38.7	27.3	43.4	27.4	49.8	37
Hf	ppm	4.34	2.76	4.05	6.86	5.94	5.21	5.14	5.73
Ta	ppm	0.31	0.11	0.85	1.45	1.33	1.04	1.14	1.23
W	ppm	2.8	2.4	3	3.2	3.5	2.8	2.9	2.8
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.06	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	0.82	< 0.05	< 0.05	1.8	0.95	34	0.51	8.8
Tl	ppm	0.1	0.1	0.1	1.6	0.6	1.7	0.4	1.1
Pb	ppm	28.4	26	26.8	26.6	26.5	65.1	25.6	31.5
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	108	93.9	70.2	49.4	82.2	51.9	91.6	69.6
Pr	ppm	11.5	10.1	7.49	5.33	8.78	5.63	9.95	7.27
Nd	ppm	41.1	36.3	26.6	18.8	30.8	19.8	35.3	25.7
Sm	ppm	7.37	6.58	5.01	3.51	5.74	3.78	6.54	4.84
Eu	ppm	1.83	1.84	1.34	0.78	1.32	1.04	1.6	1.24
Gd	ppm	7.52	6.83	5.82	4.02	6.26	4.27	7.15	5.42
Tb	ppm	0.9	0.8	0.66	0.47	0.71	0.49	0.81	0.61
Dy	ppm	4.79	4.24	3.62	2.67	3.85	2.89	4.42	3.46
Ho	ppm	0.92	0.82	0.62	0.49	0.66	0.51	0.77	0.59
Er	ppm	2.68	2.35	1.81	1.54	1.95	1.55	2.23	1.76
Tm	ppm	0.4	0.34	0.25	0.22	0.26	0.22	0.3	0.24
Yb	ppm	2.51	2.37	1.74	1.69	1.94	1.71	2.19	1.77
Lu	ppm	0.36	0.3	0.27	0.27	0.28	0.26	0.33	0.27
Th	ppm	20.6	16.4	11.7	11.2	19.8	11.1	18.5	16.2
U	ppm	3.84	2.91	3.51	11.8	7.7	15.3	6.95	7.28
Eu/Eu*		0.75	0.84	0.76	0.63	0.67	0.79	0.72	0.74
(La/Yb) _n		16.17	14.99	14.99	10.89	15.08	10.8	15.33	14.09

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR3-06M	TR3-07M	TR3-08M	TR3-09M	TR3-10M	TR3-11M	TR3-12M	TR3-13M
Li	ppm	23	16.8	15	16.8	10.3	10.8	16.5	19.5
Be	ppm	4.2	4.7	4.6	5	4.2	4.4	3.9	3.8
Na	%	0.0227	0.0229	0.0234	0.0216	0.0238	0.0242	0.0212	0.02
Mg	ppm	1130	1160	1060	991	1030	1850	2060	2790
Al	%	0.108	0.101	0.0976	0.0886	0.0849	0.0876	0.0961	0.0825
P	ppm	2400	2180	2180	2020	2150	1980	2290	2010
S	ppm	633	1010	754	465	89	812	136	726
K	%	0.0677	0.0499	0.0407	0.0376	0.0501	0.0511	0.0569	0.0492
Ca	%	9340	9280	9930	8170	0.0145	0.014	0.0141	0.0159
Sc	ppm	8	6	6	8	4	6	7	5
Ti	ppm	6420	6210	6230	5490	5600	5600	4410	5120
V	ppm	230	298	294	475	204	265	206	462
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	347	255	415	576	586	730	628	395
Fe	%	0.0144	0.0159	0.0273	0.0333	0.0403	0.0219	0.0274	0.0259
Co	ppm	10.7	10.8	13.7	13.8	11.4	15.7	15	13.1
Ni	ppm	3	5	6	6	4	5	6	6
Cu	ppm	10600	3646	1836	9469	317.4	2790	887.2	13400
Zn	ppm	41.3	57.7	59.4	72.6	65.3	59.6	62.7	65.1
Ga	ppm	19.4	20.9	21.2	18.9	19.9	19.6	20.1	17.2
Ge	ppm	1.81	1.55	1.44	1.7	1.21	1.35	1.28	1.46
As	ppm	126	108	121	106	31.1	136	22.2	27.5
Se	ppm	1.31	2.36	1.49	1.51	0.5	1.42	0.46	14.3
Rb	ppm	190	172	151	133	162	168	156	113
Sr	ppm	458	461	448	412	447	455	535	518
Y	ppm	28.5	22.7	18.1	19.5	13.4	13.3	22	12.6
Zr	ppm	225	220	228	213	221	227	149	164
Nb	ppm	21.7	21.7	22.4	20.4	21	21.5	15.9	16.4
