

Research Article

Cenozoic magmatism petrogenesis and evolution in the Sangam mining district: using zircon mineral chemistry

Majid Ghasemi Siani¹, Behzad Mehrabi², Franz Neubauer³

¹ Associate Professor, Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran, m.ghasemi@khu.ac.ir

² Professor, Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran, mehrabi44@yahoo.com

³ Professor, Department of Environment and Biodiversity, Geology Division, Paris-Lodron-University of Salzburg, A-5020 Salzburg, Austria, franz.neubauer@plus.ac.at

ARTICLE INFO

Received: 12 January 2023

Accepted: 09 April 2023

Keywords

Petrogenesis
Magmatic Processes
Geochemistry
Zircon Chemistry
Sangan Magmatism



 10.22108/ijp.2023.136429.1290

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Zircon is a significant mineral due to its ubiquitous occurrence, chemically resistant and refractory, that can survive both weathering and transport processes as well as high-temperature metamorphism and anatexis (Ballard et al., 2002). It can, therefore, be found in many igneous, metamorphic, and sedimentary rocks and is particularly common in plutonic rocks. Zircon acts as a valuable archive of geochemical information regarding geochronology studies (Hoskin and Schaltegger, 2003), a record of the parent rock oxygen isotopic ratio (Hawkesworth and Kemp, 2006), provide a proxy for processes such as crustal recycling by Hf isotopic composition (Scherer et al., 2007), reflect the oxidation state of parent magma by Ce and Eu anomalies (Trail et al., 2012), and temperature estimation by Ti content (Hofmann et al., 2014).

The Sangan mining district, the largest skarn iron ore district in Iran, is located in the northeastern part of the Alborz Magmatic Arc. Fourteen skarn anomalies occur along the contact of the syenite to the syenogranite Sarnowsar pluton in the north and the Sarkhar and the Bermani plutons in the southeast (Mehrabi et al., 2021).

Previous works have used the zircon U–Pb geochronology, whole rock geochemistry, and zircon chemistry to constrain the emplacement age, fertility of magmatism, and petrogenesis of these granites (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013; Golmohammadi et

al., 2015; Mazhari et al., 2017; Mehrabi et al., 2021; Ghasemi Siani et al., 2022), but neglected the importance of zircon trace element concentrations when interpreting the parental magma evolution. Here, we examine the trace elements of zircons from Sarnowsar

 Corresponding Author

To cite this article: Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Neubauer, F. (2024) Cenozoic magmatism petrogenesis and evolution in the Sangan mining district: using zircon mineral chemistry. *Petrological Journal*, 15(1), 1-58.

and Sarkhar-Bermani intrusions, to verify the origin of these zircons and the evolution of the parent magma.

Regional Geology

The oldest rocks in the Sangan mining district include weakly metamorphosed Precambrian slates and metasilstones. The Lower Jurassic Shemshak Formation consists of chert, weakly metamorphosed and metasomatized shale, siltstone, and red sandstone. The Middle Jurassic rocks are characterized by limestones and marls of the Dalichay Formation. The overlying Upper Jurassic Lar Formation composed of limestone, dolostone, and dolomitic limestone. Cretaceous formations are dominated by massive limestone, conglomerate, and intercalated crystal tuff. These metasedimentary formations are uncomfortably covered by the intermediate to felsic volcanic rocks crosscutting by plutonic rocks. Intermediate to felsic volcanic rocks cover an area of 10 km² in the southwestern part of the Sangan mining district and extended within central ore bodies. Volcanic rocks include dacite, andesite, rhyolite, latite, and their pyroclastic equivalents.

Analytical methods

Zircon from Sarkhar and Bermani granitoids were analyzed at the State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan, using a laser ablation system, ICP-MS instrument (Agilent 7700a ICP-MS instrument). Also, samples from Sarnowsar granitoids were analyzed at the Nanjing Hongchuang Geological Exploration Technology Service Co. Ltd., China. Zircons were analyzed for trace elements using a laser energy density of 3.6 J/cm², a spot size of 30 µm, and a repetition rate of 5 Hz.

Results

Analytical data of zircon trace element concentrate are presented in the supplementary Table. Results are plotted against the ²⁰⁶Pb/²³⁸U date for each zircon grain. Zircons from the intrusions have scattered geochemical signatures that show no correlation with U–Pb dates. Conversely, some geochemical parameters of zircons from the intrusive rocks show distinct temporal trends. For example, zircon Yb/Dy and Ce/Nd values broadly increase with age younging. It should be noted that the Th/U and Ce/Nd of the Sarnowsar zircons are higher than those of Sarkhar and Bermani intrusions.

Discussion

Correlations between rock type and the trace element compositions of zircon from a wide range of igneous

rocks can be illustrated with a series of discriminant plots. For example, plots of Nb vs. Ta, Y versus Yb/Sm, and Y vs. Ce/Ce* and similar plots (Belousova et al., 2002) indicate that the studied zircons are classified as granitoid igneous type as a parental magma. The uniformly high Hf contents of zircons in this study point to their crystallization derived from a more evolved felsic magma, particularly Sarkhar and Bermani intrusions. The accompanying low Eu/Eu* ratios are indicative of plagioclase crystallization. The U/Yb ratio of zircons can be used to distinguish their origin (Grimes et al., 2015). Continental-arc zircons have U/Yb ratios mostly between 0.1 and 4, and low U/Yb ratios (<0.1) are characteristic of zircons derived from a mantle source. In the discrimination diagrams of U/Yb vs. Hf and U vs. Yb, all the obtained data are plotted in the continental-series area and are distinguishable from ocean crust zircons. In the U/Yb versus Nb/Yb diagram, both the whole-rock and zircon compositions show the characteristics of a magmatic-arc array. Overall, a continental-crust source for the zircons, mirroring the origin of the parent magma. The disparate geochemical behaviors of Hf, Th, and Nb within zircon provide a potential method for establishing the tectonic setting of host magma. The Nb content of arc magmas is depleted relative to magmas formed in within-plate settings (Pearce and Peat, 1995), and as such, arc zircons possess lower Nb/Hf and higher Th/Nb ratios at a comparable degree of magmatic fractionation. Accordingly, bivariate discrimination diagrams of Th/U vs. Nb/Hf and Th/Nb vs. Hf/Th are meaningful tools for distinguishing within-plate (anorogenic) from arc-related (orogenic) settings (Hawkesworth and Kemp, 2006). The majority of zircons are plotted in the orogenic field, signifying a magmatic-arc or orogenic setting and a calc-alkaline parent magma.

Conclusion

Based on the trace-element composition of zircon grains, whole-rock trace-element contents, and patterns of two granitoid intrusions in the Sangan mining district, the following conclusions can be drawn:

- The disparate geochemical behaviors of U, Hf, Th, and Nb indicate a continental-crust source in a magmatic-arc tectonic setting.
- All of the studied zircons are located in the granitoid igneous rocks fields with a series of discriminant plots.
- The studied zircon grains of the Sarnowsar show relatively high Ce⁴⁺/Ce³⁺ ratios, pointing to their formation in an oxidized magmatic medium.

سنگ‌زایی و تکامل ماگماتیسیم سنوزویک در منطقه معدنی سنگان با استفاده از شیمی زیرکن

مجید قاسمی سیانی^۱، بهزاد مهرابی^۲، فرانز نوی‌بایر^۳

^۱ دانشیار، گروه زمین‌شیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، m.ghasemi@khu.ac.ir

^۲ استاد، گروه زمین‌شیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران، mehrab44@yahoo.com

^۳ استاد، گروه محیط زیست و تنوع زیستی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه سالزبورگ، اتریش، franz.Neubauer@plus.ac.at

چکیده

اطلاعات مقاله

منطقه معدنی سنگان در خاوری‌ترین بخش کمان ماگمایی البرز جای دارد و ماگماتیسیم ولکانوپلوتونیک ائوسن باعث کانی‌سازی گسترده اسکارن آهن را در منطقه به دنبال داشته است. گرانیتیوید بارور سرنوسر در شمال منطقه و گرانیتیوید نابارور سرخر و برمانی در جنوب‌خاور منطقه یادشده رخنمون دارند که از گرانیتیویدهای کالک‌آلکان اسیدی به‌شمار می‌روند. نمودارهای Nb در برابر Y، Ta در برابر Y، Yb/Sm و Y در برابر Ce/Ce* نشان دادند زیرکن‌های بررسی‌شده در محدوده سنگ‌های آذرین گرانیتیویدی هستند. محتوای بالای Hf نشان می‌دهد تبلور توده‌های سرخر و برمانی از ماگمای فلسیکی با جدایش بلوری بالاتر رخ داده است. جدایش بلوری بیشتر در گرانیتیوید سرخر و برمانی با مقادیر آنومالی منفی Eu بیشتری (۰/۲ تا ۰/۲۷) نسبت به گرانیتیوید سرنوسر (۰/۱۲ تا ۰/۵۶) نیز نشان‌دهنده ارتباط با تبلور پلاژیوکلاز در گرانیتیویدها است. در نمودارهای تمایز U/Yb در برابر Hf و U در برابر Yb، همه زیرکن‌های بررسی‌شده در محدوده ترکیبی زیرکن‌های با خاستگاه پوسته قاره‌ای جای گرفته‌اند. بر پایه نمودارهای تمایز Th/U در برابر Nb/Hf و Th/Nb در برابر Hf/Th، بیشتر زیرکن‌های بررسی‌شده محدوده ترکیب زیرکن‌های کوهزایی را نشان می‌دهند که این ویژگی گویای تحول کمان ماگمایی یا کوهزایی مولد ماگماتیسیم کالک‌آلکان در منطقه معدنی سنگان است.

تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۱/۲۰

کلیدواژه‌ها

سنگ‌زایی
فرایندهای ماگمایی
زمین‌شیمی
شیمی زیرکن
ماگماتیسیم سنگان



doi 10.22108/ijp.2023.136429.1290

مقدمه

(REE)، U، Th و Hf را در ساختار خود جای می‌دهد. از این‌رو، یک کانی بسیار مهم با کاربردهای گوناگون و کلیدی در بررسی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی است. محتوای بالای عنصرهای سازگار اورانیم و توریم در زیرکن (Watson et al., 1997)، دمای بسته‌شدن بالا برای انتشار

زیرکن معمولاً یک کانی فرعی در سنگ‌های آذرین متوسط تا اسیدی به‌شمار می‌رود (Ballard et al., 2002). زیرکن معمولاً مقادیر چشمگیری از عنصرهای جزیی و کمیاب گوناگون مانند عنصرهای خاکی نادر

✉ نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: قاسمی سیانی، م.، مهرابی، ب.، نوی‌بایر، ف. (۱۴۰۳) سنگ‌زایی و تکامل ماگماتیسیم سنوزویک در منطقه معدنی سنگان با استفاده از شیمی زیرکن. پترولوژی ۱۵ (۱)، ۵۸-۱.

رخنمون‌های سنگی منطقه معدنی سنگان سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و رسوبی (مانند توف، آگلومرا، ریولیت، چرت، شیل‌های سیلیسی و آهک) به سن پرکامبرین (پروتروزوییک پسین) هستند که دچار دگرگونی ناحیه‌ای درجه کم، از نوع شیست سبز شده‌اند و در بخش‌های جنوبی و خاوری منطقه معدنی سنگان رخنمون دارند (Golmohammadi et al., 2015) (شکل ۱-B). سازند شمشک با سن ژوراسیک زیرین و سترای بیشتر از ۵۰۰ متر، شامل چرت، شیل با درجه دگرگونی ضعیف، سیلتستون و ماسه‌سنگ قرمز است (Golmohammadi et al., 2015). سنگ‌های شیلی و سیلتستون‌ها را دایک‌هایی با ترکیب داسیتی قطع کرده‌اند. واحدهای ژوراسیک میانی شامل آهک و مارن‌های سازند دلیچای هستند. سازند لار با سن ژوراسیک بالایی از سنگ‌آهک، دولستون و سنگ‌آهک دولومیتی ساخته شده است و میزبان کانی‌سازی سنگ آهن اسکارنی است (Golmohammadi et al., 2015) (شکل ۱-B). سازندهای کرتاسه در منطقه معدنی سنگان بیشتر شامل آهک ضخیم، کنگلومرا و توف بلورین است. واحد کنگلومرا و توف شامل مجموعه درهم‌آمیخته‌ای از سنگ‌های آذرآواری به‌صورت توف و کنگلومراهایی با قطعات آواری مانند سیلتستون و شیل است که بخش گسترده‌ای از حاشیه جنوبی منطقه معدنی سنگان را دربر می‌گیرد. سنگ‌های آتشفشانی شامل داسیت، آندزیت، ریولیت، لاتیت و هم ارزهای آذرآواری آنها در باختر منطقه معدنی سنگان گسترش دارند. دو توده آذرین درونی سرنوسر، سرخر و برمانی با ترکیب بیشتر سینیت و سینوگرانیت در منطقه معدنی سنگان رخنمون دارند که کوآرتزموئزونیت‌های پورفیری و سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا ریولیت آنها را همراهی می‌کنند.

سن سنجی به روش اورانیم-سرب در زیرکن (جدول ۱) نشان داد سینیت تا سینوگرانیت توده آذرین درونی سرنوسر در بخش باختری منطقه معدنی سنگان به سن 391 ± 0.6 تا 383 ± 0.5 میلیون سال پیش (Golmohammadi et al., 2015) و در بخش‌های مرکزی سرنوسر به سن 392 ± 0.6 میلیون سال پیش (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013) است. این

عنصرها در زنجیره واپاشی اورانیم (Heaman and Parrish, 1991) و مقاومت در برابر هوازدگی شیمیایی و فیزیکی (Harrison et al., 2007)، باعث شده‌اند کاربرد زیرکن در بررسی‌های سن‌سنجی بسیار دقیق باشد (Hoskin and Schaltegger, 2003). کاربردهای زمین‌شیمیایی دیگر زیرکن، شامل تعیین خاستگاه سنگ مادر بر پایه نسبت ایزوتوپی اکسیژن در زیرکن (Hawkesworth and Kemp, 2006; Kemp et al., 2007) و تعیین نقش فرایندهای پوسته‌ای در رخداد ماگماتیسیم (Scherer et al., 2007) است. افزون‌بر آن، ناهنجاری‌های Eu و Ce در زیرکن نشان‌دهنده حالت اکسیداسیون ماگمای مادر (Trail et al., 2012) و محتوای Ti زیرکن دمای تبلور، را نشان می‌دهد (Watson et al., 2006; Harrison et al., 2007; Hofmann et al., 2014).

منطقه معدنی سنگان در امتداد توده گرانیتیویدی سرنوسر در راستای باختری-خاوری به درازای ۲۰ کیلومتر و پهنای ۸ کیلومتر گسترش دارد. بررسی‌های بسیاری روی اسکارن‌زایی و ماگماتیسیم گرانیتیویدی در منطقه معدنی سنگان انجام شده است (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013; Golmohammadi et al., 2014, 2015; Mazhari et al., 2017; Mehrabi et al., 2021; Ghasemi Siani et al., 2022)، در این پژوهش سنگ‌زایی و تکامل ماگماتیسیم منطقه معدنی سنگان بر پایه شیمی زیرکن بررسی شده است و داده‌های به‌دست‌آمده با شیمی سنگ کل مقایسه شده‌اند.

مختصری بر زمین‌شناسی منطقه معدنی سنگان و ماگماتیسیم سنوزوییک

منطقه معدنی سنگان در شمال‌خاوری ایران در کرانه خاوری کمربند ماگمایی البرز جای گرفته است. کمربند ماگمایی البرز در بخش خاوری بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حد واسط و توده‌های گرانیتیویدی با ترکیبی از سینیت، سینوگرانیت، گرانیت، گرانودیوریت، کوآرتزموئزونیت و دیوریت ساخته شده است (شکل ۱-A) و متأثر از عملکرد گسل‌های فراوانی است که مهم‌ترین آنها گسل درونه و شاخه‌های فرعی آن است. قدیمی‌ترین

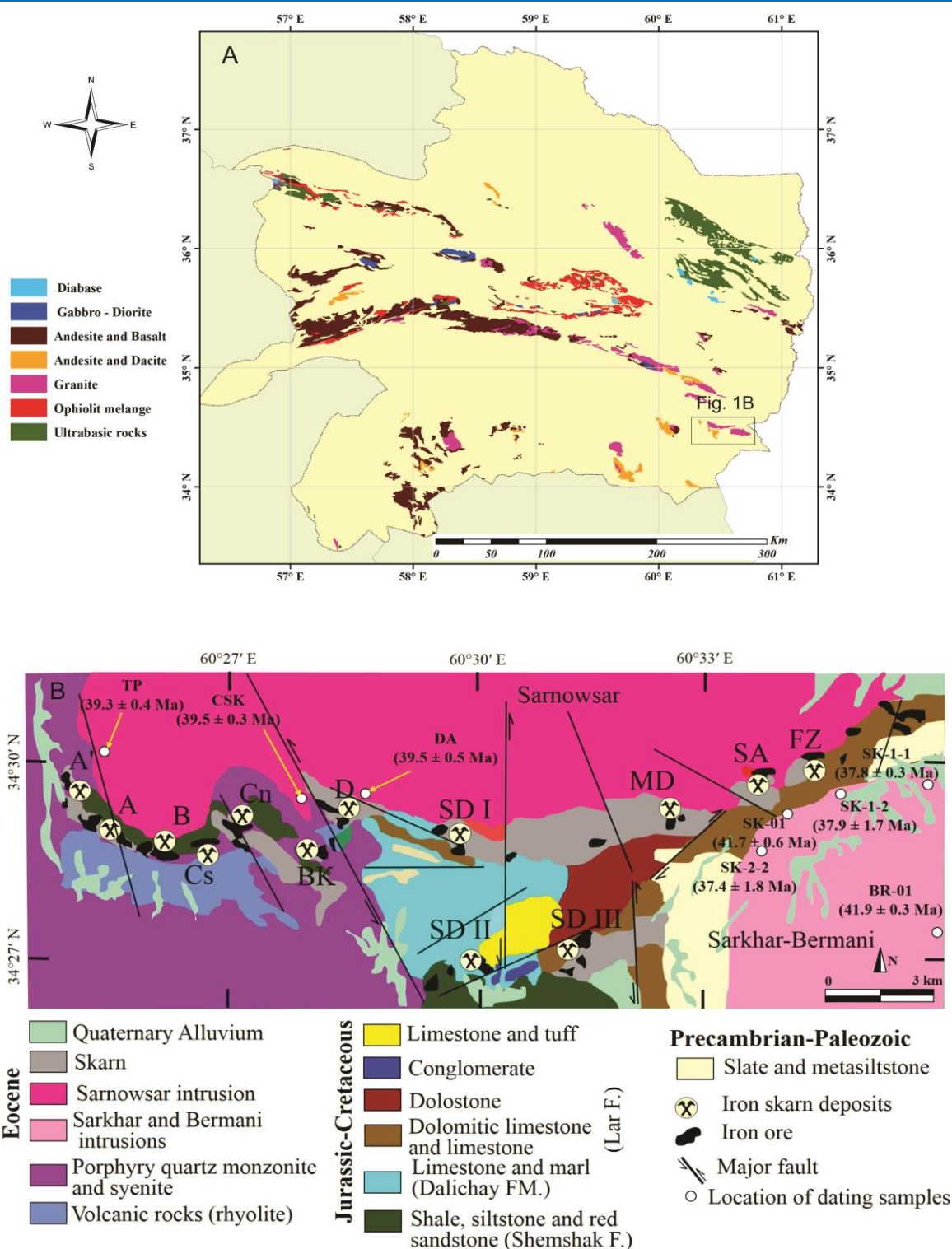
که نشان می‌دهد سن موزوگرانیت در توده آذرین درونی سرخر و برمانی به ترتیب 41.7 ± 0.6 و 41.9 ± 0.3 میلیون سال پیش است؛ اما سینوگرانیت در توده آذرین درونی سرخر به سن 37.8 ± 0.3 ، 37.9 ± 1.8 و 37.4 ± 1.8 میلیون سال پیش است (Ghasemi Siani et al., 2022). بررسی‌های پیشین نشان دادند گرانیتوئید سرنوسر در بازه دمایی بیشتری نسبت به گرانیتوئید سرخر و برمانی پدید آمده است و آنومالی مثبت Ce و نسبت‌های بالاتر Ce^{4+}/Ce^{3+} دارد. از این‌رو، گرانیتوئید سرنوسر عامل کانی‌سازی اسکارن در منطقه معدنی سنگان بوده است و از نوع بارور تلقی می‌شود؛ اما گرانیتوئیدهای سرخر و برمانی نابارور هستند و نقشی در کانی‌سازی اسکارن در منطقه معدنی سنگان ندارند (Ghasemi Siani et al., 2022). این بررسی‌ها نشان دادند گرانیتوئید سرنوسر در مجموع آنومالی Eu بالاتر از 0.3 گرم در تن، مقدار Ce بیشتر از $10,000 * (Eu/Eu^*)/Y$ گرم در تن و مقدار Th/U بالاتر از یک در گرانیتوئید سرنوسر نسبت به این مقدار در گرانیتوئید سرخر و برمانی که از یک کمتر و غالباً از 0.7 کمتر هستند نیز نشان‌دهنده باروربودن گرانیتوئید سرنوسر هستند (Ghasemi Siani et al., 2022).

سن‌ها با سن‌های سینوگرانیت‌های بخش باختری و مرکزی (39.6 ± 0.7 ، 39.3 ± 0.3 و 39.1 ± 0.4) به دست آمده توسط مهرابی و همکاران (Mehrabi et al., 2021) همخوانی دارند. سن‌های به دست آمده از توده آذرین درونی سرنوسر با سن اسکارن‌زایی (39.7 ± 0.4 تا 39.5 ± 0.4 میلیون سال) همخوانی دارد و نشان می‌دهد توده آذرین درونی سرنوسر کانی‌سازی اسکارن در منطقه معدنی سنگان را به دنبال داشته است (Mehrabi et al., 2021). سنگ‌های سینوگرانیتی توده آذرین درونی سرنوسر در بخش شمال‌خاوری منطقه معدنی سنگان سن 42.5 ± 0.8 تا 43.9 ± 0.1 میلیون سال پیش را نشان می‌دهند (Mazhari et al., 2017). کوارتز موزونیت و سینوگرانیت میزبان کانی‌سازی در بخش‌های غربی منطقه معدنی سنگان به سن 42.3 ± 0.8 و 40.0 ± 0.5 میلیون سال پیش است (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013). توده آذرین درونی سرخر و برمانی در بخش جنوب‌خاوری منطقه معدنی سنگان سن 40.6 ± 0.6 تا 40.8 ± 0.7 میلیون سال پیش را برای هورنبلند-بیوتیت سینوگرانیت و 40.8 ± 0.7 تا 40.6 ± 0.6 میلیون سال پیش را برای هورنبلند-بیوتیت موزوگرانیت نشان می‌دهد (Golmohammadi et al., 2014). این سن‌ها با سن‌های به دست آمده توسط قاسمی سیانی و همکاران (Ghasemi Siani et al., 2022) همخوانی دارند.

جدول ۱. خلاصه‌ای از نتایج سن‌سنجی اورانیم-سرب در منطقه معدنی سنگان.

Table 1. A summary of U-Pb dating in the Sangan mining district.

Intrusion	Rock type	U-Pb age (Ma)	Reference
Sarnowsar (west part)	Syenite, Syenogranite	39.1 ± 0.6 38.3 ± 0.5	Golmohammadi et al. (2015)
Sarnowsar (central part)	Syenogranite	39.2 ± 0.6 42.3 ± 0.8	Malekzadeh Shafaroudi et al. (2013)
Subvolcanic rocks (west part)	Syenogranite, Monzogranite	40.0 ± 0.5 39.6 ± 0.7	Malekzadeh Shafaroudi et al. (2013)
Sarnowsar (west and central part)	Syenogranite	39.3 ± 0.3 39.1 ± 0.4 39.7 ± 0.4	Mehrabi et al. (2021)
Sarnowsar related skarn	Skanification	39.5 ± 0.4 42.5 ± 0.8	Mehrabi et al. (2021)
Sarnowsar (east part)	Syenogranite	43.9 ± 0.1 40.2 ± 0.4	Mazhari et al. (2017)
Volcanic rock	Rhyolite	40.6 ± 0.6	Mehrabi et al. (2021)
Sarkhar and Bermani	Hornblende-biotite syenogranite	40.8 ± 0.7	Golmohammadi et al. (2014)
Sarkhar and Bermani	Hornblende-biotite monzogranite	41.9 ± 0.3	Golmohammadi et al. (2014)
Bermani	Monzogranite	41.7 ± 0.6	Ghasemi Siani et al. (2022)
Sarkhar	Monzogranite	37.8 ± 0.3 37.9 ± 1.8	Ghasemi Siani et al. (2022)
Sarkhar	Syenogranite	37.4 ± 1.8	Ghasemi Siani et al. (2022)



شکل ۱. A) جایگاه ناحیه معدنی سنگان در کرانه خاوری کمان ماگمایی البرز؛ B) نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده منطقه معدنی سنگان و موقعیت کانسارهای A، A'، B، Cs و Cn، باغک (BK)، دردوی (D)، سنجدک یک تا سه (SDI، SDII، SDIII)، معدن جو (MD)، سم‌آهانی (SA) و فرزنه (FZ) همراه با ماگماتیسم همراه نشان داده شده است.

Figure 1. A) Location of Sanghan ore district in the far eastern part of the Alborz Magmatic Arc; **B)** Simplified geological map of Sanghan ore district and location of A, A', B, Cs, Cn, Baghak (BK), Dardvay (D) Senjedak I to III (SDI, SDII, and SDIII), Madanjoo (MD), Some-ahani (SA) and Ferezhneh (FZ) ore deposits.

روش انجام پژوهش

ترکیب عنصرهای فرعی و کمیاب در ۲۶۱ بلور زیرکن ۱۱ نمونه شامل پنج نمونه از توده آذرین درونی سرنوسر و اسکارن مرتبط با آن و نیز توده آذرین درونی سرخر-برمانی بررسی شد. زیرکن‌های جدا شده از گرانیتوئیدی سرخر-برمانی (نمونه‌های شماره‌های SK-01, SK-1-1, SK-1-2, BR-01 و SK-2-2) به دانشگاه علوم زمین ووهان در چین فرستاده شدند و تجزیه بلورهای زیرکن با GeolasPro Laser Ablation System انجام شد. این سیستم شامل COMpexPro 102 ArF excimer laser با طول موج ۱۹۳ نانومتر و بیشینه انرژی ۲۰۰ میلی‌ژول و یک MicroLas Optical System است. قطر تجزیه نقاط انتخاب شده روی بلورهای زیرکن برابر ۳۲ میکرون با فرکانس ۵ هرتز بود که با کمک دستگاه Agilent 7700e ICP-MS تجزیه شیمیایی شدند. از استاندارد شیشه NIST610 برای کالیبره کردن داده‌های شیمیایی زیرکن بهره گرفته شد (داده‌های شیمیایی زیرکن در پیوست ۱ آورده شده‌اند).

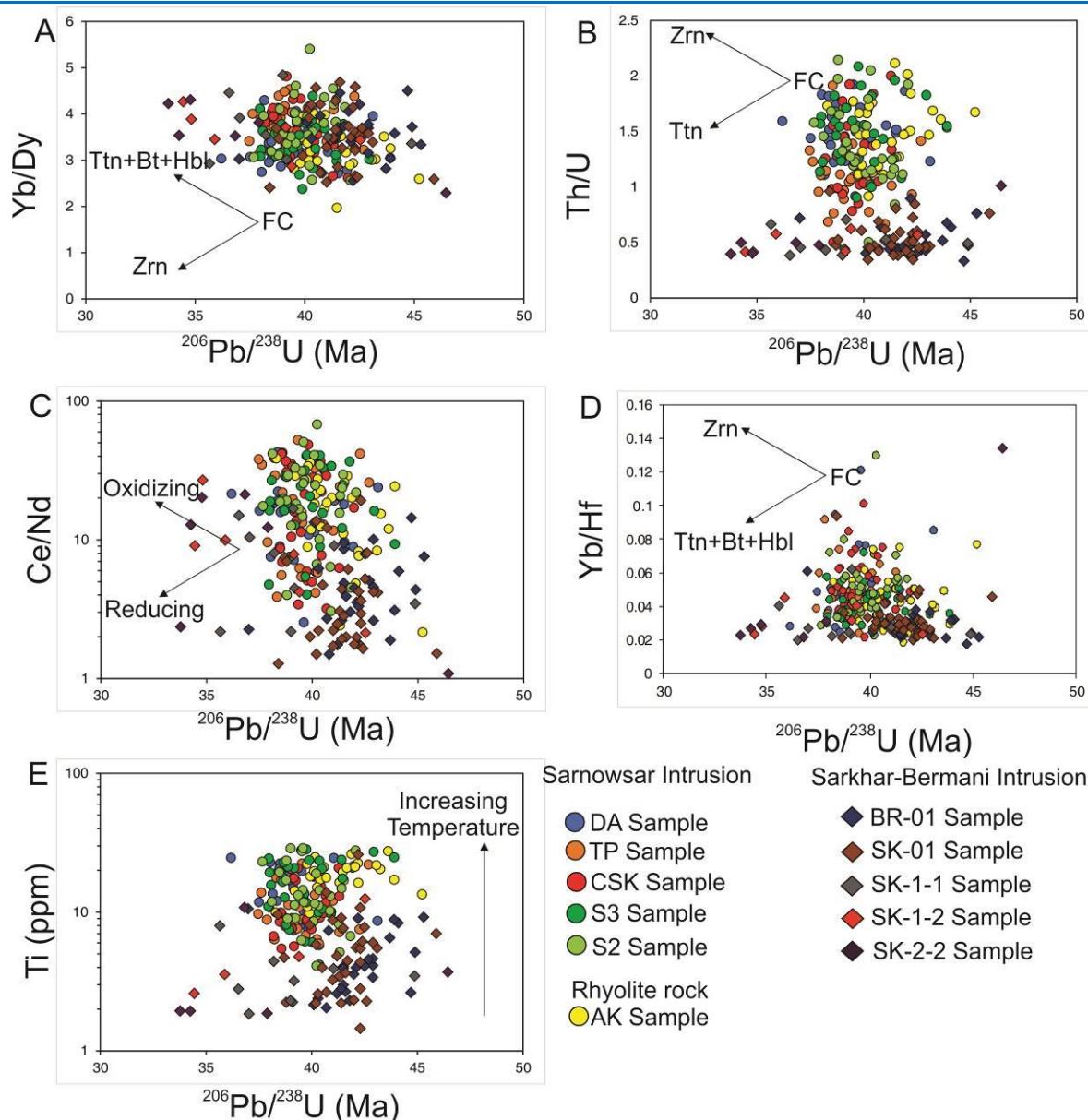
زیرکن‌های جدا شده از نمونه‌های سرنوسر و اسکارن وابسته به آن (نمونه‌های شماره TP, DA, CSK و S3 و S2) و نمونه سنگ آتشفشانی ریولیت (نمونه AK) در دانشگاه نانجینگ چین^۱ با کمک چگالی انرژی لیزر ۳.۶ J/cm² قطر نقطه تجزیه ۳۰ میکرومتر و فرکانس ۵ هرتز برای عنصرهای کمیاب تجزیه شدند. از استاندارد های NIST 610 و زیرکن ۹۱۵۰۰ (Wiedenbeck, 1995, 2004) برای کالیبراسیون بهره گرفته شد. داده‌های شیمیایی سنگ کل توده‌های آذرین درونی سرنوسر، سرخر و برمانی از بررسی‌های پیشین (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2013; Golmohammadi et al., 2014, 2015; Mazhari et al., 2017; Mehrabi et al., 2021) گردآوری شدند و در پیوست ۱ آورده شده‌اند. محاسبات بر پایه نرم‌افزار Geo-fO₂ نسخه ۰.2 (Li et al., 2019) انجام شده است.

داده‌های شیمیایی

داده‌های شیمیایی بلورهای زیرکن بررسی شده در برابر سن ²⁰⁶Pb/²³⁸U آنها در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. برخی پارامترهای زمین‌شیمیایی زیرکن‌های بررسی شده روندهای زمانی مشخصی را نشان می‌دهند. مقادیر Yb/Dy در زیرکن‌های سرنوسر، سرخر و برمانی به‌طور محدود با جوان شدن کمی روند افزایشی نشان می‌دهند که این روند با تبلور هورنبلند و بیوتیت در این گرانیتوئیدها همخوانی دارد و درشت‌بلورهای اصلی آنها نیز به‌شمار می‌روند (شکل ۲-۲A). بر پایه نسبت Th/U، زیرکن‌های سرنوسر، سرخر و برمانی تفکیک شدند. زیرکن‌های سرخر و برمانی مقادیر کمتری از Th/U دارند و نسبت به زمان روند مشخصی را نشان نمی‌دهند (شکل ۲-۲B). این تفکیک گرانیتوئیدها در مقادیر Ti, Yb/Hf و Ce/Nd نیز دیده می‌شود (شکل‌های ۲-۲C تا ۲-۲E). محتوی Yb/Hf با سن روند مشخصی را نشان نمی‌دهد و نشان‌دهنده تبلور بیوتیت و هورنبلند در گرانیتوئیدهای بررسی شده است؛ اما مقادیر Ce/Nd با جوانی روند مستقیمی را نشان می‌دهد و با جوان شدن گرانیتوئیدها، مقادیر Ce/Nd روند افزایشی نشان می‌دهد. این روند افزایشی برای زیرکن‌های گرانیتوئید سرنوسر بیشتر از زیرکن‌های سرخر و برمانی است و نشان‌دهنده شرایط فوگاسیته اکسیژن بالاتر در زمان پیدایش این گرانیتوئیدهاست. شرایط اکسیدان بالاتر گرانیتوئید سرنوسر باعث شده است این گرانیتوئید کانی‌سازی اسکارن در منطقه معدنی سنگان را به‌دنبال داشته باشد (Ghasemi Siani et al., 2022). در سنگ‌های جوان‌تر مقدار Ti کمتر شده است. مقدار Ti بالاتر در زیرکن‌های گرانیتوئید سرنوسر نشان‌دهنده دمای بالاتر پیدایش این گرانیتوئید است (به Ghasemi Siani et al. (2022) مراجعه شود).

میانگین فراوانی عنصرهای کمیاب و عنصرهای خاکی نادر به‌نجارشده به ترکیب کندریت (Sun and McDonough, 1989) برای زیرکن‌های بررسی شده از هر نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است.

¹ Nanjing Hongchuang Geological Exploration Technology Service Co.

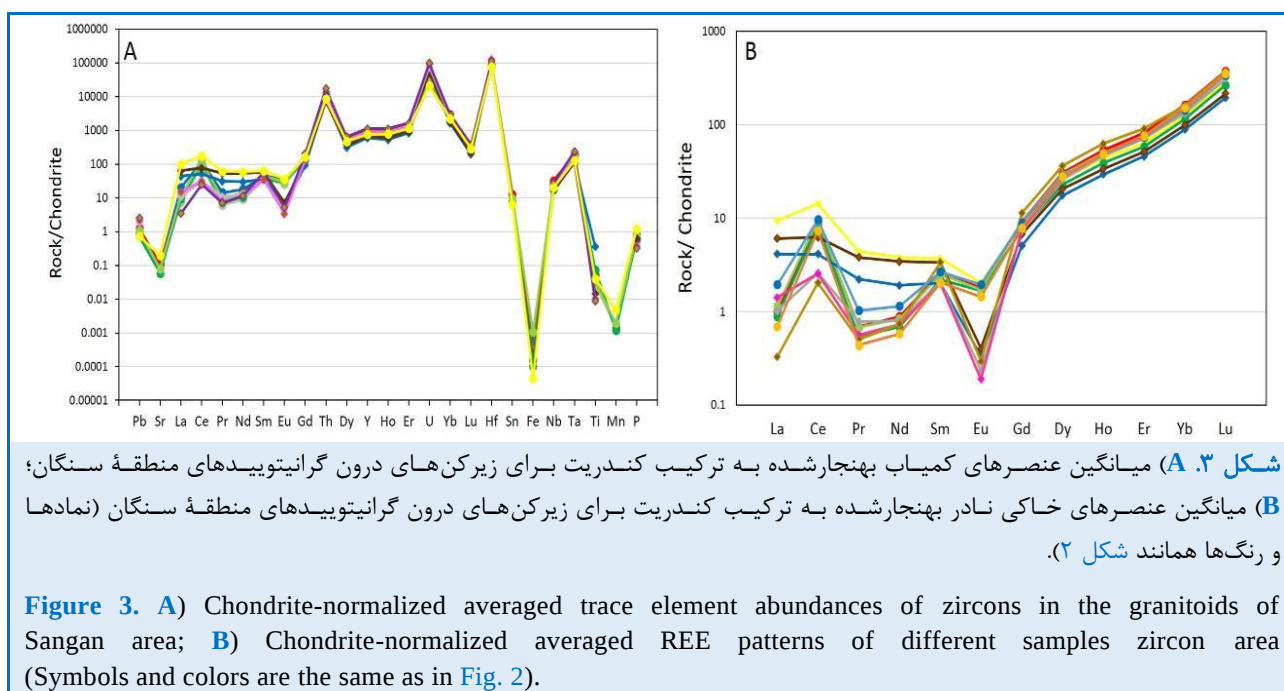


شکل ۲. سن اورانیم-سرب زیرکن‌ها در برابر (A) Yb/Dy؛ (B) Th/U؛ (C) Ce/Nd به عنوان شاخصی برای آنومالی Ce و مرحله اکسایش؛ (D) Yb/Hf؛ (E) محتوی Ti بر پایه گرم در تن به عنوان شاخصی از دمای پیدایش زیرکن (FC: روند جدایش بلوری؛ Zrn: زیرکن؛ Ttn: تیتانیوم؛ Bt: بیوتیت؛ Hbl: هورنبلند؛ نمودارها و روندهای آن بر پایه Chelle-Michou et al. (2014) هستند).

Figure 2. U-Pb age of zircons versus A) Yb/Dy; B) Th/U; C) Ce/Nd as a proxy for the zircon Ce anomaly and oxidation state; D) Yb/Hf; E) Ti (ppm) as a proxy for the zircon temperature (FC: fractional crystallization trends; Zrn: zircon; Ttn: titanite; Bt: biotite; Hbl: hornblende; diagrams and trends are based on Chelle-Michou et al. (2014)).

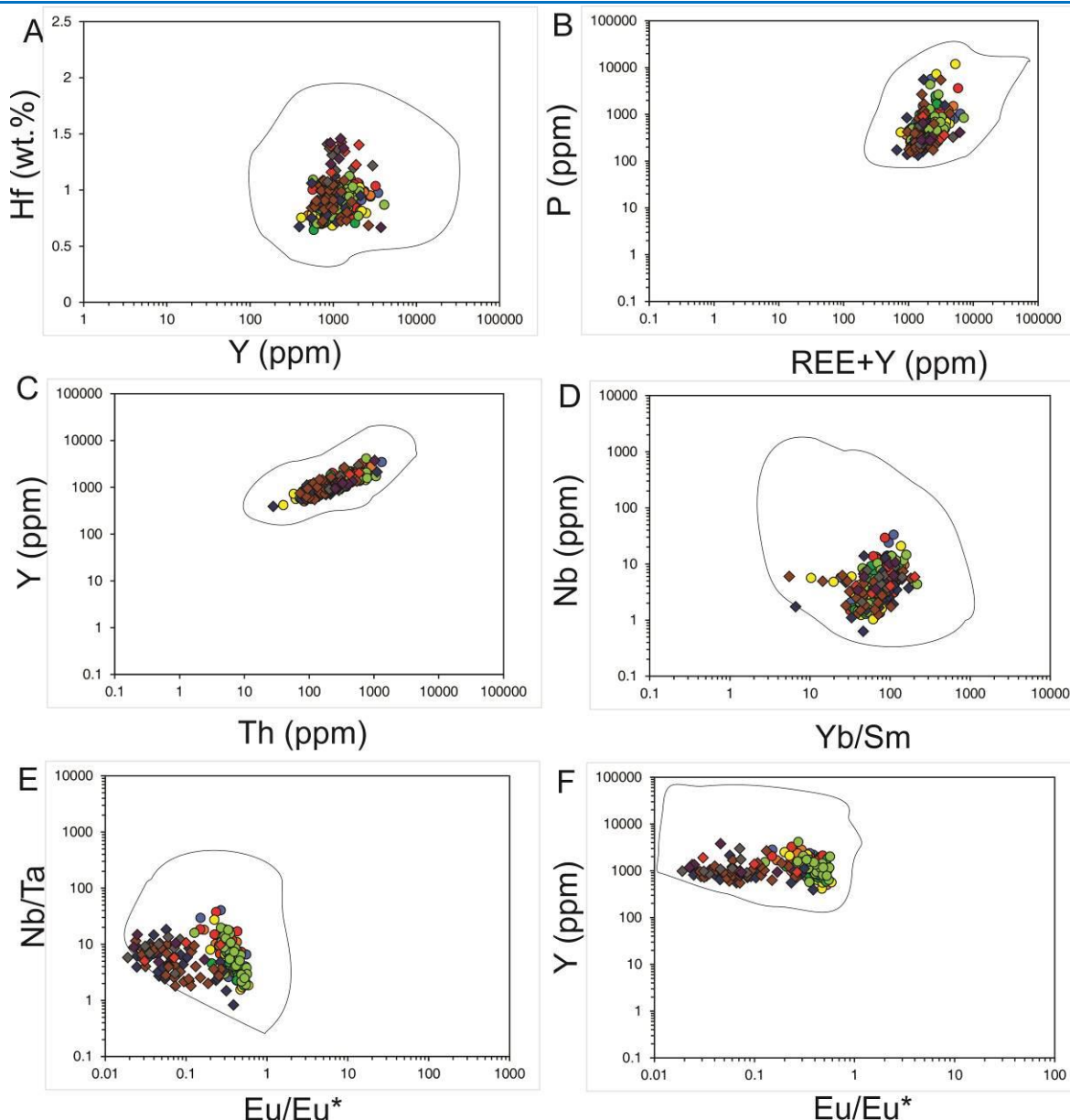
محدوده ترکیبی زیرکن‌های مرتبط با توده‌های گرانیتویدی جای می‌گیرند (شکل ۴-۱). غلظت Y نیز در همه زیرکن‌های بررسی شده در محدوده یکسانی جای دارد که نشان‌دهنده ماگماتیسیم گرانیتویدی است (پیوست ۱؛ شکل ۴-۱).

پراکندگی برخی عنصرهای کمیاب منتخب نسبت به یکدیگر در شکل ۴ نشان داده شده است. غلظت Hf در زیرکن‌های توده گرانیتویدی سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و سنگ آتشفشانی ریولیتی با غلظت Hf در زیرکن‌های گرانیتوید سرخر و برمانی برابر است و در



(پیوست ۱؛ شکل B-۴). اگرچه غلظت Mn و Fe زیرکن‌های گرانیتوئید سرخر و برمانی تعیین نشده، ولی این مقادیر برای زیرکن‌های توده گرانیتوئیدی سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و ریولیت نسبت به کندریت تهی‌شدگی شدیدی را نشان می‌دهد مطابق با مقادیر ناچیز این عنصرها در زیرکن‌های گرانیتوئید است (شکل A-۳). غلظت U، Th و Ta نیز نسبت به کندریت غنی‌شدگی نشان می‌دهند (شکل A-۳). غلظت Y و Th در همه زیرکن‌های بررسی‌شده در محدوده زیرکن‌های گرانیتوئیدی واقع شده و یک همبستگی مثبت قوی را در کل محدوده غلظت‌ها نشان می‌دهند (شکل C-۴). غلظت Nb و Yb/Sm نیز همبستگی نشان می‌دهند و برای همه زیرکن‌های بررسی‌شده غلظتی در محدوده زیرکن‌های گرانیتوئیدی را نشان می‌دهند (شکل D-۴). اگرچه غلظت Nb/Ta و Y در برابر Eu/Eu^* در محدوده زیرکن‌های گرانیتوئیدی جای دارند؛ اما به‌علت تفاوت در مقدار Eu/Eu^* آنها، دو گرانیتوئید از یکدیگر تفکیک و شناسایی می‌شوند (شکل‌های F-۴ و E-۴).

غلظت P در زیرکن‌های سنگ‌های گرانیتوئیدی از صدها تا هزاران ppm متغیر است (Belousova et al., 2002). غلظت P در زیرکن‌های توده گرانیتوئیدی سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و ریولیت (با میانگین ۹۸۳ ppm برای نمونه DA، ۶۳۹ ppm برای TP، ۷۵۱ ppm برای نمونه CSK، ۱۴۵۰ ppm برای نمونه AK، ۷۸۸ ppm برای نمونه S2، و ۸۹۵ ppm برای نمونه S3) کمی بیشتر از غلظت P در زیرکن‌های گرانیتوئید سرخر و برمانی (با میانگین ۶۷۵ ppm برای نمونه BR-01، ۴۰۲ ppm برای نمونه SK-01، ۴۵۲ ppm برای نمونه SK-1-1 و ۳۹۴ ppm برای نمونه SK-2-2) است. با این حال این مقادیر نشان‌دهنده زیرکن‌های سنگ‌های گرانیتوئیدی و نمونه‌ها در محدوده این سنگ‌ها قرار گرفته‌اند (پیوست ۱؛ شکل B-۴). مجموع عنصرهای خاکی نادر در زیرکن‌های توده گرانیتوئیدی سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و ریولیت بیشتر از زیرکن‌های گرانیتوئید سرخر و برمانی است که یک رابطه مستقیم با غلظت P در زیرکن‌های بررسی‌شده دارد



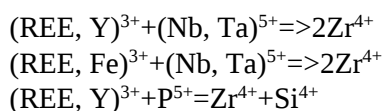
شکل ۴. ترکیب عنصرهای کمیاب برای زیرکن‌های درون گرانیتوئیدهای منطقه سنگان (بر پایه Belousova et al. (2002) (نمادها و رنگ‌ها شبیه به شکل ۲).

Figure 4. Trace element composition of zircons in the granitoids of the Sangon area (after Belousova et al., 2022) (Symbols and colors are the same as in Fig. 2).

۰/۳۹ (برای نمونه S3) برای گرانیتوئید سرنوسر است. این مقادیر برای نمونه آتشفشانی (AK) نیز از ۰/۲ تا ۰/۵۸ با میانگین ۰/۳۹ است. مقادیر آنومالی منفی Eu/Eu^* برای زیرکن‌های گرانیتوئید سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و سنگ آتشفشانی ریولیتی آنومالی از مقادیر آنومالی منفی Eu در زیرکن‌های توده گرانیتوئیدی سرخر و برمانی کمتر

آنومالی Eu/Eu^* بر پایه مقادیر بهنجار شده غلظت‌های Gd و Sm به دست آورده شد. آنومالی Eu/Eu^* از ۰/۱۵ تا ۰/۵۵ با میانگین ۰/۴۱ (برای نمونه DA)، ۰/۱۶ تا ۰/۵۳ با میانگین ۰/۳۶ (برای نمونه TP)، از ۰/۱۵ تا ۰/۵۳ با میانگین ۰/۳۵ (برای نمونه CSK)، از ۰/۱۲ تا ۰/۵۶ با میانگین ۰/۳۷ (برای نمونه S2) و از ۰/۲ تا ۰/۵۳ با میانگین

نشان داد (Belousova et al., 2002) (شکل ۵). در نمودار Ta در برابر Nb، نمونه‌های زیرکن در محدوده سنگ‌های گرانودیوریت و تونالیت جای دارند (شکل ۵-۱). در نمودار تمایز خاستگاه و نوع ماگما بر پایه Nb/Ta برابر Y نیز زیرکن‌های بررسی‌شده در محدوده سنگ‌های گرانودیوریت و تونالیت جانمایی می‌شوند (شکل ۵-۲). همبستگی مثبت معنی‌دار میان غلظت Nb و Ta و همبستگی مثبت Nb/Ta و Y (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲) و همچنین، مجموع عنصرهای خاکی نادر و Y (نشان داده نشده است) نشان‌دهنده جانشینی‌های دوتایی زیر هستند (Belousova et al., 2002):



این رفتار عنصرها نشان می‌دهند عنصرهای ناسازگار گرایش به تمرکز بیشتر در ماگماهای تکامل‌یافته‌تر دارند و ماگماهای گرانیتیویدی بیشترین مقدار این عنصرها را در ترکیب خود دارند. مقدارهای بالای عنصرهای خاکی نادر در زیرکن‌های بررسی‌شده نشان‌دهنده خاستگاه اسیدی و گرانیتیویدی برای نمونه‌های بررسی‌شده است. در نمودارهای متمایزکننده Yb/Sm به Y و U به Y نیز بیشتر زیرکن‌های بررسی‌شده در محدوده سنگ‌های گرانودیوریت و تونالیت جای دارند (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲). از آنجایی که شعاع یونی REE از La^{3+} به Lu^{3+} کاهش می‌یابد (Shannon, 1976)، جایگزینی در شبکه زیرکن کم‌کم برای REE با عدد اتمی بالاتر آسان‌تر می‌شود (Hanchar et al., 2001). از این‌رو، الگوهای REE برای زیرکن که به ترکیب کندریت بهنجار شده‌اند به سرعت از Sm به Lu افزایش نشان می‌دهند (شکل ۵-۲). از این‌رو، افزایش U، Nb/Ta و Yb/Sm با افزایش مقدار Y (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲) در زیرکن، نشان‌دهنده درجه جدایش بلوری در ماگماست. زیرکن‌های بررسی‌شده در نمودارهای Eu/Eu^* در برابر Ce/Ce^* و Ce/Ce^* در برابر Y، در محدوده سنگ‌های گرانودیوریت و تونالیت به سمت بیرون از محدوده جای گرفته‌اند (شکل‌های ۵-۱ و ۵-۲). این پدیده شاید

است که مقادیر میانگین ۰/۱۱ (نمونه BR-01)، ۰/۰۹ (نمونه SK-01)، ۰/۰۵ (نمونه SK-1-1)، ۰/۱۲ (نمونه SK-1-2) و ۰/۰۷ (نمونه SK-2-2) نشان می‌دهند. نمودار عنکبوتی نشان‌دهنده آنومالی مثبت Ce در زیرکن‌های بررسی‌شده است (شکل ۳-۲)؛ به گونه‌ای که زیرکن‌های سرنوسر آنومالی مثبت Ce با میانگین ۳۶۱/۶۸ (برای نمونه DA)، ۲۰۸/۸۶ (برای نمونه TP)، ۲۳۷/۶۸ (برای نمونه CSK)، ۲۵۶/۴ (برای نمونه S2) و ۲۶۶/۲۲ (برای نمونه S3) دارند. آنومالی مثبت Ce زیرکن‌های ریولیت با میانگین ۲۶۴/۴۲ نیز همانند زیرکن‌های گرانیتیوید سرنوسر است. این مقادیر بسیار بیشتر از آنومالی Ce در زیرکن‌های گرانیتیوید سرخر و برمانی با میانگین ۲۵/۲۹ (نمونه BR-01)، ۱۷/۲۳ (نمونه SK-01)، ۲۱/۸۴ (نمونه SK-1-1)، ۵/۲۱ (نمونه SK-1-2) و ۲۹/۷ (نمونه SK-2-2) هستند و این ویژگی نشان‌دهنده شرایط بسیار اکسیدان‌تر توده گرانیتیوید سرنوسر است (Ghasemi Siani et al., 2022). از دیدگاه تئوری، عنصرهای REE در ماگماها بیشتر سه ظرفیتی هستند، مگر Ce^{+4} و Eu^{+2} که رفتارهای متفاوتی با عنصرهای دیگر نشان می‌دهند. Ce^{+4} به سادگی در جایگاه Zr^{+4} زیرکن و Eu^{+2} در جایگاه Ca^{+2} پلاژیوکلاز جای می‌گیرد. از این‌رو، آنومالی‌های مثبت Ce نشان‌دهنده محیط نسبتاً اکسیدان‌تری هستند (El-Bialy and Ali, 2013). از آنجایی که پلاژیوکلاز ترجیحاً Eu^{+2} را در خود جای می‌دهد، زیرکن که بعداً متبلور می‌شود، ناهنجاری‌های Eu پایینی را نشان می‌دهد که درباره گرانیتیویدهای سرخر و برمانی بدین گونه است.