Mo	ppm	3.6	3.9	4.8	4.8	5.3	3.9	2.5	3.2
Ag	ppm	1.2	0.95	0.65	1.7	0.16	0.93	0.38	1.4
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03
Sn	ppm	2.2	2.1	2.2	2	2.2	2.2	1.3	1.4
Sb	ppm	6.9	5.3	4.2	3.7	3.2	2.8	2.1	2.6
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	2.5	3.1	3	2.1	2.3	2.8	2.6	3.2
Ba	ppm	1300	1360	1340	1400	1360	1350	1420	1390
La	ppm	61.2	51	42.4	40.8	30.5	25.8	47.8	29
Hf	ppm	5.57	5.31	5.48	5.16	5.27	5.3	4.11	4.45
Ta	ppm	1.14	1.12	1.17	1.11	1.1	1.1	0.79	0.85
W	ppm	3.1	2.5	3	3.5	2.8	2.6	2.9	2.3
Re	ppm	< 0.01	0.02	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	2.8	18	4.2	1.8	0.42	2.8	0.77	0.28
Tl	ppm	0.6	1	1	0.7	0.4	1.1	0.3	0.2
Pb	ppm	27.9	36.6	30.6	29.7	25.5	31.2	22	27.9
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	109	90.7	79.4	77.9	58.9	52.2	87.9	54.7
Pr	ppm	12	9.86	8.43	8.43	6.47	5.57	9.48	6.01
Nd	ppm	42.3	34.7	30.2	30.6	22.8	20.1	34	21.4
Sm	ppm	7.66	6.18	5.52	5.75	4.16	4.03	6.24	4.04
Eu	ppm	1.81	1.59	1.37	1.35	1.01	1.02	1.54	1.07
Gd	ppm	8.54	7.13	5.95	6.31	4.63	4.2	6.9	4.53
Tb	ppm	0.99	0.8	0.7	0.76	0.52	0.57	0.81	0.52
Dy	ppm	5.44	4.55	3.85	4.39	2.84	3.28	4.53	2.93
Ho	ppm	0.98	0.81	0.69	0.78	0.5	0.6	0.8	0.51
Er	ppm	2.96	2.4	2	2.42	1.46	1.85	2.37	1.5
Tm	ppm	0.41	0.33	0.28	0.35	0.2	0.26	0.33	0.21
Yb	ppm	3.03	2.39	2.01	2.68	1.44	1.95	2.34	1.5
Lu	ppm	0.48	0.37	0.31	0.42	0.22	0.29	0.37	0.22
Th	ppm	21.7	19.1	17.8	16.4	11.5	12.2	16.1	9.94
U	ppm	14.6	6.12	5.63	6.62	4.68	5.96	4.65	4.19
Eu/Eu*		0.68	0.73	0.73	0.69	0.7	0.76	0.72	0.76
(La/Yb) _n		13.62	14.39	14.22	10.26	14.28	8.92	13.77	13.03

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

Element	Units	TR3-14M	TR4-01M	TR4-02M	TR4-03M	TR4-04M	TR4-05M	TR4-06M	TR4-07M	TR4-08M	TR4-09M
Li	ppm	20.5	11.7	10.9	10.9	45.4	10.1	11.1	10.3	11.1	8.8
Be	ppm	3.9	4.2	3.9	3.9	5.2	4	3.7	3.3	3.6	3.7
Na	%	0.0201	0.0196	0.0201	0.0218	0.0122	0.0185	0.0193	0.0251	0.0248	0.0253
Mg	ppm	2260	2080	2380	1600	1230	2120	2390	1240	2160	2060
Al	%	0.0884	0.0838	0.09	0.0866	0.0524	0.0634	0.0833	0.0879	0.0896	0.0874
P	ppm	2140	2300	2260	2040	1390	2240	2230	2080	2380	2110
S	ppm	519	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	53	99	64
K	%	0.0576	0.0446	0.0373	0.0389	0.0403	0.0371	0.0468	0.0374	0.0529	0.0376
Ca	%	0.0105	0.0131	0.0176	0.0191	0.0165	0.0203	0.0256	0.012	0.0252	0.0164
Sc	ppm	5	4	6	5	2	2	5	5	6	5
Ti	ppm	5100	4560	4830	4900	3450	4530	4510	5420	5580	5520
V	ppm	357	156	164	147	101	162	158	149	164	152
Cr	ppm	< 2	< 2	< 2	< 2	3	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Mn	ppm	318	389	513	690	626	715	465	454	671	529
Fe	%	0.0311	0.0348	0.0368	0.0353	0.0215	0.035	0.0335	0.0347	0.0381	0.0395