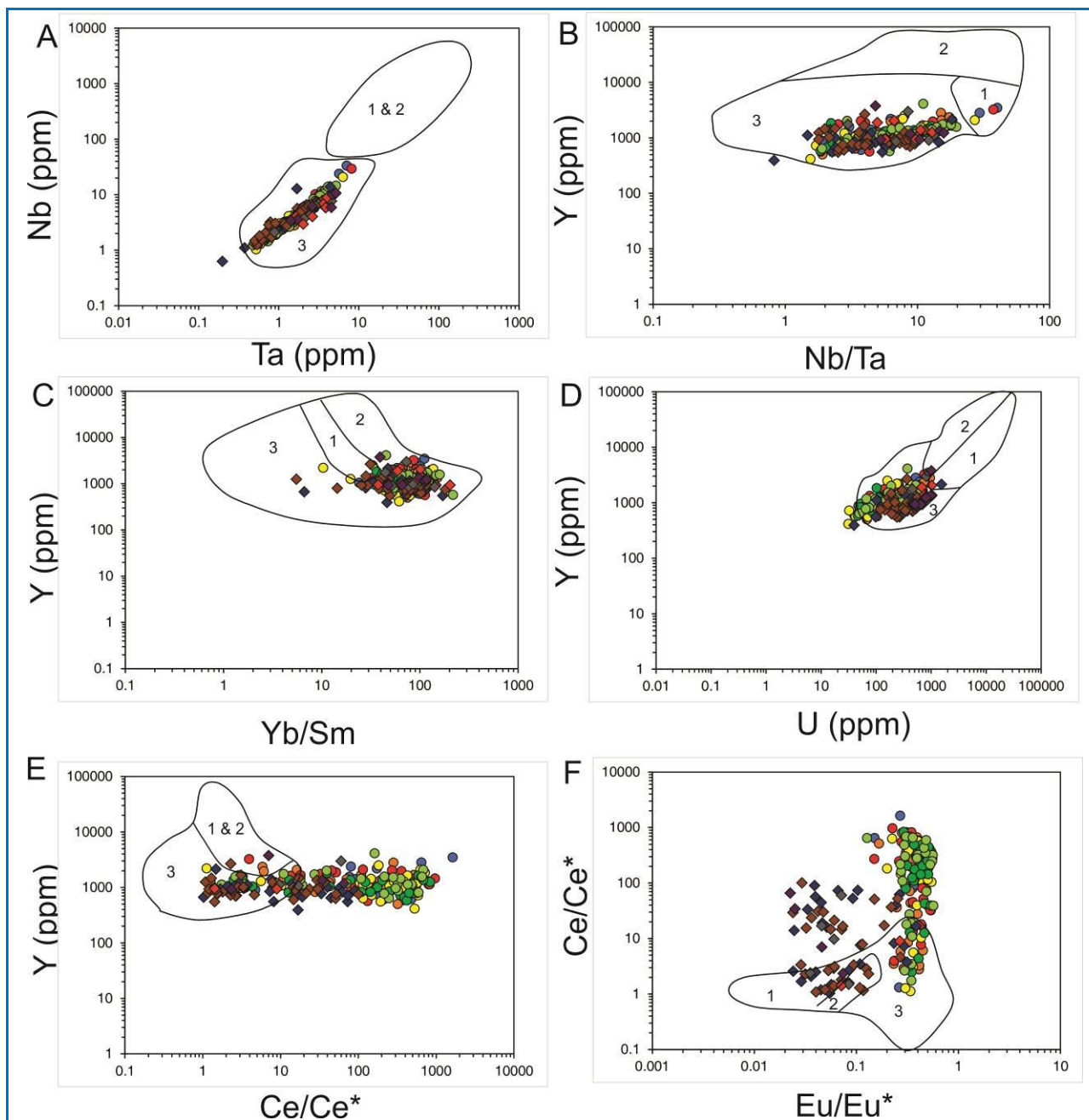
بحث

بررسی رفتار عنصرهای کمیاب در زیرکن و تعیین نوع ماگماتیسیم:

همبستگی میان نوع سنگ و ترکیب عنصرهای کمیاب زیرکن از طیف گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین را می‌توان با گروهی از نمودارهای متمایزکننده خاستگاه و نوع ماگما

آنومالی مثبت Ce/Ce^* ، گرانیتیوید سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و سنگ آتشفشانی از زیرکن‌های گرانیتیوید سرخر و برمانی تفکیک شده‌اند.

پیامد آنومالی منفی Eu/Eu^* و آنومالی مثبت $Ce-Ce^*$ باشد و به ترتیب تبلور پلاژیوکلاز و شرایط اکسایش بالاتر را نشان می‌دهد (Ballard et al., 2002). در هر دو نمودار به علت تفاوت در مقدار آنومالی منفی Eu/Eu^* و



شکل ۵. محدوده‌های ترکیب عنصرهای کمیاب زیرکن برای شناسایی سنگ‌های با خاستگاه مختلف در منطقه معدنی سنگان. محدوده سنگ‌های گرانیتیویدی شامل (۱) آپلیت و لوکوگرانیت؛ (۲) گرانیت‌ها، و (۳) گرانودیوریت و تونالیت (بر پایه Belousova et al., 2002). نمادها همانند شکل ۲).

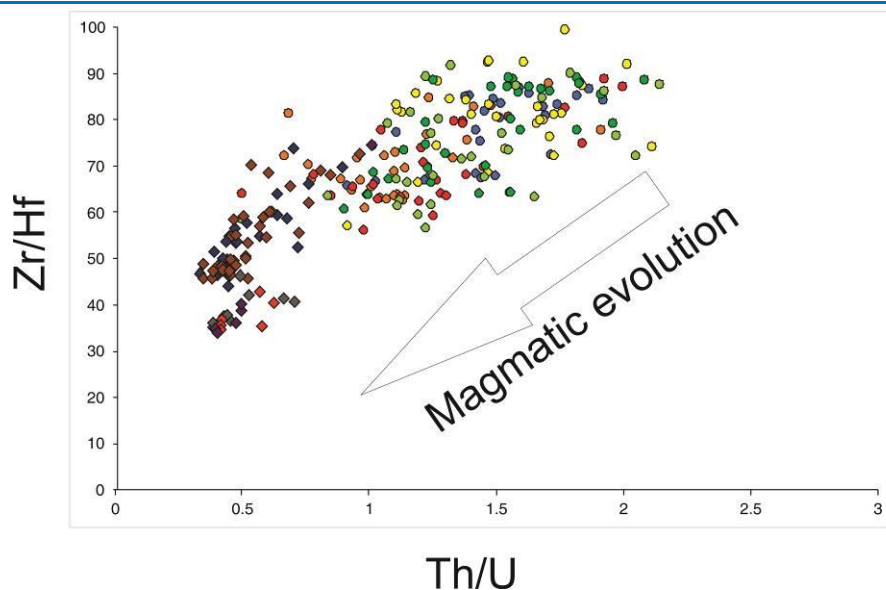
Figure 5. Zircon compositions are used as different rock types discriminants. Granitoids fields include 1) aplite and leucogranites; 2) granites, and 3) granodiorites and tonalities (after Belousova et al., 2002) (Symbols are the same as in Fig. 2).

تکامل ماگمایی:

نسبت عنصرهای کمیاب زیرکن‌های بررسی‌شده نسبت به سن بلورهای زیرکن پراکندگی کمی را نشان می‌دهند (شکل ۲). از آنجایی که زیرکن مخزن اصلی عنصرهای کمیاب بوده، تبلور آن تمرکز عنصرهای کمیاب مذاب را کنترل می‌کند. تبلور زیرکن پتانسیل تفکیک Th از U را دارد؛ به گونه‌ای که تکامل Th/U به‌طور چشمگیری با تبلور زیرکن کنترل می‌شود. از این‌رو، می‌توان گفت تکامل گرانیتوئید سرنوسر را بیشتر تبلور زیرکن کنترل کرده است؛ اما در گرانیتوئید سرخر و برمانی، تبلور تیتانیت تکامل ماگمایی را کنترل کرده است. از این‌رو، مقدار Th/U در این دو گرانیتوئید متفاوت است (شکل B-۲). از سوی دیگر، افزایش Yb/Dy با کاهش سن زیرکن‌های بررسی‌شده نشان‌دهنده تبلور هورنبلند در ماگماست (Chelle-Michou et al., 2014) (شکل A-۲). نسبت تقریباً ثابت Yb/Hf (شکل D-۲) نشان می‌دهد افزایش غلظت Yb با تبلور مقدار معینی هورنبلند و یا تیتانیت معادل افزایش غلظت Hf با تبلور مقدار کمتری از زیرکن است. کاهش دمای تبلور زیرکن طی زمان ۶ میلیون سال در هر دو گرانیتوئید به‌خوبی دیده می‌شود (شکل E-۲) که فرایند جدایش بلوری ماگمایی را طی زمان نشان می‌دهد. توده‌های سرخر و برمانی احتمالاً در ضخامت کمتری از پوسته نسبت به گرانیتوئید سرنوسر جایگزین شده‌اند و دمای کمتری داشته‌اند؛ از این‌رو، دما و ضخامت کمتر جایگیری در پوسته باعث شده است مقدار آنومالی مثبت Ce کمتری داشته باشند و در نتیجه نقشی در کانی‌سازی اسکارن نداشته‌اند. مقدار Ce/Nd در زیرکن‌های گرانیتوئید سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و سنگ‌های آتشفشانی ریولیتی بیشتر از زیرکن‌های گرانیتوئیدی سرخر و برمانی است که نشان می‌دهد ماگماتیسم شرایط اکسیدان تری داشته است و عامل کانی‌سازی اسکارن در ناحیه معدنی سنگان بوده است. این بدان معنی است که ماگماتیسم سرنوسر با شرایط اکسیدان تر در ارتباط با جایگیری و تحولات بعدی در

ژرفای بیشتر است. اگرچه، طی کاهش سن ماگماتیسم، مقدار Ce/Nd نیز روند کاهشی نشان می‌دهد (شکل ۲-C). محتوای Hf بالا در زیرکن‌های بررسی‌شده (همه < 8000 ppm و بیشتر زیرکن‌های گرانیتوئید سرخر و برمانی < 10000 ppm)، نشان می‌دهد تبلور آنها از ماگمایی فلسیک و تکامل یافته رخ داده است و بیشترین تکامل در گرانیتوئید سرخر و برمانی رخ داده است (Wang et al., 2011). همچنین، مقادیر آنومالی منفی Eu نشان‌دهنده تبلور پلاژیوکلاز در گرانیتوئیدها بوده است؛ به گونه‌ای که مقدار پلاژیوکلاز در گرانیتوئید سرخر و برمانی بیشتر است و طبیعتاً آنومالی منفی بیشتری دارد. این ویژگی در نمودارهای عنکبوتی نیز به‌خوبی دیده می‌شود (شکل B-۳).

نسبت Th/U به تغییرات دما بسیار حساس است (Bolhar et al., 2008; Gagnevin et al., 2010). افزایش غلظت U در مقایسه با Th ممکن است نشان‌دهنده کاهش دمای ماگما باشد که به نوبه خود منجر به کاهش نسبت Th/U در زیرکن‌های حاصل از ماگمای دمای پایین می‌شود (Wang et al., 2011). در شکل B-۲ نیز دیده می‌شود که ماگماتیسم سرخر و برمانی دارای نسبت کمتر Th/U هستند که نشان‌دهنده دمای کمتر ماگماست. از سوی دیگر، به‌طور کلی، غلظت Hf در زیرکن هنگام جدایش بلورین ماگمایی افزایش می‌یابد (Linnen and Keppler, 2002; El-Bialy and Ali, 2013; Sakyi et al., 2018)، از این‌رو، جدایش بلوری ماگمایی از مقدار Zr/Hf می‌کاهد. پس نمودار نسبت‌های Zr/Hf در برابر Th/U به‌طور موثری شاخص جدایش بلورین و تکامل ماگمایی در زیرکن و ماگمای مرتبط را نشان می‌دهد. در شکل ۶ زیرکن‌ها همبستگی مثبت معنی‌داری را با جدایش بلوری ماگمایی پیش‌رونده نشان می‌دهند و نشان‌دهنده اینست که تبلور زیرکن‌ها در یک دوره طولانی‌تر و بازه دمایی بزرگ‌تری رخ داده باشد. ماگماتیسم سرخر و برمانی در یک بازه دمایی کمتر و جدایش بلورین ماگمایی بیشتر روی داده شده است.



شکل ۶. نمودار Th/U در برابر Zr/Hf (Sakyi et al., 2018) برای زیرکن‌های گرانیتوئید منطقه معدنی سنگان (نمادها همانند شکل ۲).

Figure 6. Zircons Th/U versus Zr/Hf diagram (Sakyi et al., 2018) of the Sangan mining district granitoids (Symbols are the same as in Fig. 2).

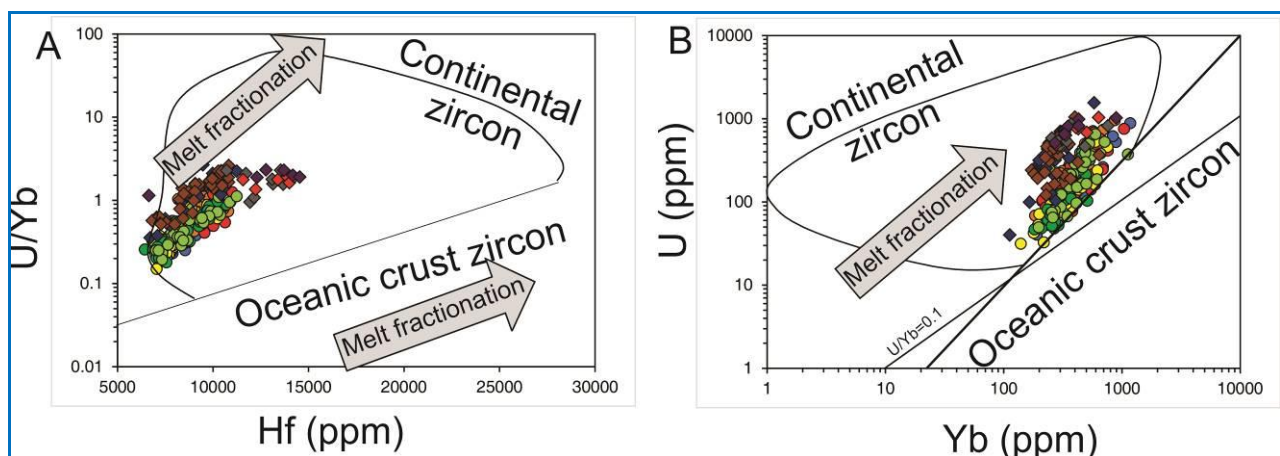
خاستگاه و جایگاه تکتونوماگمایی:

گرانیتوئیدی بررسی شده ویژگی‌های کمان ماگمایی را دارند و نقش مواد پوسته‌ای در پیدایش گرانیتوئید سرخر و برمانی با افزایش مقدار U/Yb آشکار و روشن است. رفتارهای زمین‌شیمیایی متفاوت Hf، Th و Nb در بلورهای زیرکن، یک روش بالقوه برای تعیین جایگاه زمین‌ساختی ماگمای میزبان است. محتوای Nb ماگماهای کمان آتشفشانی نسبت به ماگماهای پدیدآمده درون‌صفحه‌ای کاهش می‌یابد (Sun and McDonough 1989; Pearce and Peat, 1995). بنابراین، زیرکن‌های ماگماها در ماگماتیسم کمان‌های ماگمایی نسبت Nb/Hf کمتر و Th/Nb بیشتری نسبت به ماگماتیسم درون‌صفحه‌ای دارند. بر این اساس، نمودارهای تمایز دوتایی Th/U در برابر Nb/Hf و Th/Nb در برابر Hf/Th ابزاری کارآمدی در شناسایی ماگماتیسم درون‌صفحه‌ای (ماگماتیسم غیرکوهزایی) از ماگماتیسم مربوط به کمان (ماگماتیسم کوهزایی) به‌شمار می‌روند (Hawkesworth and Kemp, 2006; Yang et al., 2012). بیشتر زیرکن‌های بررسی شده در محدوده ماگماتیسم مربوط به کمان ماگمایی (ماگماتیسم کوهزایی)

نسبت U/Yb زیرکن‌ها برای شناخت خاستگاه آنها کاربرد دارد (Kelemen et al., 2003; Grimes et al., 2007). زیرکن‌های کمان قاره‌ای نسبت U/Yb برابر با ۰/۱ تا ۴ دارند؛ در حالی که نسبت U/Yb کمتر از ۰/۱ ویژگی زیرکن‌های جداشده از منبع گوشته‌ای است (Grimes et al., 2007, 2015). در نمودارهای تمایز Hf در برابر U/Yb و Yb در برابر U (شکل‌های A-۷ و B-۷)، همه داده‌های این پژوهش در محدوده سری زیرکن‌های با خاستگاه قاره‌ای جای گرفته‌اند و می‌توان آنها را از زیرکن‌های پوسته افیانیوسی جدا کرد و بر پایه شواهد از روند جدایش بلورین ماگمایی پیروی می‌کنند. نمونه‌های زیرکن گرانیتوئید سرخر و برمانی مقدار U/Yb و U بیشتر نسبت به گرانیتوئید سرنوسر (و اسکارن مرتبط) و سنگ آتشفشانی دارند و این ویژگی نشان‌دهنده افزایش مشارکت مواد پوسته‌ای در پیدایش و تکامل آنهاست (Grimes et al., 2007). در نمودار Nb/Yb در برابر U/Yb، نمونه‌های زیرکن (شکل A-۸) و هم سنگ کل (شکل B-۸) نشان می‌دهند نمونه‌های

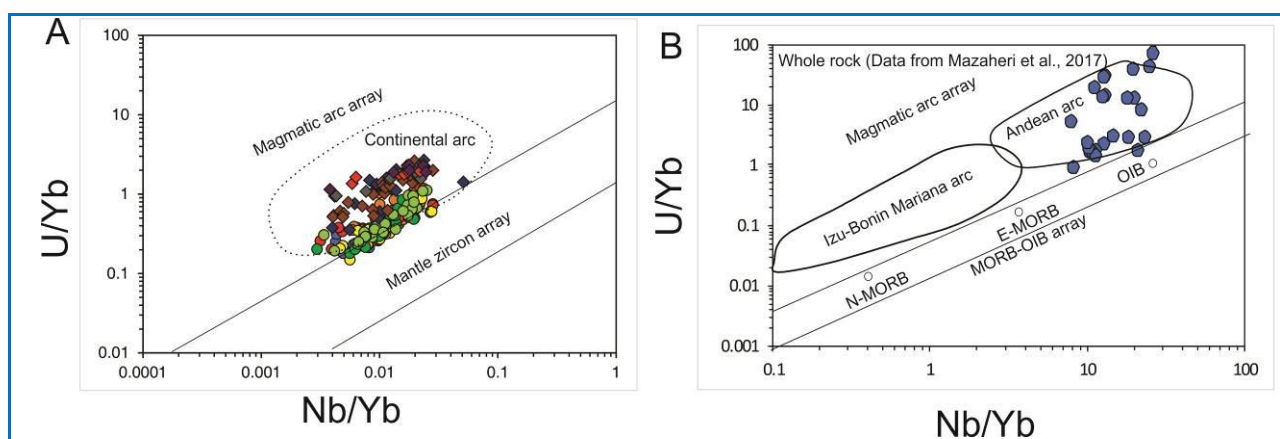
D مقاله (Ghasemi Siani et al., 2022) بررسی شود) همخوانی دارند و گویای آن هستند که نمونه‌های گرانیتیویدی در محدوده گرانیتیویدهای پس از برخورد در ارتباط با محیط زمین‌ساختی کمان‌های کوهزایی جای می‌گیرند (Pearce et al., 1984; Forster et al., 1997).

جای دارند و تا اندازه‌ای در بخش همپوشانی دو محدوده ماگماتیسم کوهزایی و غیرکوهزایی گسترش یافته‌اند (شکل‌های A-۹ و B-۹). این مشاهدات با تعیین محیط زمین‌ساختی بر پایه داده‌های سنگ کل (نمودارهای Nb برابر Y و Nb و Rb در برابر Y+Nb) (برای نمونه، شکل ۵-



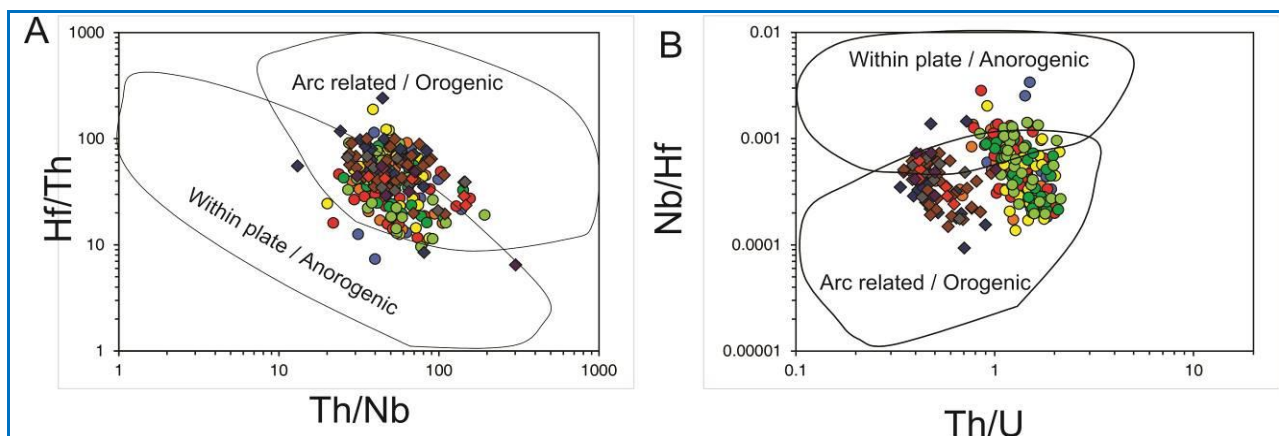
شکل ۷. نمودارهای شناسایی خاستگاه پوسته قاره‌ای و پوسته اقیانوسی زیرکن‌های (Grimes et al., 2007, 2015) منطقه معدنی سنگان. A) نمودار Hf در برابر U/Yb؛ B) نمودار Yb در برابر U (نمادها همانند شکل ۲).

Figure 7. Diagrams for discrimination of the continental and oceanic crustal origins of zircons (Grimes et al., 2007, 2015) in Sangani mining district. A) U/Yb versus Hf diagram; B) U versus Yb diagram (Symbols are the same as in Fig. 2).



شکل ۸. نمودار U/Yb در برابر Nb/Yb برای تعیین محیط تکتونوماگمایی زیرکن‌های (Grimes et al., 2015) در گرانیتیویدهای منطقه معدنی سنگان. A) ترکیب و خاستگاه زیرکن‌ها؛ B) ترکیب سنگ کل (داده‌ها از Mazhari et al., 2017). آرایه گوشته-زیرکن و کمان قاره‌ای توسط Grimes et al. (2015) و کمان آند و محدوده کمان ایزو-بونین-ماریانا از Kelemen et al. (2003) تعریف شده‌اند (نمادها همانند شکل ۲).

Figure 8. U/Yb versus Nb/Yb diagram indicating the tectono-magmatic source of studied zircon (Grimes et al., 2015) in the granitoids of Sangani mining district. A) Zircon compositions and source; B) whole-rock composition (data from Mazhari et al., 2017). Grimes et al. (2015) define the mantle-zircon array and continental arc. The Andean arc and Izu-Bonin-Mariana arc fields are adopted from Kelemen et al. (2003) (Symbols are the same as in Fig. 2).

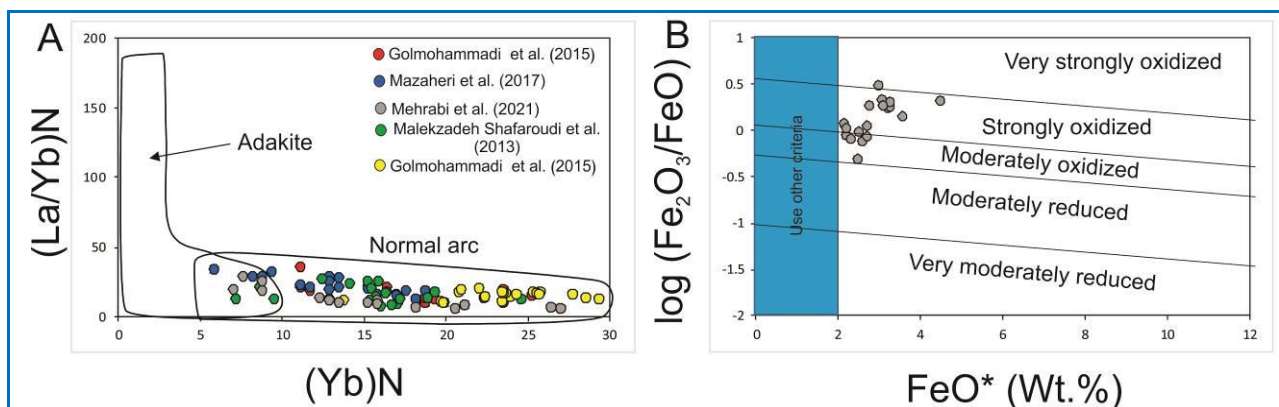


شکل ۹. زیرکن‌های درون گرانیتوئیدهای منطقه معدنی سنگان در (A) نمودار Th/Nb در برابر Hf/Th (Yang et al., 2012)؛ (B) نمودار Nb/Hf در برابر Th/U (Hawkesworth and Kemp, 2006) (نمادها همانند شکل ۲).

Figure 9. Zircons in the granitoids of Sangan mining district in (A) Th/Nb versus Hf/Th diagram (Yang et al., 2012); (B) Th/U versus Nb/Hf diagrams (Hawkesworth and Kemp, 2006) (Symbols are the same as in Fig. 2).

جدایش بلورین ماگمایی کمتر، بارور بوده است؛ اما گرانیتوئید سرخر و برمانی نابارور هستند (Ghasemi Siani et al., 2022). برای تایید اکسیدان بودن ماگما، از داده‌های شیمی سنگ کل گرانیتوئید سرنوسر نیز بهره گرفته شد و نتایج نشان دادند ماگماتیسیم سرنوسر در محدوده اکسیدان متوسط تا بسیار اکسیدان هستند (شکل B-۱۰) که نشان‌دهنده مقادیر بالای آنومالی Ce/Ce^* و Ce^{4+}/Ce^{3+} در زیرکن‌های جدا شده از این گرانیتوئیدهاست.

بر پایه جایگاه نمونه‌های سنگ کل در نمودار $(Yb)_N$ برابر $(La/Yb)_N$ (شکل A-۱۰)، گرانیتوئیدهای سنگان در محدوده ماگماتیسیم مرتبط با کمان آتشفشانی نرمال جای گرفته‌اند و ویژگی‌های آداکیتی را نشان نمی‌دهند. گفتنی است ویژگی‌های آداکیتی در سیستم‌های پورفیری بارور رایج است. بررسی‌های پیشین و نتایج این پژوهش نشان می‌دهند با وجود آداکیتی نبودن ماگماتیسیم، ماگماتیسیم سرنوسر به‌علت اکسیدان‌تربودن، دمای پیدایش بیشتر، ستبرای بیشتر پوسته و



شکل ۱۰. ترکیب داده‌های سنگ کل گرانیتوئیدهای سنگان در (A) نمودار $(Yb)_N$ در برابر $(La/Yb)_N$ (Mo et al., 1994)؛ (B) FeO^* در برابر $\log (Fe_2O_3/FeO)$ (Liang et al., 2009).

Figure 10. Whole-rock composition of Sangan granitoids in (A) $(Yb)_N$ versus $(La/Yb)_N$ diagram (Mo et al., 1994); (B) FeO^* versus $\log (Fe_2O_3/FeO)$ diagram (Liang et al., 2009).

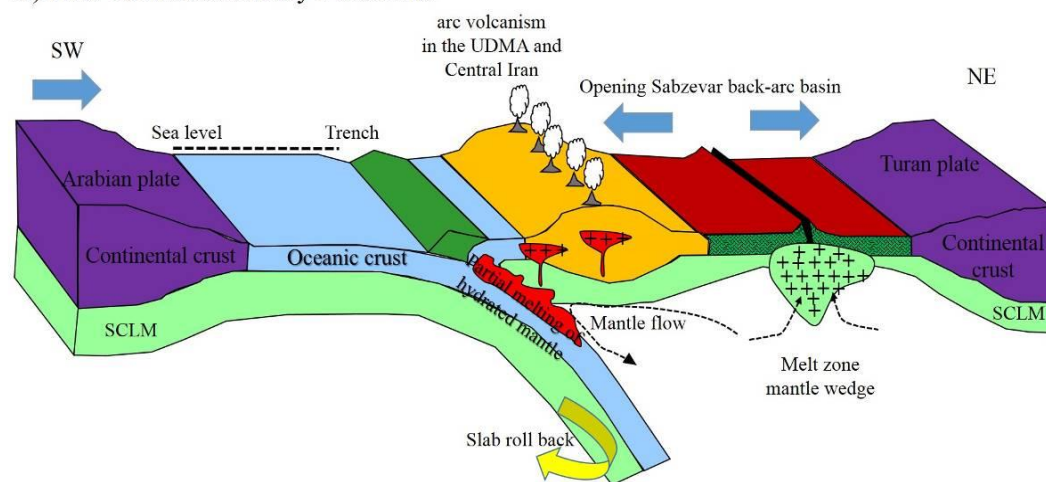
آورده شده است (Ghasemi Siani et al., 2022). داده‌های سن‌سنجی توده‌های آذرین درونی منطقه معدنی سنگان

مدل تکتونوماگمایی ناحیه‌ای در منطقه معدنی سنگان پیشتر به‌طور کامل بحث شده است و در اینجا چکیده‌ای از آن

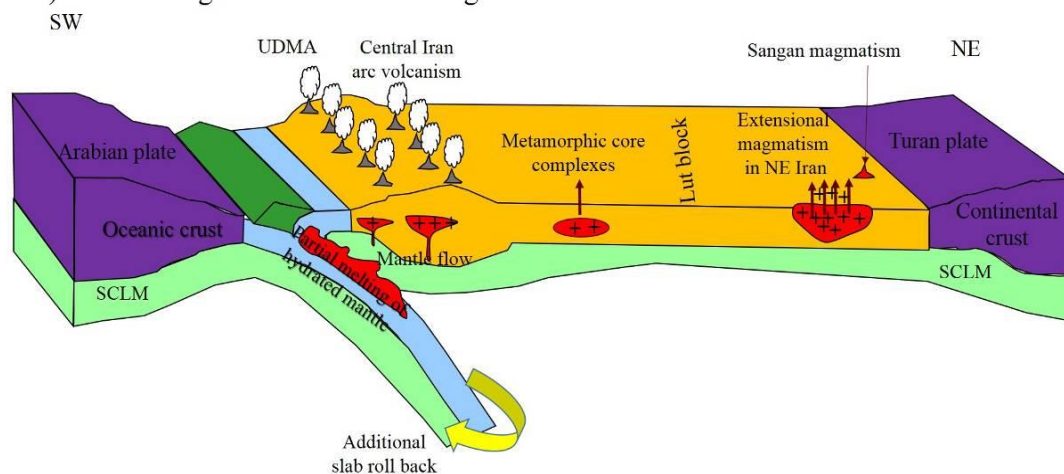
زمین‌ساختی پیشنهادی برای ماگماتیسم در منطقه معدنی سنگان در ارتباط با ماگماتیسم پشت کمان سبزوار است (شکل ۱۱). به دنبال ادامه همگرایی میان عربستان و ایران در دوره کرتاسه پسین - پالئوسن آغازین، حوضه پشت کمان سبزوار باز و سپس در پالئوسن پسین بسته شده است (شکل ۱۱-A). همزمان با بسته شدن حوضه پشت کمان موجب تشکیل یک حاشیه صفحه همگرایی کششی شد که منجر به نازک شدن لیتوسفر همراه با برگشت اسلب فرورانش شده و مذاب آستنسفر به سمت بالا حرکت کرده و در محیط‌های کششی ایجاد شده، ماگماتیسم گسترده را در منطقه معدنی سنگان در بالای پهنه فرورانش و یا در محیط‌های بعد از برخوردی ایجاد کرده است (شکل ۱۱-B).

(جدول ۱) آورده شده است. توده‌های آذرین درونی در یک دوره تقریباً شش میلیون ساله مربوط به ائوسن میانی تا ائوسن پایانی (۳۸/۳ تا ۴۳/۹ میلیون سال پیش) پدید آمده‌اند. این داده‌ها نشان دادند سن گرانیتوئید سرنوسر از خاور به باختر روند کاهشی دارد. اوج فعالیت‌های ماگماتیسم در بازه ۳۹ تا ۴۱ میلیون سال پیش در منطقه معدنی سنگان رخ داده است. از سوی دیگر، داده‌های شیمیایی زیرکن در این پژوهش و داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل ماگماتیسم منطقه معدنی سنگان نشان دادند ماگماتیسم سنگان در ارتباط با پهنه‌های فرورانش است. فعالیت‌های ماگماتیسم گسترده در منطقه معدنی سنگان با دوره کشش گسترده در سرتاسر ایران در دوره ائوسن همزمان است (Vernant et al., 2004). الگوی

A) Late Cretaceous-Early Paleocene



B) Eocene-Oligocene extensional magmatism



شکل ۱۱. مدل شماتیک برای پیدایش و تکامل ماگماتیسم منطقه معدنی سنگان (با تغییرات از (Ghasemi Siani et al. (2022)).

Figure 11. Schematic model for the formation and evolution of magmatism in the Sanganeh mining district (modified from Ghasemi Siani et al. (2022)).

برداشت

داده‌های شیمیایی زیرکن کاربردهای بسیار مهمی در مفاهیم سنگ‌زایی، تکامل ماگمایی و تعیین نوع و سرشت سنگ‌ها دارند. منطقه معدنی سنگان در شمال‌خاوری ایران یکی از مناطق ارزشمند کانی‌سازی آهن به‌صورت اسکارن است. دو توده گرانیتوئیدی سرنوسر و سرخر و برمانی در منطقه معدنی سنگان رخنمون دارند که توده معدنی سرنوسر ارتباط مستقیم با کانی‌سازی آهن دارد و از نوع بارور شناخته می‌شود؛ اما توده‌های گرانیتوئیدی سرخر و برمانی نابارور هستند و نقشی در کانی‌سازی ندارد. بررسی‌های شیمی زیرکن نشان دادند جدایش بلورین ماگمایی در توده گرانیتوئیدی سرخر و برمانی بیشتر از سرنوسر بوده است و با تبلور پلاژیوکلاز و در پی آن، هورنبلند کنترل شده است. این جدایش بلورین ماگمایی بیشتر در گرانیتوئید سرخر و برمانی با آنومالی منفی شدیدتر Eu/Eu^* .

مقدارهای کمتر Th/U و Zr/Hf و دمای کمتر ماگما همراه شده است. زیرکن‌های بررسی‌شده در هر دو توده از نوع زیرکن‌های پوسته قاره‌ای هستند؛ با این تفاوت که نقش مواد پوسته‌ای در پیدایش گرانیتوئید سرخر و برمانی بیشتر است. شیمی زیرکن نشان داد ماگماتیسیم منطقه معدنی سنگان در محدوده سنگ‌های گرانودیوریت تا تونالیت جای می‌گیرند و از نوع ماگماتیسیم اسیدی آذرین به‌شمار می‌روند. ماگماتیسیم منطقه معدنی سنگان در ارتباط با کمان‌های آتشفشانی است و چه‌بسا در محیط‌های پس از برخورد روی داده است. با توجه به جای‌گرفتن ماگماتیسیم در کمان‌های آتشفشانی نرمال بر پایه شیمی سنگ، تشخیص ماگماتیسیم بارور از نابارور بر پایه شیمی سنگ کل در کانسارهای اسکارن مثل کانسارهای پورفیری امکان‌پذیر نیست و بررسی شیمی زیرکن می‌تواند نقش بسیار ارزشمندی در اکتشاف کانسارهایی مانند اسکارن داشته باشد.

References

- Ballard, J.R., Palin, M.J., and Campbell, I.H. (2002) Relative oxidation states of magmas inferred from $Ce^{(IV)}/Ce^{(III)}$ in zircon: application to porphyry copper deposits of northern Chile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144, 347–364. DOI: 10.1007/s00410-002-0402-5
- Belousova, E.A., Griffin, W.L., O'Reilly, S.Y., and Fisher, N.I. (2002) Igneous zircon: trace element composition as an indicator on source rock type. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143(5), 602–622. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00410-002-0364-7>
- Bolhar, R., Weaver, S. D., Palin, J. M., Cole, J.W., and Paterson, L.A. (2008) Systematics of Zircon Crystallisation in the Cretaceous Separation Point Suite, New Zealand, Using U/Pb Isotopes, REE and Ti Geothermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 156(2), 133–160. DOI: 10.1007/s00410-007-0278-5
- Chelle-Michou, C., Chiaradia, M., Ovtcharova, M., Ulianov, A., and Wotzlaw, J.F. (2014) Zircon petrochronology reveals the temporal link between porphyry systems and the magmatic evolution of their hidden plutonic roots (the Eocene Corocohuayco deposit, Peru). *Lithos* 198–199, 129–140. DOI: 10.1016/j.lithos.2014.03.017
- El-Bialy, M.Z., and Ali, K.A. (2013) Zircon Trace Element Geochemical Constraints on the Evolution of the Ediacaran (600–614 Ma) Post-Collisional Dokhan Volcanics and Younger Granites of SE Sinai, NE Arabian-Nubian Shield. *Chemical Geology*, 360/361, 54–73. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2013.10.009
- Forster, H.J., Tischendorf, G., and Trumbull, R.B. (1997) An evaluation of the Rb vs. (Y + Nb) discrimination diagram to infer tectonic setting of silicic igneous rocks. *Lithos* 40(2–4), 261–293 DOI: 10.1016/S0024-4937(97)00032-7.
- Gagnevin, D., Daly, J.S., and Kronz, A. (2010) Zircon Texture and Chemical Composition as a Guide to Magmatic Processes and Mixing in a Granitic Environment and Coeval Volcanic System. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 159(4), 579–596. DOI: 10.1007/s00410-009-0443-0
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Neubauer, F., Cao, S., and Zhang, R. (2022) Geochronology and

- geochemistry of zircons from fertile and barren intrusions in the Sangam mining area (NE Iran): Implications for tectonic setting and mineral exploration. *Journal of Asian Earth Sciences*, 233, 105243, DOI: 10.1016/j.jseaes.2022.105243.
- Golmohammadi A., Karimpour M.H., Malekzadeh Shafaroudi A., and Mazaheri S.A. (2015) Alteration-mineralization, and radiometric ages of the source pluton at the Sangam iron skarn deposit, northeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 65(2), 545–563. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2014.07.005
- Golmohammadi, A., Mazaheri, S.A., Malekzadeh Shafaroudi, A., and Karimpour, M.H. (2014) Zircon U-Pb dating and geochemistry of Sarkhar and Bermani granitic rocks, East of Sangam iron mine, Khaf. *Petrological Journal*, 17(1), 83–102 https://ijp.ui.ac.ir/article_16160.html (in Persian).
- Grimes, C.B., John, B.E., Kelemen, P.B., Mazdab, F., Wooden, J.L., Cheadle, M.J., Hanghøj, K., and Schwartz, J.J. (2007) The trace element chemistry of zircons from oceanic crust: a method for distinguishing detrital zircon provenance. *Geology*, 35(7), 643–646. DOI: 10.1130/g23603a.1
- Grimes, C.B., Wooden, J.L., Cheadle, M.J., and John, B.E. (2015) Fingerprinting tectono-magmatic provenance using trace elements in igneous zircon. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 170(5–6), 1–26. DOI: 10.1007/s00410-015-1199-3
- Hanchar, J.M., Finch, R.J., Hoskin, P.W.O., Watson, E.B., Cherniak, D.J., and Mariano, A.N. (2001) Rare earth elements in synthetic zircon: part I. synthesis, and rare earth element and phosphorus doping. *American Mineralogist*, 86(5–6), 667–680. DOI: 10.2138/am-2001-5-607
- Harrison, T.M., Watson, E.B., and Aikman, A.B. (2007) Temperature spectra of zircon crystallization in plutonic rocks. *Geology* 35(7), 635–638. DOI: 10.1130/g23505a.1
- Hawkesworth, C.J., and Kemp, A.I.S. (2006) Using hafnium and oxygen isotopes in zircons to unravel the record of crustal evolution. *Chemical Geology*, 226(3–4), 144–162. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2005.09.018
- Heaman, L.M., and Parrish, R.R. (1991) U-Pb geochronology of accessory minerals. In: *Applications of radiogenic isotope systems to problems in geology*. Mineralogical Association of Canada Short Course Handbook, 19(2), 59–102.
- Hofmann, A.E., Baker, M.B., and Eiler, J.M. (2014) Sub-micron-scale trace element distributions in natural zircons of known provenance: implications for Ti-in-zircon thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168(3), 1057. DOI: 10.1007/s00410-014-1057-8
- Hoskin, P.W.O., and Schaltegger, U. (2003) The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 53(1), 27–62. DOI: 10.2113/0530027
- Kelemen, P.B., Hanghøj, K., and Greene, A.R. (2003) One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. *Treatise on geochemistry*, 3(1), 1-70. DOI: 10.1016/b0-08-043751-6/03035-8
- Kemp, A.I.S., Hawkesworth, C.J., Foster, G.L., Paterson, B.A., Woodhead, J.D., Hergt, J.M., Gray, C.M., and Whitehouse, M.J., (2007) Magmatic and crustal differentiation history of granitic rocks from Hf-O isotopes in zircon. *Science*, 315(5814), 980–983. DOI: 10.1126/science.1136154
- Li, W., Cheng, Y., and Yang, Z. (2019) Geo-fO₂: Integrated Software for Analysis of Magmatic Oxygen Fugacity. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 2542–2555. DOI: 10.1029/2019gc008273
- Liang, H.Y., Sun, W.D., Su, W.C., and Zartman, R.E. (2009) Porphyry copper-gold mineralization at Yulong, China, promoted by decreasing redox potential during magnetite alteration. *Economic Geology* 104(4), 587–596. DOI: 10.2113/gsecongeo.104.4.587
- Linnen, R.L., and Keppler, H. (2002) Melt Composition Control of Zr/Hf Fractionation in Magmatic Processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 66(18), 3293–3301 DOI: 10.1016/S0016-7037(02)00924-9.

- Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M.H., and Golmohammadi A. (2013) Zircon U-Pb geochronology and petrology of intrusive rocks in the C-north and Baghak districts, Sangam iron mine, NE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64(5), 256–271. DOI: 10.1016/j.jseaes.2012.12.028
- Mazhari, N., Malekzadeh Shafaroudi, A., Ghaderi, M., Star Lackey, J., Lang Farmer, G., and Karimpour, M.H. (2017) Geochronological and Geochemical Characteristics of Fractionated I-type Granites Associated with the Skarn Mineralization in the Sangam Mining Region, NE Iran. *Ore Geology Reviews*, 84(1), 116–133. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2017.01.003
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Zhang, R., Neubauer, F., Lentz, D.R., Tale Fazel, E., and Karimi Shahraki, B. (2021) Mineralogy, petrochronology, geochemistry, and fluid inclusion characteristics of the Dardvay skarn iron deposit, Sangam mining district. NE Iran. *Ore Geology Reviews*, 134: DOI: 10.1016/j.oregeorev.2021.104146.
- Mo, X.X., Deng, J.F., and Lu, F.X. (1994) Volcanism and the evolution of Tethys in Sanjiang area, southwestern China. *Journal of Asian Earth Science*, 9(4), 325–333. DOI: 10.1016/0743-9547(94)90043-4
- Pearce, J.A., and Peat, D.W. (1995) Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23(1), 251–285. DOI: 10.1146/annurev.ea.23.050195.001343
- 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(4), 956–983 DOI: 10.1093/petrology/25.4.956.
- Sakyi, P.A., Su, B., Kwayisi, D., Chen, C., Bia, Y., and Alemayehu, M. (2018) Zircon Trace Element Constraints on the Evolution of the Paleoproterozoic Birimian Granitoids of the West African Craton (Ghana). *Journal of Earth Science* 29, 43–56. DOI: 10.1007/s12583-017-0799-4
- Scherer, E.E., Whitehouse, M.J., and Munker, C. (2007) Zircon as a monitor of crustal growth. *Elements*, 3(1), 19–24. DOI: 10.2113/gselements.3.1.19
- Shannon, R.D. (1976) Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides. *Acta Crystallography*, A32, 751–767. DOI: 10.1107/S0567739476001551
- Sun, S.S., and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. Implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.). *Magmatism in the Ocean Basins*. Geological Society, London, Special Publications, 42(2), 313–345. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19
- Trail, D.J., Watson, E.B., and Tailby, N.D. (2012) Ce and Eu anomalies in zircon as proxies for the oxidation state of magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 97(1), 70–87 DOI: 10.1016/j.gca.2012.08.032.
- Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., and Chery, J. (2004) Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. *Geophysical Journal International* 157, 381–398. DOI: 10.1111/j.1365-246X.2004.02222.x
- Wang, X., Griffin, W.L., Chen, J., Pinyun, H., and Xiang, L. (2011) U and Th Contents and Th/U Ratios of Zircon in Felsic and Mafic Magmatic Rocks: Improved Zircon-Melt Distribution Coefficients. *Acta Geologica Sinica*, 85(1), 164–174. DOI: 10.1111/j.1755-6724.2011.00387.x
- Watson, E.B., Cherniak, D.J., Hanchar, J.M., Harrison, T.M., and Wark, D.A. (1997) The incorporation of Pb into zircon. *Chemical Geology*, 141(1–2), 19–31. DOI: 10.1016/S0009-2541(97)00054-5

- Watson, E.B., Wark, D.A., and Thomas, J.B. (2006) Crystallization thermometers for zircon and rutile. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 151(3), 413–433. DOI: 10.1007/s00410-006-0068-5
- Wiedenbeck, M., Allé, P., Corfu, F., Griffin, W.L., Meier, M., Oberli, F., von Quadt, A., Roddick, J.C., and Spiegel, W. (1995) Three natural zircon standards for U-Th-Pb, Lu-Hf, trace element, and REE analyses. *Geostandards Newsletter*, 19, 1–23. DOI: 10.1111/j.1751-908X.1995.tb00147.x
- Wiedenbeck, M., Hanchar, J.M., Peck, W.H., Sylvester, P., Valley, J., Whitehouse, M., Kronz, A., Morishita, Y., Nasdala, L., Fiebig, J., Franchi, I., Girard, J.-P., Greenwood, R.C., Hinton, R., Kita, N., Mason, P.R.D., Norman, M., Ogasawara, M., Piccoli, P.M., Rhede, D., Satoh, H., Schulz-Dobrick, B., Skår, O., Spicuzza, M.J., Terada, K., Tindle, A., Togashi, S., Vennemann, T., Xie, Q., and Zheng, Y.F. (2004) Further characterization of the 91500 zircon crystal. *Geostandards & Geoanalytical Research*, 28(1), 9–39. DOI: 10.1111/j.1751-908X.2004.tb01041.x
- Yang, J.H., Cawood, P.A., Du, Y.S., Huang, H., Huang, H.W., and Tao, P. (2012) Large Igneous Province and magmatic arc sourced Permian-Triassic volcanogenic sediments in China. *Sedimentary Geology*, 261-262 (2), 120–131. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2012.03.018

پیوست ۱. الف) شیمی سنگ کل.

Appendix 1. A). Whole rock geochemistry.

Refrence	Golmohammadi et al. (2015)									
SiO₂ (wt.%)	67.02	66.46	67.3	67.46	68.84	69.21	67.8	69.15	66.99	67.92
TiO₂	0.43	0.44	0.33	0.34	0.43	0.32	0.34	0.32	0.46	0.46
Al₂O₃	14.21	14.83	14.51	14.03	14.61	14.48	14.29	14.27	14.4	14.27
FeO	2.39	2.56	2.18	2.52	2.29	2.57	3.03	2.97	3.99	2.94
Fe₂O₃										
MnO	0.06	0.05	0.03	0.06	0.03	n.d	0.04	0.02	0.02	0.02
MgO	1.42	0.43	1.08	1.47	0.52	0.34	1.52	1.32	1.84	1.63
CaO	2.61	3.73	2.53	2.33	2.67	2.21	2.43	1.49	2.28	3.79
Na₂O	3.42	3.02	2.9	2.95	4.19	3.36	3.62	3.66	3.71	4.02
K₂O	7.05	6.73	7.17	6.97	4.75	5.41	4.85	4.99	4.51	3.62
P₂O₅	0.15	0.11	0.08	0.08	0.11	0.06	0.09	0.07	0.15	0.15
LOI										
Total	98.76	97.93	98.11	98.21	98.44	97.96	98.01	98.26	98.35	98.82
Ba (ppm)	1097	1118	1400	1396	865	467	678	656	775	710
Co	1.5	1.2	0.7	0.5	1.4	0.3	2.4	2.4	3.8	1.4
Ga	20	19	18	17	19	18	19	20	20	19
Hf	7	9	6	6	8	8	10	10	7	9
Nb	24	26	19	20	26	30	31	33	24	26
Pb										
Rb	192	186	189	195	134	155	169	163	157	101
Sc										
Sr	173	212	127	96	212	115	139	148	277	362
Ta	1.7	1.8	1.6	1.4	1.7	2.3	2.3	2.6	1.6	2
Th	25	28	26	26	27	33	35	38	26	25
U										
V	53	32	20	22	34	10	16	16	40	40
Y	26	30	23	23	30	27	39	39	30	31
Zr	311	335	277	259	335	255	394	342	296	381
Ce	102.2	117.2	94.5	162.7	148.1	88.8	187.4	170.5	122.4	122
Dy	4.9	5.4	3.61	4.48	5.28	4.54	6.43	7.02	5.36	5.8
Er	2.9	3	2.2	2.2	3	2.9	3.5	4	2.9	2.9
Eu	0.9	1.4	1.1	1.4	1.5	0.9	1.3	1.3	1.4	1.62
Gd	5.4	6.7	4.8	5.4	6	5	7.3	7.6	6.1	6.6
Ho	1.02	1	0.8	0.8	1.1	1	1.4	1.3	1	1
La	43.4	47.2	50.4	93.3	79.7	41.8	107.1	89.2	59.5	55.4
Lu	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.4	0.5
Nd	41.9	48.3	35.6	51.1	48.7	34.1	56.3	58.9	45.9	49.3
Pr	11.5	13.2	10.5	16	14.8	9.9	18.1	17.2	12.7	13.2
Sm	6.9	7.6	6	7.5	7.8	6	9	9.7	7.5	8.5
Tb	0.9	1	0.7	0.7	0.9	0.8	1.1	1.1	0.9	0.9
Tm	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	0.44	0.53	0.65	0.41	0.41
Yb	3.2	3.4	2	1.9	2.8	3.2	4	4.3	3.2	3.3