Co	ppm	8.5	6.7	7.7	7.7	6	8.2	7.1	7.5	7.2	6.3
Ni	ppm	5	5	5	4	3	5	5	4	3	3
Cu	ppm	8507	49.4	29	54.2	5957	30.8	25.7	32.2	20.7	24.2
Zn	ppm	61.4	48.5	48.2	44	38.8	45	44.6	51.4	56.5	50.1
Ga	ppm	18.4	20.2	19.7	18.7	11.9	18.5	19.4	19.4	19.6	19.6
Ge	ppm	1.41	1.14	1.12	1.07	2.84	0.89	1	1.11	1.1	1.14
As	ppm	22.6	28.7	29.1	32.4	24.7	24.1	24.6	25.5	18.1	19.6
Se	ppm	12.8	0.19	0.21	0.19	0.16	0.2	0.23	0.14	0.23	0.16
Rb	ppm	133	143	126	122	111	109	145	138	173	135
Sr	ppm	548	544	576	531	357	503	532	462	492	458
Y	ppm	13.2	10.9	18.7	13.7	4.5	6.98	16.9	15.2	18.1	16
Zr	ppm	174	184	183	191	123	171	176	217	200	218
Nb	ppm	17.3	17	17.3	17.8	11.5	15.8	16.2	20.8	19.8	21.3
Mo	ppm	3.3	4.2	4.4	4	2.6	3.5	3.8	4.9	4.9	5.5
Ag	ppm	1	0.06	0.06	0.06	0.19	0.07	0.06	0.08	0.06	0.08
Cd	ppm	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
In	ppm	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05	0.05
Sn	ppm	1.6	1.8	2	1.8	1.3	1.8	1.9	2.3	2.2	2.5
Sb	ppm	3.2	1.7	2	2.4	6.5	2.2	2.2	2	1.9	2.1
Te	ppm	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2
Cs	ppm	3	2.8	2.5	2.1	1.5	2	2.1	1.8	2.4	2.3
Ba	ppm	1490	1550	1560	1390	940	1380	1550	1350	1460	1430
La	ppm	34.9	30.2	45.2	30.8	18.9	15	37.8	34.3	44.2	38.7
Hf	ppm	4.5	4.28	4.43	4.52	2.93	3.93	4.1	5.17	4.83	5.23
Ta	ppm	0.86	0.85	0.88	0.92	0.56	0.76	0.82	1.09	1.03	1.12
W	ppm	2.4	2.9	2.6	2.6	1.7	2.1	2.4	2.6	2.6	2.8
Re	ppm	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Hg	ppm	0.32	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	0.12	< 0.05	< 0.05	< 0.05
Tl	ppm	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Pb	ppm	33.8	26	25.5	24.6	16.3	23.1	24.8	27.9	27.2	27.9
Bi	ppm	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1
Ce	ppm	62.6	58.4	81.4	57.2	35.8	30.5	69.6	66.9	81.2	71.1
Pr	ppm	6.8	6.3	8.95	6.21	3.53	3.31	7.82	7.28	8.83	7.8
Nd	ppm	24.3	22.7	32.3	22.4	11.9	12	28.1	26.1	31.4	28.1
Sm	ppm	4.4	4.2	5.95	4.29	1.98	2.27	5.25	5.03	5.85	5.38
Eu	ppm	1.23	1.17	1.61	1.19	0.52	0.74	1.44	1.27	1.5	1.37
Gd	ppm	5.06	4.65	6.5	4.76	2.41	2.64	5.92	5.37	6.43	5.84
Tb	ppm	0.54	0.52	0.75	0.55	0.22	0.3	0.67	0.64	0.72	0.68
Dy	ppm	2.91	2.78	3.99	3.09	1.22	1.68	3.67	3.52	3.99	3.7
Ho	ppm	0.51	0.47	0.69	0.53	0.21	0.3	0.63	0.6	0.69	0.62
Er	ppm	1.47	1.38	1.98	1.56	0.57	0.86	1.86	1.73	1.94	1.78
Tm	ppm	0.2	0.19	0.26	0.21	0.07	0.12	0.26	0.24	0.26	0.23
Yb	ppm	1.43	1.33	1.95	1.53	0.55	0.88	1.81	1.7	1.85	1.68
Lu	ppm	0.21	0.2	0.29	0.23	0.08	0.13	0.27	0.26	0.28	0.25
Th	ppm	11.1	12.1	14.9	11.1	5.42	5.57	13	15.5	15.2	14.6
U	ppm	3.93	3.07	3.1	2.95	2.05	3.12	3.1	2.63	2.79	< 1
Eu/Eu*		0.8	0.81	0.79	0.81	0.73	0.92	0.79	0.75	0.75	16.11
(La/Yb) _n		16.45	15.31	15.63	13.57	23.17	11.49	14.08	13.6	0.75	15.53