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Refrence	Mazaheri et al. (2017)									
SiO₂ (wt.%)	72.3	75.43	72.42	79.12	74.32	71.85	72.42	71.97	68.66	73.01
TiO₂	0.37	0.34	0.27	0.16	0.29	0.46	0.42	0.44	0.58	0.3
Al₂O₃	13.96	12.32	14.07	11.52	13.19	13.49	13.21	13.72	13.87	12.22
FeO	1.96	1.85	1.92	0.77	1.85	2.57	2.1	1.95	2.92	1.77
Fe₂O₃										
MnO	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
MgO	0.52	0.39	0.4	0.1	0.48	0.57	0.66	0.33	0.39	0.43
CaO	2.09	1.03	1.93	0.48	1.53	2.02	2.09	1.55	2.26	1.65
Na₂O	2.84	2.46	2.83	2.86	2.64	2.64	2.75	2.85	1.55	2.69
K₂O	4.5	5.21	4.95	4.66	4.83	5	4.43	5.78	5.52	3.96
P₂O₅	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.16	0.19	0.2	0.19	0.13
LOI	1	0.2	0.5	0.1	0.7	0.2	0.9	1	3	2.9
Total	99.78	99.47	99.53	100.01	100.07	99.07	99.28	99.9	99.05	99.17
Ba (ppm)	729	578	583	185	632	695	1292	1192	1022	660
Co	4.6	4.4	3.1	1.5	5.1	2	4.4	4.5	4.6	4.4
Ga	18	16	20	16	17	20	21	19	19	19
Hf	5	4	6	4	6	8	9	7	10	6
Nb	34.7	29.1	23.8	15	28	36.1	41	33.5	32.4	29.5
Pb	37	32	29	7	25	27	37	37	33	54
Rb	168	196	186	303	237	213	210	278	288	233
Sc										
Sr	27	195	268	44.7	236	282	291	235	110	283
Ta	1.2	1	1.5	2.6	1.3	1.9	2.4	1.8	1.6	1.6
Th	35.4	45.7	47.4	68.3	42.7	57.2	58.6	58.4	34.3	49.4
U	4.31	4.79	3.92	10.3	5.06	5.75	6.26	7.03	3.68	3.83
V										
Y	17.8	13.5	19.5	14.1	23.2	29.7	37.9	21.5	40.9	27.7
Zr	160	128	140	88.7	125	182	233	212	166	161
Ce	116	111	96.3	71.9	110	126	133	128	95.1	108
Dy	3.22	2.63	2.5	1.43	2.99	4.18	5	2.53	5.18	3.7
Er	1.71	1.24	1.81	1.11	2.22	2.52	2.84	1.71	2.89	2.03
Eu	1.23	0.84	0.94	0.19	0.94	1.27	1.47	1.25	1.3	1.13
Gd	4.57	3.96	3.33	1.83	4.25	5.24	6.03	4.39	5.5	4.39
Ho	0.56	0.36	0.55	0.29	0.57	0.8	1.04	0.53	0.98	0.72
La	59.4	71.7	67.6	54.1	87	80.6	67.9	88.2	53.5	74.3
Lu	0.4	0.3	0.44	0.35	0.35	0.48	0.57	0.39	0.59	0.42
Nd	34.7	29.1	23.8	15	28	36.1	41	33.5	32.4	29.5
Pr	10.8	9.62	8.16	5.15	9.37	11.2	12.7	11.2	9.25	9.67
Sm	5.1	4.1	3.8	1.9	4.6	5.9	7.1	4.9	5.9	5.2
Tb	0.57	0.44	0.45	0.35	0.66	0.83	0.94	0.54	0.93	0.69
Tm										
Yb	1.5	1.6	2.3	1.9	2.2	3.2	3.8	2.3	4	2.6

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Reference	Mazaheri et al. (2017)									
SiO₂ (wt.%)	72.5	73.97	71.01	71.52	66.41	67.35	71.58	76.74	70.39	76.18
TiO₂	0.37	0.31	0.5	0.41	0.93	0.82	0.27	0.21	0.32	0.23
Al₂O₃	12.75	13.69	13.57	13.69	15.28	15.89	14.08	11.68	14.37	11.93
FeO	1.1	1.98	2.95	2.38	4.78	4.18	2.03	2	2.53	1.63
Fe₂O₃										
MnO	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.13	0.11	0.07	0.3
MgO	0.45	0.55	0.81	0.66	1.51	1.13	0.86	0.43	0.82	0.32
CaO	2.38	1.62	2.4	1.91	3.48	3.26	1.87	0.74	1.87	0.73
Na₂O	2.47	3.01	2.8	2.97	4.29	3.36	3.69	3.01	4.24	3.03
K₂O	5.34	3.99	4.35	3.97	1.57	2.18	4.51	4.39	3.82	4.52
P₂O₅	0.22	0.17	0.21	0.19	0.48	0.32	0.11	0.07	0.16	0.06
LOI	2	0.1	0.3	1.4	0.4	1	0.5	0.1	0.5	0.4
Total	99.69	99.5	99.01	99.21	99.24	99.6	99.63	99.48	99.09	99.33
Ba (ppm)	942	791	969	804	351	989	845	241	537	238
Co	3.3	4.6	7.1	4.3	17.9	11.1	6.4	2.2	3.2	1.9
Ga	19	17	7	7	7	7	7	7	8	5
Hf	8	5	2	2	2.6	0.9	1.7	1.6	1.7	1.5
Nb	31.7	45.7	60	52	69.9	44.1	35	37	36	35
Pb	11	34	18	18	23	24	21	20	22	20
Rb	186	155	151	136	98.7	120	214	293	188	320
Sc										
Sr	302	319	348	359	353	492	337	108	313	86.3
Ta	1.8	1.3	2.3	1.8	2.7	5.5	1.4	2	1.8	9
Th	64.6	35.2	31	21	10	15	5	20	31	42
U	5.92	3.9	39.4	37.8	17	17.2	84.7	74.6	39.9	61.2
V										
Y	30.9	22.9	0.54	0.49	1	0.36	0.5	0.36	0.52	0.28
Zr	202	150	246	233	203	308	151	115	199	112
Ce	105	143	175	151	153	121	111	80.9	123	66.1
Dy	4.16	4.15	5.89	4.72	11.7	4.19	4.18	1.77	4.08	1.07
Er	2.04	2.2	3.32	2.6	5.84	1.77	2.25	1.1	2.47	1.01
Eu	0.13	1.11	1.76	1.83	1.8	2	1.41	0.5	1.34	0.29
Gd	5.08	6.59	8.09	7.02	12	6.12	4.79	2.29	5.34	1.48
Ho	0.76	0.77	1.02	0.9	2.38	0.68	0.68	0.43	0.76	0.2
La	53.7	76.3	76.2	63.7	59.1	58	60.4	58.9	68.2	55.8
Lu	0.44	0.34	3	2.9	7	2	2.7	1.9	2.8	1.4
Nd	31.7	45.7	60	52.6	69.9	44.1	32	17.8	33.9	12.5
Pr	10.3	14.2	18.2	15.5	17.7	12.6	10.1	6.02	11.1	4.89
Sm	6.2	6.9	9.1	8	14.2	6.9	5.3	2.8	6.3	1.8
Tb	0.82	0.73	1.09	0.96	1.83	0.82	0.77	0.34	0.81	0.27
Tm										
Yb	3.1	2.2	3	2.9	7	2	2.7	1.9	2.8	1.4

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Refrence	Mazaheri et al. (2017)				Malekzadeh Shafaroudi et al. (2013)					
SiO₂ (wt.%)	74.81	77.2	72.89	73.68	67.59	65.97	66.16	64.57	67.5	65.49
TiO₂	0.24	0.18	0.33	0.34	0.57	0.56	0.52	0.64	0.63	0.59
Al₂O₃	12.34	11.92	12.89	12.87	13.75	13.52	14.62	14.26	14.8	14.13
FeO	2.27	1.24	1.9	2.4	4.53	4.37	4.42	4.49	4.1	4.55
Fe₂O₃										
MnO	0.03	0.03	0.05	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02
MgO	0.56	0.2	0.94	0.57	2.21	2.24	2.14	1.96	0.96	2.24
CaO	1.02	0.43	2.12	1.43	1.77	3.18	2.06	3.75	2.08	3.87
Na₂O	3.11	2.66	3.37	3.34	3.49	3.43	3.44	3.53	3.36	3.54
K₂O	4.42	4.97	4.49	4.15	4.44	4.87	4.49	4.88	4.84	4.3
P₂O₅	0.06	0.1	0.14	0.12	0.16	0.19	0.17	0.2	0.18	0.2
LOI	0.2	1	0.5	0.8	0.8	1.44	1.68	2.62	2.13	0.5
Total	99.06	99.93	99.62	99.73	99.32	99.79	99.71	100.91	100.6	99.43
Ba (ppm)	379	249	743	528	1000	733	875	853	1013	790
Co	4.3	0.5	4.8	5.2	8	1	5	1	3	6
Ga	6	4	8	7	21	18	18	18	19	18
Hf	1.3	1.2	1.6	1.6	7	5	7	7	8	7
Nb	28	26	36	29	23	23	22	22	23	22
Pb	18	16	20	17						
Rb	265	275	194	225	191	170	139	162	155	153
Sc										
Sr	138	92.2	344	237	378	210	312	216	287	382
Ta	2.2	1.8	1.5	2.3	2	2	2	2	2	2
Th	16	26	11	19	33	38	23	23	21	26
U	63.5	74.4	40.4	51.9						
V					42	33	50	52	58	64
Y	0.37	0.25	0.56	0.37	21	25	25	26	27	25
Zr	131	104	187	183	266	179	272	254	283	236
Ce	78.8	62.7	120	106	131.6	146.9	123.9	160	136.8	80.1
Dy	2.28	1.2	4.85	3.84	3.46	4	4.42	4.95	4.91	4.65
Er	1.45	0.94	2.87	2.22	1.98	2.54	5.58	2.87	2.97	2.71
Eu	0.6	0.35	1.43	0.89	1.29	1.12	1.36	1.4	1.43	1.45
Gd	2.85	1.75	5.71	4.67	5.09	4.99	5.54	6.14	5.76	5.51
Ho	0.42	0.27	0.76	0.68	0.63	0.77	0.89	0.99	0.95	0.92
La	58.2	47.4	60.1	72.2	78.1	89.8	73.4	94.1	79.8	35.7
Lu	2.2	1	2.9	2.6	0.32	0.41	0.4	0.44	0.42	0.39
Nd	17.9	14.1	40.5	29.1	41.4	43.2	40.4	51	45.4	35.8
Pr	6.25	5.02	11.6	9.39	13.23	14.17	12.26	15.84	13.48	9.88
Sm	2.7	2.2	6.5	4.5	6.6	6.62	6.59	8.09	7.1	6.54
Tb	0.33	0.29	0.91	0.76	0.69	0.75	0.84	0.91	0.89	0.87
Tm					0.29	0.37	0.4	0.45	0.46	0.44
Yb	2.2	1	2.9	2.6	2.12	2.6	2.63	2.71	2.41	2.91

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Refrence	Malekzadeh Shafaroudi et al. (2013)									
SiO₂ (wt.%)	63.93	65.81	65.81	66.6	67.56	66.41	65.72	69.44	68.26	65.52
TiO₂	0.59	0.6	0.62	0.52	0.54	0.52	0.59	0.33	0.36	0.4
Al₂O₃	14.46	14	14.5	14.5	14.14	13.96	14.06	13.56	13.76	13.44
FeO	4.82	5.82	4.47	3.2	3.97	4.98	5.48	2.94	2.99	4.7
Fe₂O₃										
MnO	0.02	0.04	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	n.d	0.01	0.03
MgO	2.22	0.94	2.17	1.81	1.4	1.25	2.09	0.44	0.62	1.41
CaO	4.51	3.47	2.99	4.16	3.13	3.04	2.3	1.2	2.55	2.01
Na₂O	3.37	3.5	3.06	3	3.49	3.53	3.33	2.56	2.05	1.92
K₂O	4.12	4.21	5.19	5.22	4.04	4.12	4.85	7.67	7.81	8.63
P₂O₅	0.19	0.17	0.19	0.19	0.21	0.18	0.19	0.07	0.13	0.16
LOI	2.56	1.12	1.76	1.63	0.85	0.73	1.77	1	2.07	1.53
Total	100.79	99.68	100.78	100.85	99.34	98.74	100.41	99.21	100.61	99.75
Ba (ppm)	771	753	1003	1205	904	1341	871	1458	1838	2048
Co	3	5	2	1	4	4	2	1	34	30
Ga	18	19	19	18	19	18	18	16	15	16
Hf	7	6	9	8	8	6	7	9	7	7
Nb	22	24	21	21	24	22	22	29	24	26
Pb										
Rb	140	155	171	148	113	102	148	257	232	261
Sc										
Sr	257	329	259	401	411	424	247	129	193	198
Ta	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Th	22	22	25	22	22	20	21	29	37	36
U										
V	50	52	55	56	56	55	51	18	29	44
Y	26	27	25	26	30	26	24	33	10	15
Zr	251	280	266	295	269	268	247	319	264	269
Ce	91.2	111.3	116.3	87.4	134.4	106.1	87.2	132.6	42.7	57
Dy	4.55	5.02	4.51	5.02	5.49	4.79	4.21	6.25	1.97	2.98
Er	2.75	3.01	2.71	2.69	3.22	2.91	2.39	3.82	1.3	1.8
Eu	1.6	1.41	1.52	1.65	1.5	1.42	1.15	1.39	0.75	1.26
Gd	5.32	5.86	5.53	5.85	6.35	5.68	4.92	6.79	2.53	4.12
Ho	0.93	0.83	0.98	0.91	1.09	0.92	0.89	1.22	0.39	0.59
La	49.1	56.9	63.8	32	78.7	51.8	41.8	71.5	21.2	27.6
Lu	0.44	0.47	0.4	0.45	0.48	0.41	0.41	0.58	0.22	0.32
Nd	37.5	39.5	42.9	40.9	47.4	40.3	38.3	46	18.5	26
Pr	10.28	11.84	12.03	11.36	13.13	11.31	9.6	14.03	4.99	6.55
Sm	6.32	6.78	6.58	7.23	7.07	6.86	5.68	7.67	3.35	5.02
Tb	0.81	0.86	0.84	0.88	0.95	0.86	0.72	1.06	0.35	0.57
Tm	0.44	0.45	0.43	0.47	0.49	0.42	0.4	0.56	0.2	0.27
Yb	2.93	3.22	2.78	2.85	3.29	2.69	2.62	4.19	1.23	1.63

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Refrence	Golmohammadi et al. (2014)									
SiO ₂ (wt.%)	66.94	72.86	69.93	68.23	67.24	66.95	67.46	68.72	67.45	69.6
TiO ₂	0.47	0.16	0.33	0.41	0.37	0.4	0.35	0.35	0.35	0.27
Al ₂ O ₃	14.64	12.61	13.33	13.31	14.2	12.95	12.98	14.31	13.93	13.13
FeO	1.9	2.13	4.09	4.58	4.24	5.07	5.05	3.94	2.01	2.12
Fe ₂ O ₃										
MnO	0.03	0.01	0.03	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	n.d	0.01
MgO	0.59	0.58	0.41	1.57	1.52	2.67	2.49	1.48	1.57	1.66
CaO	2.89	0.75	1.73	1.84	2.72	2.89	2.67	1.53	2.68	1.94
Na ₂ O	3.16	1.54	3.46	3.36	3.22	3.15	2.89	3.11	3.16	3.58
K ₂ O	7.58	7.43	4.47	4.42	4.66	4.65	4.68	4.95	6.98	5.67
P ₂ O ₅	0.16	0.03	0.09	0.13	0.1	0.11	0.08	0.08	0.13	0.08
LOI	1.49	2.04								
Total	99.85	100.14	97.87	97.89	98.31	98.87	98.68	98.5	98.26	98.06
Ba (ppm)	1215	1012	601	733	674	639	588	575	1553	942
Co	1	5	3	5	4	5	3	3	0.7	0.9
Ga	18	16	22	22	22	22	22	23	21	21
Hf	7	5	7	9	8	7	11	7	7	5
Nb	22	23	26	25	26	25	24	25	24	22
Pb										
Rb	205	305	210	179	212	200	197	220	172	140
Sc										
Sr	189	104	181	231	187	206	165	143	291	187
Ta	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2
Th	22	52	29	32	45	33	36	35	34	43
U										
V	50	10								
Y	27	8	40	38	41	43	43	41	33	22
Zr	258	130	263	319	293	262	394	259	272	195
Ce	68.7	59.4	112.7	146.2	167.9	202	19.79	17.13	11.36	834
Dy	4.38	1.34	6.81	6.92	7.47	6.94	7.67	6.39	4.72	3.6
Er	2.58	0.9	4.35	4.11	4.78	4.06	4.58	4.15	3.05	2.41
Eu	0.92	0.35	1.01	1.08	1.05	1.07	0.97	0.85	0.99	0.48
Gd	5.05	1.39	7.4	8.21	8.23	7.57	8.99	7.87	6.57	4.35
Ho	0.97	0.29	1.49	1.34	1.47	1.32	1.45	1.38	1.09	1.71
La	27.9	43.5	60.4	77.9	90.4	105.8	106.3	91.1	48.4	37.7
Lu	0.41	0.28	0.6	0.57	0.65	0.6	0.6	0.49	0.43	0.37
Nd	32.2	11.9	39.6	51.9	58.3	65.5	68.1	58.6	48.8	32.6
Pr	8.53	4.57	11.39	14.65	16.74	19.79	20.22	17.01	13.09	9.34
Sm	5.94	1.66	7.84	8.79	9.93	10.49	11.11	9.56	8.07	5.12
Tb	0.79	0.24	1.11	1.14	1.21	1.23	1.38	1.16	0.89	0.59
Tm	0.4	0.17	0.57	0.55	0.72	0.54	0.58	0.58	0.42	0.32
Yb	2.73	1.48	3.99	4.08	4.03	4.39	4.32	4.86	3.36	2.35

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Reference	Golmohammadi et al. (2014)									
SiO₂ (wt.%)	70.11	67.27	65.59	69.32	68.21	69.24	66.92	68.52	70.22	66.59
TiO₂	0.4	0.37	0.36	0.43	0.4	0.35	0.41	0.4	0.37	0.42
Al₂O₃	12.69	13.51	14.32	13.3	13.42	13.7	14.55	13.93	13.51	14.28
FeO	4.08	5.37	5.2	4.31	4.35	2.69	1.94	4.45	3.17	5.18
Fe₂O₃										
MnO	0.03	0.04	0.03	0.02	0.02	n.d	0.01	0.04	0.04	0.04
MgO	1.51	1.48	1.47	1.6	1.63	1.54	1.53	1.53	1.45	1.57
CaO	1.1	1.72	3.49	1.54	1.94	2.67	3.56	1.39	1.71	2.81
Na₂O	3.19	3.22	3.05	2.82	3.35	3.04	3.082	2.97	3.38	2.74
K₂O	4.9	4.91	5.55	4.83	4.59	4.93	4.93	5.01	4.42	4.58
P₂O₅	0.1	0.1	0.09	0.11	0.12	0.12	0.14	0.11	0.1	0.12
LOI										
Total	98.11	97.99	99.15	98.28	98.03	98.28	97.072	98.35	98.37	98.33
Ba (ppm)	609	776	979	749	819	933	940	652	601	590
Co	4	4	4	5	5	1	1	4	4	5
Ga	20	22	23	20	21	20	20	21	19	19
Hf	8	9	10	9	8	8	7	8	8	7
Nb	29	22	22	23	25	25	25	25	25	23
Pb										
Rb	238	216	276	205	186	161	128	218	191	192
Sc										
Sr	120	202	193	206	295	282	302	183	197	194
Ta	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Th	44	33	33	33	42	40	36	37	40	35
U										
V										
Y	41	35	35	35	43	41	32	40	38	40
Zr	316	320	366	290	315	286	267	331	291	284
Ce	154	46.83	182.5	192.3	186.3	167.2	112.8	177.8	173.6	193.2
Dy	6.83	6.89	6.53	6.23	6.99	7.21	5.93	7.01	6.36	7.66
Er	4.59	3.65	3.69	3.79	4.32	3.92	3.29	4.24	4.04	4.48
Eu	0.73	0.29	1.33	1.01	1.15	1.17	1.21	1.05	1.04	1.12
Gd	8.21	7.72	7.97	7.53	8.28	7.67	6.33	7.76	7.58	8.47
Ho	1.47	1.39	1.31	1.42	1.6	1.44	1.13	1.31	1.36	1.62
La	82.5	85.1	96.7	103.2	97.8	90	45.2	95.9	93.7	101.9
Lu	0.66	0.56	0.56	0.56	0.67	0.62	0.52	0.62	0.6	0.66
Nd	52.9	59.6	62.7	64.2	62.1	58.2	45	61.3	58.6	63.9
Pr	15.93	17.2	18.05	18.94	18.96	16.86	13.03	17.9	17.75	19.37
Sm	9.45	10.06	10	9.89	10.46	9.02	8.15	10.05	10.04	10.37
Tb	1.27	1.19	1.11	1.11	1.28	1.23	0.98	1.18	1.7	1.28
Tm	0.65	0.56	0.57	0.57	0.69	0.61	0.52	0.63	0.57	0.68
Yb	5	3.54	3.57	3.76	4.35	4	3.38	3.99	4.38	4.72

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Reference	Mehrabi et al. (2021)										
SiO₂ (wt.%)	69.52	68.3	67.92	68.02	69.03	71.04	70.13	69.25	68.12	69.1	69.7
TiO₂	0.31	0.39	0.2	0.32	0.43	0.29	0.29	0.38	0.3	0.34	0.37
Al₂O₃	13.72	14.55	14.4	14.5	14.05	13.3	13.5	13.13	14.02	13.12	13.2
FeO	3.99	4.24	1.7	1	1.2	1.5	1.3	1.5	0.76	1.2	1.1
Fe₂O₃			0.8	1.17	1.04	1.13	1.42	1.24	2.25	2.02	2.01
MnO	0.03	0.04	0.04	0.05	0.03	0.1	0.05	0.02	0.01	0.04	0.07
MgO	1.41	1.52	1.45	1.32	1.25	1.24	1.31	0.78	0.75	1.02	0.46
CaO	1.28	1.69	2.72	2.23	3.21	3.24	2.15	2.45	3.02	2.06	2.56
Na₂O	3.07	3.06	4.62	3.26	3.55	3.98	3.87	3.69	3.65	3.74	3.56
K₂O	4.92	4.61	4.65	5.54	4.23	4.26	4.75	4.78	5.03	5.61	4.55
P₂O₅	0.08	0.11	0.15	1.17	0.16	0.13	0.14	0.12	0.17	0.14	0.12
LOI			2.23	1.54	1.24	0.54	2.47	2.76	1.67	1.37	2.14
Total	98.33	98.51	99.88	100.12	100.42	100.75	99.38	100.1	99.75	99.76	99.84
Ba (ppm)	603	594	765	564	434	213	78	766	856	502	765
Co	4	4	5.2	3.3	6.1	6.1	3.7	4.4	5.3	3.8	2.5
Ga	20	20	20	16	20	18	14	19	17	19	17
Hf	8	9	7	6	6	7	8	9	5	7	9
Nb	24	22	11	12	11	10	11	9	11	13	12
Pb			14	23	7	5	14	11	12	12	17
Rb	205	186	60	71	70	59	80	78	68	70	100
Sc			3.6	2.5	7.6	1.2	4.9	6.2	6.4	3.3	4.6
Sr	172	182	278	365	287	285	315	323	366	272	273
Ta	2	2	1.5	1.4	1.1	1.2	1	1	1	1.1	1.1
Th	34	50	33	20	35	33	32	27	32	22	25
U											
V			64	40	54	47	63	65	62	52	58
Y	39	39	15	25	20	21	24	23	23	18	22
Zr	267	308	224	234	167	175	232	134	212	198	178
Ce	143	166.3	147	126	134	133	122	124	143	126	135
Dy	7	6.74	3.3	3.1	5.2	5.2	4.5	6.3	7.3	2.5	6.5
Er	4.19	4.17	3.6	2.3	1.8	2.1	2.5	1	1.3	2.3	1.4
Eu	0.99	1.03	1.2	2.1	1.1	1.3	1.3	1.8	1.3	0.7	0.9
Gd	7.15	7.89	6.2	6.1	7.7	6.4	8.5	3.2	5.8	7.2	6.1
Ho	1.28	1.35	0.7	0.8	1.3	0.4	1.2	0.8	1.2	1.6	1.2
La	75.3	88.4	32	36	38	28	34	38	38	43	40
Lu	0.64	0.65	0.4	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.3	0.5	0.6
Nd	48.3	57.7	45.1	37.3	56.4	31.5	35.8	44.7	53.2	40.2	64.8
Pr	14.35	16.71	15	17	18	12	13	14	15	14	13
Sm	8.7	9.37	5.6	6.6	3.3	7.2	6.7	5.5	4.4	3.2	8.3
Tb	1.15	1.15	0.8	0.9	0.9	0.9	0.7	0.6	0.9	1.1	1
Tm	0.63	0.6	0.5	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3
Yb	3.82	4.14	2.3	2.2	1.5	3.5	4.6	2.2	3.6	2.7	4.5

پیوست ۱. الف) ادامه.

Appendix 1. A) Continued.

Refrence	Mehrabi et al. (2021)										
SiO₂ (wt.%)	70.2	66.32	66.21	66.65	65.12	65.87	66.13	65.13	65.36	65.72	66.65
TiO₂	0.3	0.45	0.36	0.26	0.32	0.24	0.52	0.42	0.31	0.26	0.42
Al₂O₃	13.9	14.13	14.42	14.15	14.02	13.31	13.32	14.1	14.7	14.5	13.2
FeO	1.2	1.5	1.5	1.3	1.2	1.1	1	1.1	1.3	1	1.1
Fe₂O₃	1.03	3.01	2.1	1.24	2.1	1.13	1.8	2.2	1.03	2.1	2.01
MnO	0.02	0.02	0.04	0.03	0.03	0.1	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04
MgO	0.77	1.36	1.45	1.25	1.75	1.04	1.02	1.11	1.47	1.32	1.26
CaO	3.12	1.45	2.22	2.2	3.12	3.14	2.26	3.25	3.42	2.43	2.32
Na₂O	2.73	4.69	4.02	4.68	3.65	2.98	3.74	3.87	4.47	3.26	4.76
K₂O	5.54	4.07	4.06	4	4.23	3.46	3.41	4.45	4	4.42	4.03
P₂O₅	0.17	0.11	0.12	0.14	0.17	0.13	0.14	0.13	0.17	1.12	0.12
LOI	1.02	3.26	3.26	3.54	3.62	3.51	3.35	3.4	3.7	3.44	3.24
Total	100	99.37	99.76	99.44	99.33	99.01	99.73	99.21	99.96	99.62	99.15
Ba (ppm)	1234	756	923	534	926	313	402	728	896	564	865
Co	2.8	4	5	6	2	3	3	3	1	1	2
Ga	16	19	20	18	17	22	19	14	32	16	17
Hf	7	9	7	6	5	7	5	8	6	4	9
Nb	11	13	15	14	16	18	16	20	24	16	16
Pb	24	13	14	17	14	5	22	34	24	20	27
Rb	70	90	80	74	69	60	81	85	100	90	98
Sc	7.8	6	3	4	6	1	3	5	6	2	3
Sr	348	320	378	397	346	365	370	294	300	265	323
Ta	2	1	1.5	1.1	1	1	1.1	1	1	1.1	1.1
Th	22	27	30	35	32	31	22	31	22	32	25
U											
V	53	65	54	51	62	70	52	63	73	74	68
Y	21	23	15	23	23	26	18	24	23	25	22
Zr	174	130	184	145	210	206	145	145	163	154	172
Ce	148	124	147	129	143	113	126	102	148	126	135
Dy	7.6	5.3	3.3	5.2	7.9	5.2	2.5	3.5	5.6	3.1	6.5
Er	3.2	1	3.6	1.2	1.5	2.1	2.3	2.5	3.1	2.3	1.4
Eu	0.8	1.8	1.6	1.1	1.2	1.3	1.7	1.3	1.2	2.1	0.9
Gd	7.3	3.2	6.2	7.2	5.8	5.4	7.2	8.5	7.3	6.3	6.1
Ho	1.1	0.8	0.7	0.3	1.2	0.3	1.6	1.2	1.1	0.8	1.2
La	52	38	30	32	38	28	33	34	52	36	38
Lu	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.5	0.2	0.2	0.2	0.6
Nd	54.2	42.7	41.1	53.4	56.2	31	46.1	37.2	34.2	37.2	61.8
Pr	15	14	15	16	15	14	14	13	16	14	13
Sm	7.6	5.5	5	3	4.4	6.2	3.2	5.7	7.6	4.6	8.3
Tb	1	0.5	0.8	0.8	0.9	0.9	1	0.7	1	0.8	1
Tm	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.2	0.6	0.5	0.4	0.3
Yb	1.5	2.2	2.3	1.2	3.6	3.1	2.7	2.6	1.3	2.2	2.1

پیوست ۱. ب) داده‌های شیمی زیرکن.

Appendix 1. B) Zircon chemical data.

Sample DA		Spots	DA-1	DA-2	DA-3	DA-4	DA-5	DA-6	DA-7	DA-8	DA-9
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	Age (Ma)		40.36	40.11	38.03	39.11	38.38	38.35	37.51	40.17	39.60
SiO ₂	29	wt. %	35.08	38.38	38.40	38.63	36.71	39.27	38.83	40.21	38.23
P	31	ppm	533.73	565.85	504.62	504.63	485.91	796.05	502.30	565.28	5722.72
K	39	ppm	0.00	3.02	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	3.97	32.48
Ca	42	ppm	219.18	205.89	0.00	111.15	0.00	392.59	0.00	59.16	6793.55
Sc	45	ppm	180.56	234.94	210.49	222.94	190.41	217.02	207.24	224.37	201.96
Ti	49	ppm	5.78	17.97	22.84	16.10	19.07	12.06	11.82	18.16	8.15
Mn	55	ppm	1.09	0.00	0.00	1.32	0.00	1.57	0.00	0.47	27.02
Fe	57	ppm	5.81	0.00	1.63	0.00	4.60	0.00	23.24	0.00	29.29
Cu	63	ppm	0.24	0.17	0.06	0.00	0.00	0.09	0.44	0.00	0.00
Rb	85	ppm	0.19	0.11	0.08	0.23	0.13	0.55	0.10	0.12	0.47
Sr	88	ppm	0.12	0.12	0.10	0.15	0.07	0.29	0.24	0.19	7.71
Y	89	ppm	954.00	1140.51	882.15	1149.57	586.37	2811.32	1334.21	1561.88	1045.33
ZrO ₂	91	wt. %	55.17	63.09	63.21	63.11	58.58	64.11	65.76	69.10	63.21
Nb	93	ppm	5.16	2.90	1.31	3.74	1.56	23.85	3.23	2.08	5.75
Mo	95	ppm	1.91	2.03	1.99	1.76	2.17	2.27	2.05	1.90	1.96
Sn	119	ppm	9.90	7.82	4.00	6.35	2.94	35.59	10.60	7.37	11.75
Cs	133	ppm	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
La	139	ppm	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	70.41
Ce	140	ppm	46.06	41.68	36.18	60.33	34.03	152.99	65.97	35.81	186.96
Pr	141	ppm	0.07	0.19	0.27	0.17	0.06	0.21	0.24	0.36	16.73
Nd	146	ppm	1.34	3.65	4.79	3.32	1.53	3.58	4.08	6.12	73.75
Sm	147	ppm	3.17	6.00	6.97	5.71	3.39	9.23	7.34	9.26	15.99
Eu	153	ppm	0.93	2.29	2.48	1.75	1.13	1.11	2.17	3.29	1.84
Gd	157	ppm	18.33	27.56	31.00	29.58	16.02	54.51	37.98	45.99	28.43
Tb	159	ppm	6.67	9.46	8.93	9.56	5.03	20.83	11.82	14.22	8.11
Dy	163	ppm	86.16	109.16	97.09	114.32	59.71	262.91	138.44	159.74	94.85
Ho	165	ppm	34.64	42.43	34.44	43.88	22.30	104.17	51.03	58.42	37.88
Er	166	ppm	162.13	190.22	140.63	187.90	95.11	455.52	219.16	249.33	175.02
Tm	169	ppm	37.59	42.52	30.01	41.56	20.79	100.30	46.87	53.88	40.59
Yb	172	ppm	354.06	394.53	266.59	383.74	190.68	887.54	424.88	486.14	385.17
Lu	175	ppm	74.34	80.89	53.04	76.60	38.67	166.67	84.97	94.32	78.99
Hf	178	ppm	8290.99	7404.41	7191.04	7725.80	7018.47	9400.44	8732.51	8545.43	9633.49
Ta	181	ppm	2.15	1.13	0.59	1.55	0.73	5.69	1.36	0.97	2.79
W	182	ppm	0.11	0.31	0.10	0.21	0.07	0.49	0.31	0.34	0.19
Pb	204	ppm	17.81	16.56	14.65	6.39	10.06	12.33	12.86	10.59	18.61
Pb	Total	ppm	1.63	1.30	0.72	1.10	0.58	5.47	1.65	1.44	1.96
Th	232	ppm	152.61	145.14	88.03	145.25	61.43	746.81	208.21	206.73	166.98
U	238	ppm	148.06	103.78	48.01	99.66	40.41	524.51	144.59	121.77	181.96

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample DA	DA-10	DA-11	DA-12	DA-13	DA-14	DA-15	DA-16	DA-18	DA-19	DA-20	DA-21
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	38.91	36.19	39.13	39.84	38.16	38.50	41.93	39.16	39.63	41.05	39.52
SiO ₂	37.45	37.97	40.75	40.30	39.75	40.27	40.04	39.87	41.04	40.08	39.93
P	466.31	526.65	1519.19	653.98	728.83	516.69	586.48	635.40	1034.61	655.98	670.87
K	0.00	1.41	127.95	22.86	4.76	0.00	8.77	1.93	11.48	0.00	0.00
Ca	439.92	0.00	1047.78	192.27	0.00	281.31	0.00	376.17	178.67	0.00	0.00
Sc	187.26	195.56	217.87	211.43	244.14	221.75	226.38	197.95	264.18	215.13	210.99
Ti	18.29	24.67	14.89	7.50	13.60	22.35	20.91	7.38	10.14	24.57	19.73
Mn	0.00	1.59	3.70	0.00	1.46	2.04	0.00	0.00	3.92	0.00	0.00
Fe	0.00	0.00	5.18	4.32	1.44	9.35	9.88	1.07	4.66	1.42	1.88
Cu	0.00	0.00	0.12	0.02	0.06	0.11	0.15	0.00	0.00	0.00	0.08
Rb	0.17	0.17	0.48	0.36	0.13	0.01	0.19	0.16	0.66	0.16	0.29
Sr	0.07	0.09	2.04	0.24	0.16	0.12	0.12	0.14	0.43	0.07	0.16
Y	718.00	621.53	904.82	2183.43	1161.43	881.53	1156.50	1282.64	3469.58	715.49	1941.30
ZrO ₂	61.77	61.06	66.46	65.82	65.70	66.90	68.26	66.30	66.11	66.80	66.61
Nb	1.81	1.46	2.85	4.49	4.71	1.94	2.09	6.52	33.14	1.81	2.65
Mo	1.62	2.18	1.54	2.08	2.05	2.17	1.64	2.17	2.11	2.46	1.36
Sn	3.85	3.87	10.76	18.44	10.22	4.31	5.75	15.79	60.01	3.98	13.79
Cs	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.02	0.04
La	0.01	0.00	4.67	0.03	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.10
Ce	60.74	38.94	52.75	76.54	43.62	49.38	58.00	75.27	216.10	40.05	39.64
Pr	0.11	0.10	1.54	0.41	0.12	0.18	0.46	0.12	0.26	0.13	0.59
Nd	2.03	1.82	7.37	7.03	2.40	3.12	6.50	2.31	4.32	2.09	7.35
Sm	4.70	3.89	5.01	11.85	3.67	6.03	10.60	4.99	10.59	4.29	11.31
Eu	1.16	1.32	1.37	3.27	1.67	1.97	3.15	1.19	2.27	1.57	4.09
Gd	23.91	18.59	21.63	55.82	22.71	27.41	40.22	27.70	62.58	20.43	55.43
Tb	7.00	5.79	7.13	18.33	8.20	8.49	11.66	9.70	23.61	6.54	17.10
Dy	76.35	64.95	84.79	217.91	100.77	92.03	124.85	119.99	307.75	72.71	194.00
Ho	27.11	23.57	33.08	80.12	41.49	33.80	44.33	47.22	124.27	26.60	71.63
Er	115.08	100.27	148.59	353.00	194.42	141.21	183.46	209.36	573.80	115.14	308.91
Tm	24.32	21.51	33.42	76.19	45.19	30.47	39.01	47.74	130.62	25.34	67.49
Yb	219.10	197.17	306.65	690.96	432.92	279.51	347.87	431.38	1174.96	231.28	609.17
Lu	42.91	39.76	62.14	132.24	89.58	56.06	67.49	83.91	225.29	46.25	119.11
Hf	7470.90	7039.56	8558.14	9109.90	8509.60	7820.80	7894.42	9526.89	9740.21	7622.53	7924.06
Ta	0.79	0.62	1.20	1.78	1.86	0.91	0.87	2.57	7.08	0.77	1.15
W	0.13	0.13	0.25	0.41	0.23	0.10	0.18	0.18	0.66	0.13	0.27
Pb	2.66	0.00	4.23	3.96	20.91	4.78	19.71	3.80	0.57	9.09	7.88
Pb	0.65	0.51	1.52	2.95	1.73	0.73	1.19	2.22	9.13	0.69	2.26
Th	99.90	81.68	207.80	448.13	174.22	103.96	149.95	282.13	1323.43	81.89	367.35
U	59.12	51.27	145.97	261.05	157.05	63.68	80.32	228.33	882.26	52.63	190.89

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample DA	DA-23	DA-24	DA-25	DA-26	DA-27	DA-28	DA-29
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.51	41.52	38.47	38.71	38.60	38.36	40.33
SiO ₂	39.46	40.40	40.72	41.16	34.03	37.42	41.45
P	618.67	858.40	664.21	690.24	395.14	627.75	560.55
K	0.00	15.80	0.00	1.44	49.19	164.76	0.00
Ca	392.81	385.23	17.20	293.08	0.00	37.17	0.00
Sc	235.28	210.67	229.58	223.47	164.58	212.05	209.47
Ti	21.15	21.07	20.59	21.11	8.95	18.91	9.81
Mn	2.41	0.57	0.00	3.41	4.47	0.46	0.00
Fe	0.00	8.33	0.95	0.00	2026.47	8.20	2.18
Cu	0.00	0.12	0.01	0.00	0.27	0.00	0.00
Rb	0.17	0.23	0.01	0.02	0.21	0.72	0.18
Sr	0.15	0.13	0.12	0.12	0.71	0.16	0.14
Y	1045.20	1411.14	1097.82	922.09	602.73	1065.24	1029.48
ZrO ₂	65.84	66.50	66.30	67.73	58.21	61.18	69.23
Nb	3.05	3.12	2.32	2.62	2.54	3.16	4.88
Mo	2.14	2.33	2.08	1.60	1.64	1.73	2.22
Sn	6.89	8.95	6.53	7.81	7.90	6.65	17.08
Cs	0.00	0.01	0.02	0.04	0.03	0.01	0.02
La	0.00	0.07	0.03	0.02	0.03	0.02	0.01
Ce	60.86	57.73	37.91	67.67	37.86	73.15	66.97
Pr	0.18	0.34	0.30	0.14	0.07	0.25	0.12
Nd	3.38	6.00	4.23	3.67	0.89	3.83	1.89
Sm	5.99	9.28	6.42	5.56	2.13	7.43	3.98
Eu	1.75	2.47	2.27	1.90	0.60	2.23	1.35
Gd	27.66	43.42	31.16	26.81	12.33	34.41	23.14
Tb	8.67	13.53	9.17	8.50	4.42	10.30	7.61
Dy	101.32	152.01	108.57	93.93	54.79	111.47	93.93
Ho	38.95	54.93	40.86	34.55	21.61	40.99	36.88
Er	173.21	229.01	180.53	150.64	100.13	173.24	167.89
Tm	38.58	47.50	40.06	32.52	22.70	36.62	38.46
Yb	352.88	412.99	369.52	292.52	210.88	329.09	351.05
Lu	71.93	79.70	75.21	56.61	43.28	64.58	69.36
Hf	7789.95	8275.93	7818.91	8141.33	8719.39	7197.41	10291.21
Ta	1.22	1.30	1.11	1.01	1.20	1.17	2.04
W	0.16	0.25	0.15	0.21	0.17	0.32	0.28
Pb	1.42	1.64	11.06	0.00	21.16	0.00	3.32
Pb	0.95	1.41	1.01	1.03	1.32	0.94	2.81
Th	133.74	198.58	121.98	170.92	124.92	158.61	374.38
U	89.79	130.89	88.47	97.93	102.09	87.21	259.44

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample TP	TP-1	TP-2	TP-4	TP-5	TP-6	TP-8	TP-9	TP-10	TP-11	TP-12	TP-13
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.32	37.99	39.04	38.81	37.62	37.89	38.90	40.52	39.55	39.40	38.34
SiO ₂	40.00	37.40	39.80	40.44	40.07	40.67	41.55	39.98	40.33	40.22	40.27
P	427.05	466.83	422.60	423.96	404.68	1503.83	545.23	963.40	659.11	1118.45	1029.98
K	50.68	0.00	8.63	627.56	0.00	0.00	4.50	76.05	0.60	341.60	0.00
Ca	0.00	194.85	13.89	138.73	198.82	0.00	0.00	639.97	525.90	1309.34	771.02
Sc	222.26	190.11	231.64	183.18	249.51	411.93	220.41	333.37	224.65	188.20	304.93
Ti	7.59	10.83	20.42	21.30	13.84	8.81	11.30	10.00	8.83	10.90	17.70
Mn	1.28	0.00	2.06	8.27	0.00	0.00	0.28	3.18	0.00	6.41	0.00
Fe	18.73	4.09	0.00	90.03	8.77	0.00	0.00	315.36	4.81	60.12	6.13
Cu	0.17	0.19	0.02	0.00	0.00	0.19	0.24	0.00	0.13	0.06	0.07
Rb	0.60	0.15	0.14	3.54	0.13	0.57	0.23	0.98	0.26	1.79	0.21
Sr	0.21	0.24	0.13	1.39	0.17	0.33	0.23	0.61	0.85	1.72	1.03
Y	1304.00	816.49	1003.56	1187.77	1493.60	2808.94	1407.19	2068.24	1330.50	991.92	1145.92
ZrO ₂	65.73	60.66	66.76	64.88	68.57	68.28	68.65	66.32	69.05	66.15	68.31
Nb	9.62	2.79	2.73	9.73	8.43	11.61	8.89	11.50	8.43	7.26	2.45
Mo	1.51	1.64	1.27	1.29	1.77	1.04	1.37	1.86	1.54	1.32	1.45
Sn	21.57	7.49	6.43	22.12	17.59	63.58	24.64	41.78	22.79	18.63	9.43
Cs	0.01	0.00	0.00	0.11	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01
La	0.01	0.85	0.01	0.87	0.01	0.01	0.40	1.82	3.23	10.06	3.96
Ce	65.96	35.86	57.59	59.46	80.87	45.28	77.04	73.46	72.31	77.62	23.09
Pr	0.06	0.30	0.21	0.18	0.11	0.19	0.17	0.66	0.83	2.84	1.02
Nd	1.26	2.16	3.31	1.64	2.32	4.72	2.27	5.72	4.95	12.46	5.96
Sm	3.56	3.07	5.65	3.38	5.42	11.14	3.97	8.66	4.91	5.58	5.36
Eu	0.87	1.02	1.73	0.66	1.65	2.63	1.12	2.35	1.24	0.78	1.60
Gd	21.31	16.42	26.79	19.55	30.04	65.46	26.21	49.30	24.59	18.87	26.03
Tb	8.24	6.02	8.62	7.60	10.65	22.72	9.76	17.07	9.15	6.82	8.95
Dy	110.17	75.30	100.55	101.89	133.26	278.67	126.23	208.08	118.15	89.65	106.52
Ho	46.22	29.54	37.20	42.00	53.70	103.74	49.98	77.51	47.54	35.87	41.44
Er	223.29	139.93	163.88	202.95	251.28	454.26	233.36	330.41	219.85	164.66	190.33
Tm	52.28	31.20	35.72	47.21	56.82	98.33	53.48	70.59	50.76	38.85	43.31
Yb	499.48	293.06	322.89	447.59	533.53	869.79	495.96	616.62	473.76	361.68	401.10
Lu	100.84	59.81	64.84	88.20	105.49	163.63	96.16	116.99	91.36	70.22	79.04
Hf	10422.30	8319.41	7601.22	10680.88	8952.86	9517.44	10797.95	9531.93	10062.45	10554.09	8416.62
Ta	3.57	1.58	1.09	3.66	2.75	3.44	3.35	3.71	3.31	2.86	1.08
W	0.25	0.19	0.24	0.25	0.21	0.51	0.24	0.35	0.20	0.20	0.16
Pb	2.33	2.06	2.41	7.77	4.39	4.55	3.31	0.00	1.06	2.56	6.28
Pb	3.08	0.98	0.92	3.29	2.47	8.62	3.40	5.68	3.17	2.82	1.33
Th	338.22	115.65	145.63	317.20	312.55	920.39	409.44	681.53	376.39	304.95	107.43
U	323.14	104.50	85.17	321.94	254.10	960.99	367.14	595.82	342.08	284.52	156.38

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample TP	TP-15	TP-16	TP-17	TP-18	TP-19	TP-20	TP-21	TP-22	TP-23	TP-24	TP-25
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.08	37.47	40.25	42.69	39.72	39.54	38.55	39.48	38.24	41.31	38.59
SiO ₂	38.69	39.41	40.02	40.28	40.36	39.65	39.42	38.94	40.15	39.95	40.18
P	371.79	315.46	1210.88	349.09	467.39	366.11	820.33	336.41	529.80	522.35	582.27
K	233.89	0.00	1.35	6.03	0.00	0.00	1.67	4259.94	0.00	0.09	14.27
Ca	286.26	352.70	371.93	0.00	191.06	430.45	598.18	155.97	51.19	0.00	287.08
Sc	185.27	190.94	329.48	201.90	204.38	188.33	224.94	179.51	211.29	206.05	310.25
Ti	7.66	9.70	6.38	22.02	6.82	22.46	17.02	13.59	6.38	7.16	9.58
Mn	0.33	5.87	5.04	1.50	1.07	0.00	3.81	12.68	0.00	0.01	0.00
Fe	2.47	21.64	3.80	7.05	5.49	4.39	0.21	213.16	5.21	6.51	0.00
Cu	0.00	0.18	0.00	0.16	0.06	0.22	0.22	0.10	0.00	0.24	0.05
Rb	1.60	0.16	0.46	0.21	0.25	0.02	0.29	18.68	0.22	0.34	0.29
Sr	0.25	0.23	0.71	0.12	0.17	0.07	0.95	5.13	0.27	0.21	0.23
Y	827.86	1078.34	2343.05	679.68	1131.28	499.43	1960.19	1014.60	1312.09	1677.69	1685.43
ZrO ₂	62.63	65.96	65.73	66.19	66.04	65.43	64.95	57.44	66.60	66.18	64.89
Nb	4.73	5.00	13.36	2.04	7.30	1.34	4.53	2.04	8.23	13.53	7.76
Mo	1.70	1.41	1.38	1.32	1.47	1.47	1.38	1.56	1.49	1.46	1.37
Sn	14.14	12.10	48.11	4.72	20.66	4.64	14.06	7.87	25.25	33.66	30.75
Cs	0.19	0.00	0.03	0.00	0.01	0.02	0.03	0.44	0.01	0.00	0.00
La	0.56	0.03	4.28	0.01	0.00	0.00	3.95	0.11	0.64	0.01	0.11
Ce	40.61	66.68	65.02	48.75	62.65	19.64	56.24	23.11	72.10	64.22	55.24
Pr	0.22	0.13	1.67	0.09	0.09	0.06	1.26	0.26	0.25	0.12	0.14
Nd	2.07	1.75	11.18	1.88	1.55	1.47	10.11	4.26	2.48	2.65	2.52
Sm	2.64	4.30	10.36	3.94	3.63	2.47	11.04	5.78	4.36	5.71	5.52
Eu	0.84	1.21	2.19	1.37	0.82	0.94	3.52	2.18	1.18	0.73	1.91
Gd	15.62	24.21	58.27	19.19	21.98	11.90	51.66	26.40	25.51	31.17	33.80
Tb	5.62	8.65	20.09	6.11	7.84	3.87	16.83	8.46	9.43	11.62	12.29
Dy	73.23	104.02	238.99	70.25	101.50	46.24	195.74	94.85	118.72	148.77	156.91
Ho	29.20	40.04	88.66	26.08	41.24	18.01	72.17	36.17	47.67	60.30	61.97
Er	139.06	178.83	374.80	112.79	192.40	82.31	322.06	163.33	221.01	282.68	282.28
Tm	32.03	39.29	80.21	24.94	43.11	18.83	69.28	36.79	50.20	64.75	63.96
Yb	305.51	355.46	695.85	226.88	403.25	184.50	618.13	343.86	463.85	609.13	580.95
Lu	60.45	69.60	129.24	44.92	77.53	37.52	119.94	70.02	88.91	116.70	111.58
Hf	9361.38	9218.16	9808.63	8013.08	10398.88	7729.08	8362.08	7604.42	10487.52	10117.41	9257.16
Ta	2.08	1.75	4.11	0.87	2.77	0.58	1.75	0.88	3.34	4.50	3.20
W	0.27	0.23	0.27	0.22	0.20	0.07	0.36	0.19	0.22	0.30	0.41
Pb	1.38	6.56	0.00	9.84	4.19	2.95	5.04	7.45	0.00	4.29	7.44
Pb	2.04	1.88	6.33	0.91	2.90	0.69	2.56	1.80	3.48	4.69	4.26
Th	212.56	253.11	574.53	101.59	341.66	84.59	427.13	168.69	440.97	492.22	377.23
U	219.52	190.21	739.98	71.73	310.58	68.28	222.96	121.37	384.92	485.72	492.87

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample TP	TP-27	TP-28	TP-29	TP-30
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	42.27	40.35	40.13	39.07
SiO ₂	39.29	38.79	39.27	39.54
P	466.83	617.11	354.91	453.01
K	63.74	4.47	0.00	1.82
Ca	190.75	509.45	416.81	282.25
Sc	222.11	200.25	210.94	222.83
Ti	7.51	5.92	9.13	9.04
Mn	9.92	3.73	0.41	0.00
Fe	285.38	0.00	4.61	0.00
Cu	0.00	0.13	0.10	0.13
Rb	1.02	0.34	0.37	0.15
Sr	1.03	0.71	0.13	0.27
Y	1336.67	1250.87	1183.00	1224.95
ZrO ₂	66.90	63.74	64.97	65.46
Nb	9.69	8.61	5.91	8.51
Mo	1.53	1.40	1.22	1.44
Sn	21.49	23.52	12.48	17.98
Cs	0.08	0.02	0.01	0.05
La	0.07	4.15	0.01	0.52
Ce	62.96	75.27	58.34	54.42
Pr	0.10	1.12	0.09	0.19
Nd	1.51	5.72	1.78	1.71
Sm	3.38	4.54	3.68	3.42
Eu	1.03	1.08	1.13	1.00
Gd	23.53	23.37	23.24	20.96
Tb	8.66	8.84	8.40	7.98
Dy	116.50	111.35	106.52	104.92
Ho	48.55	45.92	42.90	43.95
Er	229.88	208.23	202.20	207.06
Tm	53.67	47.62	46.29	48.95
Yb	510.53	442.28	440.33	470.61
Lu	100.83	85.80	88.98	94.89
Hf	10337.26	10221.32	9017.77	9774.72
Ta	4.00	3.23	2.67	3.42
W	0.36	0.22	0.20	0.29
Pb	8.52	1.58	1.88	0.00
Pb	3.81	3.72	1.73	2.39
Th	309.06	440.70	198.75	244.17
U	330.57	388.48	187.07	273.55

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample CSK	CSK-1	CSK-2	CSK-3	CSK-4	CSK-5	CSK-6	CSK-7	CSK-8	CSK-9	CSK-10	CSK-11
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	40.39	40.44	38.49	39.64	39.25	39.01	40.03	38.20	38.75	39.81	39.15
SiO ₂	33.79	40.00	39.25	40.35	39.72	39.68	40.60	38.11	37.14	40.55	40.71
P	372.31	432.40	472.85	586.60	430.32	340.30	449.18	412.49	391.19	262.45	388.11
K	13.50	0.19	26.67	1.05	2.09	0.00	1.29	4.60	3.93	52.22	6.44
Ca	108.48	0.00	0.00	0.00	311.01	47.87	420.54	0.00	246.98	0.00	0.00
Sc	162.89	210.12	195.91	206.95	226.81	192.59	205.32	172.91	205.95	185.74	218.81
Ti	9.10	15.39	8.51	12.36	16.91	8.34	8.56	6.70	7.93	9.76	17.60
Mn	2.59	2.12	1.32	0.00	0.00	0.98	0.00	0.00	2.42	0.04	0.00
Fe	12.05	0.19	25.50	3.69	0.00	0.00	3.72	5.37	69.83	6.18	0.00
Cu	0.24	0.21	0.00	0.02	0.12	0.14	0.03	0.01	0.01	0.00	0.07
Rb	0.39	0.31	0.36	0.49	0.32	0.22	0.17	0.36	0.25	0.41	0.15
Sr	0.15	0.27	1.59	0.19	0.13	0.21	0.20	0.12	0.30	0.20	0.10
Y	1255.44	1863.70	1616.44	2032.26	1169.01	1228.27	1487.94	1450.83	1320.78	565.39	1244.92
ZrO ₂	49.87	62.93	61.72	65.76	63.14	63.63	65.74	59.52	59.52	65.88	69.58
Nb	8.09	2.83	12.37	14.05	3.23	8.80	8.04	11.06	8.65	3.08	3.65
Mo	1.41	1.83	2.25	1.66	1.86	2.03	2.13	1.77	1.61	1.49	2.11
Sn	17.63	12.90	45.84	36.12	6.03	15.62	14.85	31.49	21.61	6.97	8.07
Cs	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.00
La	0.01	0.13	1.75	0.03	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.07	0.02
Ce	63.70	53.47	91.27	81.58	58.93	56.42	83.27	74.18	70.35	40.73	56.71
Pr	0.09	0.47	1.54	0.19	0.28	0.09	0.12	0.09	0.11	0.08	0.16
Nd	1.73	6.92	10.53	3.81	4.32	1.60	2.95	1.91	1.91	0.84	3.55
Sm	3.81	11.07	8.29	7.27	7.14	4.19	5.55	4.38	4.47	1.90	5.92
Eu	1.10	3.59	1.89	0.85	2.29	0.89	1.24	0.80	1.31	0.55	1.85
Gd	23.58	52.51	31.41	40.66	34.31	22.70	33.43	26.58	25.72	11.47	31.44
Tb	8.43	16.29	11.04	15.02	10.26	8.48	12.15	10.12	9.34	4.00	10.29
Dy	112.20	184.27	140.65	183.41	117.54	109.25	145.18	129.27	116.99	49.24	121.21
Ho	44.90	68.45	57.17	73.41	43.25	43.34	55.00	52.45	46.23	20.39	45.43
Er	209.32	298.15	265.87	328.86	191.17	204.90	239.83	242.37	217.52	94.79	200.90
Tm	46.98	64.83	61.83	73.37	41.21	47.36	51.62	54.27	48.67	21.67	43.68
Yb	435.14	584.97	568.42	667.32	379.78	443.94	455.51	493.09	454.82	213.18	400.53
Lu	85.67	113.37	110.17	123.74	75.12	87.14	86.10	93.82	90.36	42.05	77.82
Hf	7883.16	8419.35	11011.48	10566.00	7841.24	9717.20	9647.77	10089.20	9311.74	10023.25	8752.76
Ta	2.78	1.19	4.42	4.33	1.19	3.37	2.77	3.94	3.16	1.26	1.44
W	0.25	0.35	1.00	0.40	0.12	0.18	0.23	0.21	0.25	0.11	0.20
Pb	0.00	4.97	6.63	0.00	1.16	0.00	4.61	6.86	4.39	0.00	8.47
Pb	2.37	2.39	6.24	5.38	1.04	1.92	2.45	4.29	3.02	0.96	1.36
Th	277.19	363.55	697.96	671.86	148.54	209.70	322.26	558.81	402.73	107.24	173.32
U	246.22	197.55	709.71	560.58	95.80	223.65	232.58	444.24	313.51	105.00	126.36

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample CSK	CSK-14	CSK-15	CSK-16	CSK-17	CSK-18	CSK-19	CSK-20	CSK-21	CSK-22	CSK-23	CSK-24
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.07	39.47	39.34	40.56	40.67	39.02	41.31	40.67	39.75	38.78	39.17
SiO ₂	39.58	40.82	39.92	40.77	37.96	39.50	39.99	37.19	40.19	35.63	39.99
P	454.29	1246.98	376.56	424.94	353.92	644.11	369.67	828.73	3631.79	391.94	490.29
K	0.00	27.30	0.00	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00	11.36	0.00
Ca	154.80	641.98	51.54	150.82	0.00	48.89	422.70	0.00	3141.48	0.00	435.36
Sc	201.73	238.79	198.49	200.34	186.43	267.06	206.60	283.03	467.14	179.07	240.90
Ti	7.63	12.62	20.75	9.85	13.16	20.50	13.04	11.70	8.64	192.86	5.66
Mn	0.00	1.66	0.00	1.94	1.92	1.14	1.31	0.00	6.70	0.83	6.36
Fe	0.00	125.53	2.79	272.23	0.85	0.00	0.00	0.00	20.05	221.22	2.30
Cu	0.00	0.00	0.06	0.22	0.11	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00
Rb	0.22	0.24	0.31	0.17	0.12	0.41	0.13	0.16	0.57	0.26	0.33
Sr	0.16	1.41	0.15	0.14	0.10	0.19	0.20	0.22	2.54	0.38	0.22
Y	1130.91	1661.85	1753.49	1294.41	633.71	2098.14	964.85	2019.22	3232.63	1032.44	1970.10
ZrO ₂	66.32	68.03	65.85	67.54	62.69	67.21	67.20	59.97	65.58	58.48	67.45
Nb	4.86	12.66	1.73	4.90	2.39	5.34	3.07	2.61	29.36	6.35	10.22
Mo	2.27	2.17	1.28	2.49	1.82	2.00	1.90	1.12	1.77	1.88	1.37
Sn	16.02	32.38	9.59	12.87	5.54	16.04	10.52	14.36	51.30	18.00	29.25
Cs	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00
La	0.00	1.19	0.08	0.01	0.00	0.05	0.15	0.03	14.68	0.20	0.02
Ce	71.47	74.84	29.77	62.95	36.54	70.51	64.54	20.67	128.68	55.22	90.09
Pr	0.11	0.84	0.63	0.09	0.07	0.47	0.24	0.38	4.23	0.11	0.19
Nd	2.12	6.59	8.71	1.99	1.26	6.72	3.16	6.49	21.77	1.80	3.08
Sm	4.93	7.10	11.68	4.98	2.97	10.88	5.11	11.28	12.08	3.88	5.88
Eu	1.27	2.06	4.31	1.34	0.88	3.75	1.65	2.99	2.19	0.85	1.42
Gd	25.10	29.67	52.31	28.09	13.47	51.71	25.19	57.24	66.73	19.25	33.86
Tb	8.40	10.61	15.71	9.88	4.98	17.18	8.26	18.03	23.92	6.95	12.36
Dy	104.03	142.36	177.74	122.25	60.69	199.66	94.86	208.88	304.49	88.88	158.01
Ho	40.52	58.30	63.62	47.52	23.00	77.12	36.57	77.51	120.28	36.36	66.12
Er	183.84	281.14	272.70	212.66	105.43	340.92	156.50	320.94	537.01	170.87	327.05
Tm	41.00	64.69	59.14	47.68	23.80	75.00	34.67	66.12	116.40	38.64	76.90
Yb	376.75	614.40	546.57	433.65	226.12	686.67	316.74	576.98	1040.06	366.94	760.76
Lu	72.34	120.07	104.99	84.82	45.33	131.17	61.31	108.35	191.10	73.47	152.97
Hf	9500.58	10003.35	7418.67	9561.00	8486.18	8159.75	8432.11	7725.92	10345.26	9185.74	10631.60
Ta	2.00	4.23	0.79	2.28	0.98	2.02	1.35	1.13	8.16	2.49	2.89
W	0.20	0.50	0.32	0.54	0.12	0.30	0.11	0.33	0.68	0.46	0.41
Pb	8.80	8.37	1.47	5.41	0.00	8.53	4.27	4.53	0.91	0.00	9.10
Pb	2.48	4.19	1.63	1.81	0.83	2.77	1.57	2.08	6.70	2.38	4.10
Th	341.78	375.76	270.63	214.84	103.42	434.87	199.03	229.78	642.61	267.01	539.93
U	235.06	478.59	140.54	176.65	85.60	245.21	148.73	218.84	752.68	268.46	412.96

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample CSK	CSK-26	CSK-27	CSK-28	CSK-29	CSK-30
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	40.44	39.78	39.99	38.57	41.97
SiO ₂	39.81	39.99	37.23	32.50	40.68
P	409.73	1988.66	1534.14	369.04	476.81
K	4.68	4.10	547.63	7.20	4.65
Ca	56.47	2207.04	2910.82	614.89	298.64
Sc	206.66	221.04	225.87	164.63	222.64
Ti	17.95	8.82	7.53	5.46	21.51
Mn	0.00	9.96	13.15	0.00	0.82
Fe	0.00	12.13	164.12	32.14	1.65
Cu	0.00	0.00	0.04	0.53	0.00
Rb	0.00	0.42	2.72	0.20	0.34
Sr	0.08	3.77	4.12	2.25	0.10
Y	725.06	1403.51	1649.37	946.93	1430.47
ZrO ₂	66.36	66.84	62.72	54.08	69.26
Nb	2.41	7.86	13.70	5.39	4.86
Mo	1.62	2.09	1.74	1.20	1.54
Sn	5.22	24.79	47.25	42.32	10.09
Cs	0.00	0.04	0.05	0.01	0.00
La	0.01	16.88	21.04	1.84	0.02
Ce	49.28	104.72	128.97	50.53	71.49
Pr	0.09	4.25	5.53	1.32	0.26
Nd	2.22	20.57	25.90	7.31	4.19
Sm	3.74	8.54	9.38	5.10	8.60
Eu	1.17	1.81	1.70	1.39	1.64
Gd	20.03	30.28	33.85	18.87	41.85
Tb	6.13	10.40	11.57	6.43	13.37
Dy	71.90	127.21	145.55	81.54	154.95
Ho	27.12	50.09	58.71	32.27	55.51
Er	119.30	234.45	271.88	154.41	230.95
Tm	26.36	52.44	61.12	34.55	47.16
Yb	244.96	490.60	579.15	322.06	405.86
Lu	47.53	94.00	114.40	63.06	74.32
Hf	8393.76	10018.81	10013.70	8461.40	8344.22
Ta	1.04	3.24	4.48	2.29	1.91
W	0.13	0.24	0.33	0.45	0.21
Pb	6.28	5.68	2.22	0.00	0.33
Pb	0.89	3.55	6.53	4.29	1.68
Th	109.66	446.89	707.73	307.57	225.68
U	79.95	352.83	682.76	612.00	152.42

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample AK	AK-1	AK-2	AK-3	AK-4	AK-5	AK-6	AK-7	AK-8	AK-9	AK-10	AK-11
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.47	43.91	40.22	40.16	42.18	43.24	41.88	39.79	40.41	40.39	45.22
SiO ₂	40.57	40.18	39.68	38.91	40.03	40.22	40.09	39.49	40.49	37.48	38.61
P	632.99	432.29	687.82	365.25	474.33	383.11	414.27	406.49	566.83	389.79	11908.67
K	2.71	2.38	0.00	27.05	0.00	0.00	0.00	6.73	1.84	0.00	20.45
Ca	161.20	204.23	345.26	101.97	0.00	24.95	30.23	0.00	0.00	0.00	20001.16
Sc	208.06	205.24	205.27	195.55	229.33	222.63	209.63	205.06	231.66	190.87	186.92
Ti	19.47	17.17	9.50	24.88	22.54	20.40	26.21	22.27	17.14	17.12	13.45
Mn	0.00	1.31	3.05	0.00	0.00	4.96	0.52	0.73	1.31	0.00	96.57
Fe	5.71	0.00	0.00	5.36	0.00	0.00	3.00	0.19	0.36	4.32	92.78
Cu	0.07	0.02	0.00	0.00	0.02	0.12	0.19	0.10	0.14	0.12	0.31
Rb	0.25	0.12	0.38	0.00	0.32	0.18	0.23	0.37	0.26	0.14	0.39
Sr	0.20	0.15	0.23	0.13	0.11	0.12	0.14	0.12	0.13	0.11	16.83
Y	2495.13	716.95	2086.95	635.14	1205.23	970.18	564.20	1096.39	922.87	789.54	2203.04
ZrO ₂	58.76	58.12	58.26	58.52	61.70	61.40	62.15	62.65	63.40	58.52	64.77
Nb	5.95	2.11	20.83	1.62	1.88	2.08	1.27	1.55	2.53	2.06	5.63
Mo	1.79	2.06	1.76	1.54	1.82	1.60	1.48	1.72	1.36	1.60	1.63
Sn	10.60	3.86	32.51	3.54	5.99	4.86	2.53	5.14	6.65	6.59	15.76
Cs	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
La	0.04	0.00	0.01	0.08	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	317.89
Ce	106.23	52.91	89.72	51.67	33.80	55.51	32.89	36.66	27.15	54.65	725.00
Pr	0.53	0.13	0.11	0.14	0.27	0.18	0.10	0.26	0.12	0.14	76.47
Nd	9.59	2.18	2.22	2.43	4.10	3.61	1.64	4.12	2.18	2.39	336.12
Sm	17.92	4.83	5.50	3.98	7.12	6.31	3.14	6.59	4.19	4.63	60.11
Eu	2.62	1.28	1.01	1.23	2.73	1.87	1.39	2.39	1.51	1.38	8.37
Gd	88.47	19.57	34.52	19.82	32.54	29.42	16.38	31.94	21.07	21.87	94.20
Tb	28.20	6.29	13.58	5.99	10.11	9.31	4.92	9.75	6.76	6.91	22.81
Dy	300.42	70.78	180.57	64.65	117.94	99.59	56.63	113.47	84.42	77.51	239.44
Ho	100.84	26.67	73.32	23.88	44.04	36.23	20.61	40.42	32.65	28.76	82.71
Er	383.65	114.58	345.35	101.58	194.16	152.77	88.93	171.66	150.56	124.63	338.67
Tm	72.34	25.08	79.82	21.45	41.99	32.82	19.33	36.53	34.95	27.21	70.47
Yb	592.19	230.35	753.10	195.39	385.02	301.02	179.39	332.90	338.47	250.13	621.38
Lu	106.62	45.43	144.68	39.63	76.51	59.09	35.82	64.96	69.55	49.54	114.15
Hf	7935.26	7900.10	10232.11	7409.88	7668.63	7695.66	7480.67	7576.97	7776.32	7210.39	8119.69
Ta	2.04	0.86	6.35	0.64	0.92	0.92	0.58	0.72	1.04	0.92	2.14
W	0.49	0.10	0.36	0.09	0.18	0.20	0.08	0.14	0.18	0.10	0.39
Pb	3.07	5.16	0.10	4.72	8.05	2.64	7.07	0.00	12.26	0.58	9.93
Pb	2.03	0.80	3.89	0.65	1.00	0.79	0.53	0.76	1.05	1.00	2.89
Th	341.05	100.95	419.21	87.86	129.78	113.05	62.26	114.77	107.25	163.67	401.13
U	161.09	65.70	457.00	52.79	86.18	67.01	42.28	68.89	94.77	93.05	239.52

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample AK	AK-13	AK-14	AK-15	AK-16	AK-17	AK-18	AK-19	AK-20	AK-21	AK-22	AK-23
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.90	39.51	40.58	39.75	39.95	40.93	42.20	42.05	43.61	43.06	39.19
SiO ₂	39.79	40.01	40.54	39.77	39.86	39.54	40.04	37.11	39.43	39.49	40.22
P	417.76	503.83	469.29	403.69	470.58	521.01	1013.21	1223.07	652.19	447.65	669.85
K	0.00	4.83	89.48	0.00	3.05	4.83	2.69	9.62	199.88	4.12	2.82
Ca	315.96	280.36	0.00	0.00	21.01	204.32	673.73	1078.30	144.23	32.77	116.09
Sc	186.88	226.29	204.97	221.86	222.95	243.84	219.44	202.24	224.03	213.66	202.10
Ti	9.84	27.90	21.07	11.66	18.09	10.05	16.25	21.24	27.48	21.81	14.26
Mn	3.07	1.59	1.91	0.00	1.43	1.89	2.06	9.79	0.84	1.38	0.00
Fe	0.00	7.12	20.43	0.00	4.40	0.00	4.36	5.02	21.57	3.00	0.00
Cu	0.15	0.00	0.20	0.21	0.07	0.12	0.13	0.00	0.43	0.00	0.12
Rb	0.25	0.00	0.65	0.15	0.19	0.19	0.26	0.16	0.83	0.08	0.32
Sr	0.16	0.11	0.17	0.20	0.11	0.20	0.27	1.80	0.47	0.12	0.17
Y	1162.48	722.25	1325.55	1206.34	1074.63	1272.05	1296.08	980.07	1075.79	968.57	1643.87
ZrO ₂	67.71	69.98	68.91	70.03	69.24	70.06	68.13	62.59	69.18	69.11	69.07
Nb	7.32	1.23	5.39	4.86	2.37	5.59	4.18	3.06	4.12	2.45	8.74
Mo	1.95	1.17	1.68	1.86	1.47	1.47	2.04	1.46	1.68	1.38	1.84
Sn	18.48	2.23	9.86	9.54	7.54	10.13	9.76	6.68	7.36	5.48	24.57
Cs	0.00	0.01	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01	0.06	0.02	0.00
La	0.01	0.03	0.07	0.01	0.01	0.01	8.78	14.84	3.30	0.01	0.01
Ce	69.29	38.56	62.35	60.53	34.95	47.43	107.96	94.38	72.97	38.33	103.73
Pr	0.08	0.15	0.23	0.09	0.15	0.14	2.47	3.70	0.89	0.27	0.23
Nd	1.93	2.45	3.69	2.22	2.95	2.36	14.07	19.51	6.10	4.59	3.58
Sm	3.84	5.01	6.78	4.80	5.40	5.10	9.57	8.56	6.12	7.61	7.14
Eu	1.01	1.78	1.90	1.50	1.88	1.47	2.21	1.91	1.79	2.38	1.77
Gd	22.18	24.02	35.44	26.73	25.75	26.39	36.37	30.62	26.28	29.89	40.15
Tb	8.01	7.06	11.59	9.13	9.46	9.32	11.40	9.05	8.81	9.19	13.57
Dy	102.08	77.57	133.12	112.74	102.57	115.06	133.37	102.07	104.29	101.53	163.82
Ho	40.63	27.59	49.30	42.87	38.42	45.27	48.32	36.40	38.72	36.38	61.17
Er	187.63	113.25	210.43	199.50	172.74	211.54	207.89	156.59	175.10	155.16	260.28
Tm	41.88	23.78	45.13	44.72	38.70	47.61	43.28	32.60	38.83	33.04	55.78
Yb	402.41	218.15	397.06	430.46	361.27	458.08	391.52	295.08	366.16	305.39	495.48
Lu	78.52	42.80	76.28	85.98	71.24	91.76	75.47	57.72	71.43	58.61	92.68
Hf	10213.14	7049.80	8184.67	8539.11	8194.29	8413.19	7810.02	6821.40	7492.24	7478.59	9054.99
Ta	2.64	0.48	1.76	2.10	1.03	1.91	1.47	1.03	1.34	1.07	2.93
W	0.20	0.14	0.26	0.22	0.23	0.21	0.19	0.15	0.11	0.20	0.31
Pb	2.31	1.83	0.55	4.00	0.00	0.00	3.70	10.03	3.85	2.29	11.26
Pb	2.73	0.37	1.53	1.36	1.28	1.38	1.79	1.41	1.42	0.76	4.13
Th	339.88	57.71	199.98	155.80	164.56	164.27	287.00	196.31	185.68	102.89	629.54
U	283.74	32.57	144.49	139.77	124.54	147.84	155.67	97.39	115.35	69.97	367.52

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample AK	AK-24	AK-25	AK-26	AK-27	AK-28	AK-29	AK-30
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.52	41.32	40.69	39.80	38.30	40.26	40.12
SiO ₂	40.17	38.93	38.93	39.13	37.21	40.11	40.84
P	402.00	7257.16	452.78	545.95	429.41	605.86	565.72
K	347.86	1.90	1.22	0.00	93.07	0.19	0.00
Ca	418.05	8578.26	362.04	0.00	41.51	37.33	261.27
Sc	200.10	222.74	187.98	188.58	175.77	210.81	235.99
Ti	16.97	16.36	17.73	10.95	9.94	15.10	19.68
Mn	3.59	28.49	0.00	0.00	0.00	0.05	1.06
Fe	39.61	27.72	0.00	5.49	25.59	0.00	5.38
Cu	0.05	0.18	0.02	0.12	0.02	0.00	0.00
Rb	1.55	0.09	0.14	0.30	0.56	0.12	0.02
Sr	0.68	5.23	0.11	0.17	0.23	0.18	0.09
Y	1127.84	1263.99	556.54	1848.68	1425.79	1285.95	962.33
ZrO ₂	69.72	68.42	66.99	66.53	62.36	70.81	70.24
Nb	5.19	4.81	1.62	13.64	8.59	4.95	2.53
Mo	1.94	1.67	1.38	1.87	1.54	1.86	1.46
Sn	13.88	10.58	5.24	34.09	28.10	12.95	5.57
Cs	0.08	0.01	0.01	0.00	0.06	0.00	0.02
La	0.76	92.10	0.01	0.01	0.17	0.02	0.01
Ce	66.08	230.63	22.80	101.28	90.53	87.21	52.11
Pr	0.22	20.96	0.07	0.15	0.13	0.20	0.16
Nd	2.55	95.30	1.24	2.98	2.35	3.18	2.88
Sm	4.91	21.47	2.52	6.19	5.80	6.51	5.33
Eu	1.37	2.91	0.87	1.45	1.20	1.54	1.77
Gd	23.17	39.97	12.17	35.23	30.64	31.82	24.84
Tb	8.06	10.96	4.20	13.45	10.28	10.74	8.00
Dy	104.29	122.29	52.11	170.88	131.40	126.84	94.50
Ho	40.37	44.60	19.56	66.20	50.44	46.95	35.01
Er	185.53	201.85	88.31	299.23	227.56	206.65	156.34
Tm	41.25	45.09	20.77	65.65	50.40	44.99	34.08
Yb	391.83	422.21	199.61	596.83	468.49	403.78	319.01
Lu	74.52	82.01	39.61	112.41	90.34	77.43	64.35
Hf	9387.23	8432.34	7826.82	9706.76	8653.66	8731.57	7579.52
Ta	2.14	1.83	0.65	4.32	3.08	1.88	1.02
W	0.19	0.56	0.10	0.33	0.25	0.25	0.11
Pb	3.05	0.00	0.60	0.00	1.90	2.17	6.01
Pb	2.21	1.60	0.71	5.30	4.55	2.35	0.84
Th	250.49	219.52	84.90	773.01	749.79	369.15	108.55
U	197.77	156.30	71.41	525.64	432.66	213.39	73.58

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S3	S3-1	S3-2	S3-3	S3-4	S3-5	S3-6	S3-7	S3-8	S3-9	S3-10	S3-11
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.18	38.01	39.66	40.32	40.51	40.37	38.72	37.95	38.66	41.46	37.97
SiO ₂	38.50	37.47	39.39	39.04	39.77	39.87	40.61	39.39	40.47	38.95	38.28
P	994.51	531.36	458.80	610.84	520.29	474.60	663.43	2478.81	568.40	824.28	452.71
K	5.73	0.00	0.35	1.13	44.98	2.12	4.61	7.09	0.00	0.92	1.91
Ca	77.37	23.46	143.06	0.00	155.94	177.05	368.97	2693.70	0.00	75.48	244.19
Sc	208.49	198.61	202.93	193.19	197.22	223.41	202.22	224.50	215.98	206.85	198.75
Ti	20.77	19.35	13.57	9.97	10.55	23.50	12.78	11.00	17.72	17.52	24.36
Mn	4.12	1.96	1.34	2.63	1.13	0.00	2.55	12.32	0.00	0.00	0.07
Fe	4.64	0.00	0.00	0.00	0.00	2.79	5.04	6.15	0.00	3.63	0.00
Cu	0.00	0.03	0.00	0.08	0.22	0.07	0.11	0.00	0.00	0.00	0.10
Rb	0.16	0.14	0.08	0.15	0.30	0.13	0.18	0.22	0.00	0.26	0.24
Sr	0.24	0.07	0.09	0.15	0.14	0.11	0.18	2.91	0.12	0.17	0.07
Y	811.71	724.24	709.27	1255.53	827.58	956.90	1235.58	1375.70	789.63	1353.40	660.82
ZrO ₂	63.65	60.64	66.24	63.49	65.51	67.38	65.72	63.55	65.83	62.88	62.02
Nb	2.11	1.64	2.19	8.52	3.15	1.63	5.90	6.85	1.86	5.47	1.49
Mo	1.38	0.90	1.99	1.77	2.03	1.94	1.21	1.44	1.85	1.54	1.58
Sn	5.52	3.59	5.34	12.66	5.95	3.91	17.04	15.36	5.09	13.28	2.92
Cs	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.06	0.01	0.01	0.00
La	1.73	0.01	0.01	0.00	0.10	0.02	0.11	21.55	0.00	0.05	0.00
Ce	56.59	47.60	57.10	60.70	46.33	41.48	66.58	109.17	53.12	88.92	37.57
Pr	0.67	0.14	0.09	0.08	0.11	0.24	0.15	5.16	0.17	0.22	0.14
Nd	4.44	2.52	1.80	1.51	1.40	4.65	2.31	22.99	3.05	3.59	2.31
Sm	5.60	4.47	3.21	4.46	3.20	8.39	4.76	8.19	5.27	7.16	3.98
Eu	1.74	1.43	1.11	0.99	0.89	2.51	1.31	1.77	1.62	1.68	1.42
Gd	23.18	22.40	19.02	24.06	17.23	31.25	26.64	28.95	23.74	37.10	19.25
Tb	7.28	6.64	5.91	9.11	6.48	9.63	9.08	9.70	6.96	11.59	5.81
Dy	80.92	73.00	71.17	113.79	77.68	102.93	113.35	120.42	81.08	135.86	67.39
Ho	29.43	27.45	26.52	45.12	29.94	36.25	44.70	49.19	29.67	50.36	24.22
Er	128.75	117.57	115.54	205.46	134.62	151.88	201.90	229.59	127.13	215.06	104.58
Tm	28.43	25.44	25.22	46.32	30.39	32.51	44.60	52.52	26.96	45.46	22.31
Yb	257.20	235.95	235.22	437.42	287.91	290.40	413.04	495.18	250.67	405.43	207.81
Lu	50.26	46.53	46.17	84.47	56.89	56.33	78.57	99.52	49.57	75.89	40.81
Hf	7397.84	6958.32	8282.71	9258.57	8789.47	7568.82	9396.03	8675.90	7677.32	7940.24	6986.01
Ta	0.82	0.78	0.88	3.15	1.53	0.68	2.38	2.58	0.81	1.83	0.59
W	0.15	0.17	0.15	0.10	0.15	0.15	0.17	0.29	0.18	0.24	0.12
Pb	0.00	2.93	0.43	2.64	0.58	1.94	3.73	1.85	1.82	0.19	1.07
Pb	0.86	0.66	0.87	1.96	0.92	0.63	2.77	2.03	0.80	2.50	0.50
Th	137.53	96.30	126.69	216.63	113.83	95.07	398.89	243.71	117.50	425.55	75.77
U	80.29	58.92	81.29	212.56	92.83	52.23	272.68	213.88	73.94	216.79	48.27

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S3	S3-13	S3-14	S3-15	S3-16	S3-17	S3-18	S3-19	S3-20	S3-21	S3-22	S3-23
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.41	38.08	39.47	40.36	38.87	39.75	38.94	40.49	40.03	38.80	40.91
SiO ₂	40.51	40.53	38.94	42.06	35.71	39.69	40.43	39.65	39.90	38.00	39.39
P	614.87	607.08	560.21	591.23	456.41	681.40	1048.44	616.49	843.41	634.65	704.66
K	0.17	0.00	0.00	2.52	3.74	0.00	0.00	3.24	0.67	0.00	2.80
Ca	91.81	179.30	0.00	0.00	36.79	0.00	862.37	344.58	245.75	78.13	95.01
Sc	223.90	220.32	197.33	221.08	182.49	193.08	207.46	221.76	201.91	191.72	201.27
Ti	23.87	15.68	12.40	4.18	21.27	11.73	7.47	20.56	6.05	8.12	9.70
Mn	0.00	3.54	1.19	1.79	0.00	0.00	2.77	0.00	0.00	0.00	1.59
Fe	0.00	0.00	2.56	7.00	6.75	3.49	0.00	0.00	6.21	0.17	0.00
Cu	0.08	0.15	0.00	0.10	0.03	0.20	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Rb	0.17	0.24	0.16	0.25	0.13	0.36	0.15	0.05	0.34	0.07	0.28
Sr	0.53	0.09	0.11	0.19	0.10	0.23	1.02	0.10	0.53	0.10	0.16
Y	1043.03	1072.83	959.54	1368.48	582.94	1630.88	1038.47	838.12	1359.52	884.87	1355.60
ZrO ₂	65.52	66.95	63.15	68.01	55.98	65.09	66.10	63.83	62.90	58.81	62.14
Nb	3.00	3.69	2.78	8.66	1.29	9.60	4.41	2.06	7.17	3.29	8.38
Mo	1.61	1.57	1.60	1.72	0.95	1.68	1.33	1.45	1.55	1.43	1.06
Sn	7.83	7.56	7.16	27.23	3.51	20.49	13.74	4.24	24.60	8.37	22.26
Cs	0.02	0.03	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.01
La	0.19	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	8.42	0.03	2.80	0.00	0.32
Ce	52.18	58.49	72.88	71.48	34.83	93.07	74.28	41.68	87.11	51.96	83.02
Pr	0.46	0.11	0.15	0.08	0.10	0.12	1.99	0.14	0.93	0.10	0.20
Nd	4.30	2.18	2.99	1.76	2.05	2.28	9.86	2.68	5.07	1.83	2.44
Sm	6.87	4.61	4.84	3.88	3.69	5.32	4.54	4.54	5.39	4.25	5.26
Eu	2.25	1.31	1.42	1.06	1.33	1.36	1.36	1.73	1.32	1.06	1.22
Gd	31.37	25.55	26.68	23.69	16.34	33.76	22.56	24.04	26.83	20.99	27.83
Tb	9.55	8.51	8.16	8.80	5.23	12.27	7.66	7.31	9.72	7.13	9.98
Dy	105.90	101.87	93.69	113.93	57.67	150.70	94.97	83.17	120.64	84.61	123.29
Ho	39.29	39.01	35.90	47.24	21.41	58.78	36.73	30.82	47.64	33.05	48.76
Er	171.11	176.62	155.45	225.70	91.72	264.23	168.04	133.37	219.41	146.08	218.27
Tm	36.56	39.18	33.04	52.28	20.13	58.51	37.96	28.74	48.75	32.14	49.11
Yb	329.87	370.49	305.36	499.97	182.60	533.89	358.92	270.51	457.57	299.45	454.19
Lu	64.24	73.67	58.75	96.11	36.08	100.10	69.45	53.23	90.07	59.98	86.68
Hf	7405.52	8445.00	8131.93	10698.02	6437.97	9807.64	9500.42	7339.97	9804.53	8094.09	9726.45
Ta	1.17	1.67	1.18	3.20	0.56	3.15	1.97	0.97	2.77	1.45	3.02
W	0.36	0.12	0.14	0.26	0.07	0.34	0.16	0.14	0.21	0.10	0.16
Pb	0.00	1.86	2.38	2.32	0.00	2.24	3.25	4.03	0.65	2.47	1.54
Pb	1.03	1.00	1.28	4.07	0.48	3.08	1.90	0.69	4.08	1.21	3.56
Th	131.74	134.30	188.44	440.43	72.08	397.18	242.35	86.14	604.22	163.27	490.68
U	104.84	109.52	118.03	440.05	46.65	318.08	196.06	58.18	387.39	125.16	341.90

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S3	S3-25	S3-26	S3-27	S3-28	S3-29	S3-30
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	38.63	39.75	39.68	38.67	42.94	43.91
SiO ₂	39.96	39.44	39.23	39.76	39.50	40.04
P	811.61	574.47	1662.35	723.58	689.21	525.05
K	0.00	1.83	3.58	3.31	0.00	0.68
Ca	485.02	141.93	1576.46	0.00	0.00	0.00
Sc	237.37	216.02	203.51	215.84	217.26	220.03
Ti	16.53	28.28	6.15	22.92	27.24	24.85
Mn	3.52	0.00	4.46	0.00	4.83	1.82
Fe	3.36	0.00	58.80	0.00	0.00	0.00
Cu	0.00	0.12	0.21	0.00	0.00	0.15
Rb	0.40	0.19	0.08	0.15	0.13	0.00
Sr	0.17	0.17	2.24	0.10	0.05	0.14
Y	1322.01	1831.05	1463.82	842.38	794.11	825.31
ZrO ₂	62.78	62.37	62.03	63.72	62.18	64.01
Nb	4.15	1.51	9.11	1.85	1.81	1.59
Mo	1.54	1.61	1.36	1.40	1.72	1.95
Sn	16.05	6.70	32.80	4.69	5.21	3.63
Cs	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
La	0.03	0.09	14.30	0.02	0.00	0.02
Ce	61.64	39.66	104.19	53.19	44.33	36.09
Pr	0.17	0.70	4.30	0.17	0.15	0.24
Nd	3.10	9.84	19.19	3.28	2.74	3.87
Sm	6.10	13.99	8.78	5.15	5.14	6.14
Eu	2.01	5.10	1.81	1.81	1.83	1.78
Gd	31.21	59.71	31.16	23.74	23.43	26.13
Tb	10.08	17.48	10.62	7.84	7.33	7.80
Dy	123.07	189.31	132.48	86.86	82.60	83.73
Ho	47.77	68.36	51.39	31.25	29.03	29.77
Er	212.85	279.14	239.60	134.00	124.90	129.94
Tm	47.57	57.35	54.15	28.91	27.23	27.69
Yb	439.99	508.60	506.26	268.22	249.47	255.10
Lu	84.63	96.64	98.85	53.16	49.98	51.07
Hf	8077.97	7049.11	10242.87	7367.25	7090.72	7185.22
Ta	1.67	0.71	3.46	0.83	0.75	0.69
W	0.25	0.30	0.69	0.04	0.10	0.10
Pb	2.90	2.82	0.56	3.77	0.12	3.52
Pb	2.60	1.25	5.21	0.77	0.85	0.65
Th	443.64	214.82	447.83	114.57	125.74	79.88
U	243.42	102.96	494.39	68.15	68.78	51.54

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S2	S2-1	S2-2	S2-3	S2-4	S2-5	S2-6	S2-7	S2-8	S2-9	S2-10	S2-11
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	38.12	39.63	41.46	40.23	40.87	39.52	40.10	41.30	39.54	39.58	40.33
SiO ₂	39.64	38.90	39.99	38.17	38.92	40.73	39.78	39.45	40.19	39.16	40.46
P	543.43	430.09	682.87	282.70	1312.37	586.71	501.36	885.85	649.93	531.20	842.32
K	2.57	0.00	0.00	2.71	135.81	2.95	0.00	0.00	5.10	0.00	0.00
Ca	322.74	208.57	0.00	91.00	800.01	101.71	5.99	627.27	0.00	48.93	150.83
Sc	221.49	206.07	193.90	175.14	190.84	199.75	180.62	229.90	250.49	202.16	213.40
Ti	11.91	11.81	7.61	4.10	10.21	6.28	8.59	8.19	27.51	14.45	11.14
Mn	3.63	2.41	0.00	3.97	12.24	0.00	0.00	1.13	1.91	1.16	1.56
Fe	0.00	0.00	0.00	63.69	4349.64	0.00	8.23	3.22	0.00	0.00	0.71
Cu	0.00	0.00	0.00	0.02	41.09	0.00	0.00	0.31	0.00	0.10	0.00
Rb	0.37	0.08	0.27	0.27	0.61	0.32	0.15	0.21	0.11	0.19	0.86
Sr	0.31	0.09	0.22	0.08	1.23	0.16	0.20	0.46	0.17	0.10	0.38
Y	2071.91	873.73	1528.95	574.47	1148.32	1442.07	1155.25	1748.69	1161.86	951.90	4111.75
ZrO ₂	66.77	64.17	66.01	63.72	62.99	64.59	63.88	62.51	65.49	61.29	62.65
Nb	14.02	2.63	11.60	4.36	5.09	10.14	6.88	11.71	2.70	2.92	8.34
Mo	1.69	1.30	1.57	1.51	1.51	1.42	1.36	1.70	1.64	1.36	1.46
Sn	33.36	6.39	22.42	15.09	14.06	32.48	19.09	24.47	5.79	6.76	23.20
Cs	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.00	0.00
La	0.01	0.01	0.00	0.00	13.21	0.20	0.00	4.38	0.00	0.00	0.05
Ce	121.19	49.51	48.88	29.45	91.85	78.74	63.97	98.74	35.46	62.47	145.87
Pr	0.12	0.09	0.09	0.03	3.09	0.15	0.06	1.08	0.19	0.09	0.90
Nd	2.91	1.84	1.65	0.43	14.37	2.51	1.57	6.33	2.41	2.45	14.42
Sm	6.89	3.87	3.82	1.14	5.89	4.92	3.27	5.54	4.54	4.37	24.85
Eu	1.66	1.16	0.41	0.34	1.34	1.01	0.71	1.47	1.98	1.42	5.02
Gd	39.17	19.78	24.66	7.50	23.52	23.98	21.92	29.29	25.39	24.62	124.54
Tb	13.73	6.67	9.64	3.11	8.32	8.92	7.85	11.00	8.19	7.80	38.47
Dy	180.16	78.83	130.00	45.98	102.41	119.08	101.27	144.37	102.27	91.09	435.93
Ho	71.89	31.26	52.27	18.88	39.60	48.89	40.29	59.52	40.44	34.35	152.74
Er	328.43	140.77	249.18	95.50	184.20	230.99	189.18	285.64	187.80	150.56	635.47
Tm	74.42	31.35	58.38	23.70	40.59	54.32	42.16	67.01	42.46	32.22	128.41
Yb	713.14	303.47	561.47	248.54	389.80	527.73	399.36	656.98	411.34	307.07	1123.56
Lu	131.62	59.62	108.03	49.88	73.89	101.00	76.56	128.07	81.82	59.10	200.47
Hf	9884.69	8344.48	10387.01	10918.07	9306.85	10868.31	10241.70	9328.52	7349.53	7956.86	8683.17
Ta	4.28	1.35	4.35	1.81	1.99	3.72	2.74	3.77	1.11	1.21	2.72
W	0.32	0.19	0.29	0.22	0.20	0.22	0.27	0.30	0.21	0.14	0.62
Pb	0.76	1.39	3.39	1.17	2.27	0.86	1.43	1.90	1.59	2.83	2.25
Pb	5.18	0.82	3.35	1.96	2.24	4.63	2.66	3.55	0.95	1.31	4.29
Th	765.53	108.29	314.69	119.98	270.84	598.41	324.85	421.58	118.29	186.45	762.95
U	525.00	86.81	373.65	238.12	215.74	500.92	289.22	379.82	96.46	122.21	371.88

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S2	S2-13	S2-14	S2-15	S2-16	S2-18	S2-19	S2-20	S2-21	S2-22	S2-23	S2-24
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.83	40.36	41.32	38.79	40.15	37.67	42.08	41.41	39.59	38.81	40.89
SiO ₂	38.76	39.94	36.20	40.17	39.92	38.32	40.74	39.72	39.41	39.92	38.80
P	2666.85	454.06	898.11	695.29	603.75	496.49	514.01	520.08	561.07	486.37	4374.41
K	3.52	3.89	0.00	0.46	0.00	0.00	0.00	4.58	137.12	0.00	3.58
Ca	3665.33	0.00	419.48	0.00	269.01	0.00	62.36	478.49	0.00	0.00	4609.13
Sc	213.71	188.73	185.27	239.77	210.42	198.84	210.29	225.71	170.37	204.60	207.93
Ti	6.71	14.38	5.13	17.02	11.53	23.12	27.78	14.84	28.91	23.57	13.07
Mn	8.13	0.00	3.41	1.57	0.00	1.52	0.74	3.72	0.00	3.27	20.87
Fe	13.56	0.00	5.52	1.39	0.00	2.10	0.00	0.00	12.45	0.14	22.07
Cu	0.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.32	0.17	0.01
Rb	0.20	0.19	0.19	0.27	0.09	0.03	0.08	0.23	1.10	0.40	0.07
Sr	3.87	0.14	0.50	0.16	0.13	0.07	0.09	0.12	0.41	0.20	3.74
Y	1551.88	1139.83	1396.77	1435.66	1129.36	637.08	969.62	1351.65	1569.94	2012.64	1126.15
ZrO ₂	60.01	62.95	54.68	63.17	64.36	61.22	65.80	66.46	63.61	67.25	65.43
Nb	10.34	6.51	9.58	4.63	3.60	1.38	2.08	6.32	14.53	2.08	3.79
Mo	1.28	1.10	1.32	1.17	1.17	1.15	1.15	1.35	1.19	1.63	1.16
Sn	21.74	12.94	23.73	15.46	14.01	3.54	5.81	10.14	41.73	12.18	10.44
Cs	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00
La	19.89	0.01	1.84	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.08	0.08	23.00
Ce	107.82	63.49	75.40	67.24	58.73	38.17	78.60	64.10	77.73	37.94	86.91
Pr	4.92	0.09	0.56	0.19	0.14	0.12	0.21	0.13	0.09	0.66	6.24
Nd	23.93	1.84	3.63	3.50	2.37	2.18	3.59	2.70	1.53	9.48	28.43
Sm	7.85	3.94	4.34	5.84	4.61	3.83	6.46	5.50	3.62	12.86	8.79
Eu	1.47	0.94	1.06	2.13	1.60	1.53	1.43	1.66	0.83	5.09	1.65
Gd	28.71	23.73	24.89	31.83	24.26	18.63	32.63	28.34	24.20	57.71	23.94
Tb	9.91	8.17	9.40	10.71	8.21	5.54	9.38	9.87	9.67	17.84	7.79
Dy	132.49	102.95	116.33	128.66	103.83	64.44	105.50	120.60	125.04	197.23	95.37
Ho	52.46	40.08	47.75	50.41	39.63	23.24	36.26	46.68	52.00	70.95	37.92
Er	252.22	180.57	227.14	227.63	177.72	100.14	150.52	216.33	256.45	309.17	179.68
Tm	57.34	40.10	51.85	50.37	39.42	21.54	30.76	48.17	59.92	66.11	41.74
Yb	549.52	372.82	489.33	464.27	368.41	197.52	270.18	461.39	576.49	613.18	415.98
Lu	106.47	69.97	96.17	89.38	69.39	38.85	50.60	90.56	110.95	115.18	84.30
Hf	9802.50	9506.05	8885.33	8275.83	8767.57	7014.75	7643.47	8148.98	11249.37	7688.61	8277.04
Ta	3.66	2.31	3.31	1.77	1.51	0.52	0.88	2.17	5.19	0.86	1.64
W	0.25	0.13	0.22	0.22	0.17	0.13	0.15	0.20	0.30	0.31	0.15
Pb	3.46	5.40	6.10	0.79	4.05	3.30	0.84	4.40	2.42	3.56	2.74
Pb	3.53	1.90	3.81	2.84	2.25	0.54	0.94	1.60	6.03	2.21	1.48
Th	395.27	231.58	483.11	512.69	330.47	78.19	152.31	194.37	788.36	402.14	161.34
U	354.33	201.20	387.60	259.56	212.85	49.47	79.05	166.82	642.82	187.50	149.97

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample S2	S2-25	S2-26	S2-27	S2-28	S2-29	S2-30
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.19	39.36	38.47	38.86	40.21	39.01
SiO ₂	40.44	39.81	38.42	39.02	40.01	39.29
P	423.31	456.41	407.34	688.69	479.71	474.43
K	5.96	0.21	1.10	5.21	0.36	0.00
Ca	0.00	0.00	277.91	162.75	271.83	286.64
Sc	201.42	222.19	202.72	203.71	219.51	212.75
Ti	11.25	13.23	19.45	8.97	18.97	28.83
Mn	0.00	0.70	1.96	3.53	3.13	0.49
Fe	0.00	0.00	0.00	0.43	0.00	0.00
Cu	0.00	0.00	0.01	0.03	0.05	0.00
Rb	0.33	0.24	0.00	0.17	0.11	0.11
Sr	0.15	0.17	0.09	0.40	0.14	0.09
Y	1560.72	1518.02	811.50	1720.13	1172.87	775.92
ZrO ₂	67.77	67.66	64.64	65.10	66.09	65.45
Nb	7.76	5.38	1.95	13.86	1.44	1.73
Mo	1.44	1.03	1.72	1.68	1.71	1.43
Sn	18.12	10.81	5.24	41.30	4.28	4.47
Cs	0.04	0.01	0.00	0.03	0.04	0.03
La	0.01	0.01	0.00	1.66	0.05	0.01
Ce	105.59	64.82	56.66	110.95	38.57	30.39
Pr	0.20	0.27	0.14	0.58	0.33	0.10
Nd	3.19	3.89	3.02	3.80	5.78	2.41
Sm	6.40	7.67	4.72	5.71	8.68	3.87
Eu	1.74	2.15	1.63	1.52	2.93	1.50
Gd	34.15	36.27	22.48	33.93	38.88	19.21
Tb	12.03	12.09	6.99	11.69	11.09	6.04
Dy	145.93	142.64	79.93	145.03	119.45	72.87
Ho	54.62	54.32	29.03	57.66	42.34	27.18
Er	244.56	244.84	126.49	268.79	179.85	120.71
Tm	52.49	53.04	27.30	60.73	37.84	26.80
Yb	490.07	500.75	255.30	596.16	345.19	259.95
Lu	89.80	96.29	49.86	113.83	67.00	51.37
Hf	9418.25	8448.10	7643.27	10297.56	7341.46	7150.59
Ta	2.87	1.96	0.92	4.13	0.74	0.76
W	0.29	0.23	0.14	0.38	0.17	0.11
Pb	0.00	1.97	2.12	1.59	1.50	0.00
Pb	2.98	1.57	0.78	6.81	0.78	0.62
Th	422.04	210.50	125.58	1075.87	119.71	85.98
U	300.33	165.04	74.62	651.17	66.75	64.87

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample BR-01											
	BR-01-01	BR-01-02	BR-01-03	BR-01-04	BR-01-06	BR-01-08	BR-01-10	BR-01-11	BR-01-12	BR-01-13	BR-01-16
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	40.10	41.20	44.90	40.80	50.80	42.10	45.30	44.70	41.50	40.30	43.70
SiO ₂											
P	176.16	617.49	227.40	198.28	172.65	274.04	845.31	137.95	210.58	211.88	5528.12
K											
Ca											
Sc											
Ti	2.15	2.59	5.15	7.35	18.21	3.99	9.22	2.63	4.06	2.39	6.53
Mn											
Fe											
Cu											
Rb											
Sr											
Y	866.10	810.09	671.90	1407.01	390.61	1153.59	551.31	551.19	645.50	957.84	663.82
ZrO ₂											
Nb	5.32	4.68	1.91	1.50	0.63	2.78	1.66	3.71	2.28	4.79	1.72
Mo											
Sn											
Cs											
La	0.02	18.91	0.03	0.12	0.02	0.13	0.46	0.01	0.02	0.02	122.59
Ce	8.53	54.51	3.50	5.92	3.12	6.12	12.11	5.32	4.52	8.17	270.75
Pr	0.03	6.48	0.06	0.29	0.09	0.09	0.28	0.03	0.03	0.06	32.96
Nd	0.64	31.28	0.80	3.97	1.60	1.73	1.60	0.37	0.93	1.32	143.54
Sm	1.91	8.60	1.92	7.08	2.43	4.26	2.27	1.11	2.19	2.79	27.68
Eu	0.07	0.19	0.07	0.57	0.62	0.08	0.40	0.06	0.08	0.09	0.53
Gd	13.45	18.28	12.30	34.75	9.68	21.81	12.01	7.77	12.26	17.05	31.49
Tb	5.37	5.99	4.43	11.52	3.23	7.75	3.91	3.05	4.46	6.32	6.71
Dy	70.30	69.99	56.70	131.10	36.58	98.66	49.47	42.11	53.77	80.84	65.12
Ho	27.37	26.17	21.88	46.08	12.90	36.84	18.38	17.23	20.87	30.51	21.98
Er	130.20	119.93	101.12	199.52	57.85	170.29	81.46	85.07	96.69	141.31	94.90
Tm	26.94	24.57	21.05	38.94	11.35	34.01	16.75	18.20	20.07	28.22	19.01
Yb	268.57	241.34	210.82	357.00	112.32	335.86	164.87	189.46	199.20	280.32	183.54
Lu	48.57	44.20	38.96	63.11	21.22	61.07	30.96	34.82	36.33	50.74	33.42
Hf	10664.24	9994.15	8771.38	8349.17	6723.16	9649.37	7506.34	10597.60	9073.55	10031.83	8600.60
Ta	2.17	1.83	0.79	0.69	0.20	1.15	0.61	1.73	0.93	1.89	0.69
W											
Pb	<0.83	<1.05	1.10	1.37	1.17	<1.27	<1.24	1.19	1.46	<0.92	<1.15
Pb											
Th	225.94	223.09	109.86	214.93	28.00	195.60	75.64	90.10	142.20	247.01	121.20
U	559.15	505.33	231.87	335.26	39.82	500.82	98.86	268.69	315.81	544.98	233.71

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample BR-01											
	BR-01-18	BR-01-19	BR-01-21	BR-01-22	BR-01-23	BR-01-24	BR-01-25	BR-01-26	BR-01-27	BR-01-28	BR-01-29
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	43.90	42.90	42.20	42.00	42.50	41.60	42.20	41.50	37.00	41.80	42.90
SiO ₂											
P	160.28	338.27	190.17	325.82	132.89	294.01	261.54	174.12	1545.56	290.59	228.98
K											
Ca											
Sc											
Ti	8.84	4.13	9.01	3.57	4.08	2.68	2320.90	3.94	10.58	2.31	4.62
Mn											
Fe											
Cu											
Rb											
Sr											
Y	1005.98	1208.25	1110.00	972.51	815.92	712.97	829.11	771.10	2126.35	1052.79	761.64
ZrO ₂											
Nb	1.67	3.21	1.10	6.12	3.44	4.52	12.84	3.90	13.84	6.72	2.60
Mo											
Sn											
Cs											
La	0.02	1.75	0.65	2.14	0.02	3.30	1.73	0.05	20.88	2.96	0.09
Ce	9.53	12.27	10.07	18.06	10.05	19.76	10.11	6.93	70.17	18.90	5.01
Pr	0.22	0.59	0.65	0.74	0.08	0.94	0.56	0.05	6.29	1.06	0.07
Nd	3.08	4.70	5.71	4.01	1.27	5.06	3.05	0.81	31.05	6.26	1.10
Sm	5.94	5.18	8.30	2.83	2.24	2.71	2.84	2.42	12.32	3.57	2.45
Eu	0.91	0.23	1.70	0.24	0.48	0.15	0.09	0.06	0.43	0.06	0.10
Gd	21.75	25.52	32.48	16.46	13.70	10.96	15.80	13.27	43.55	17.71	12.89
Tb	7.71	8.79	10.06	6.01	5.06	4.20	5.80	5.25	15.82	6.63	4.84
Dy	88.84	107.50	107.59	78.46	64.59	54.90	71.17	65.68	192.24	86.31	63.69
Ho	32.11	39.57	37.22	30.63	25.22	22.07	26.65	25.10	70.09	33.93	24.54
Er	141.27	176.20	155.68	148.77	123.43	108.28	124.12	116.74	315.35	156.49	114.67
Tm	28.27	35.30	29.37	31.39	26.31	23.83	25.43	24.06	61.69	32.74	23.88
Yb	270.29	338.95	274.92	318.14	271.50	244.52	249.86	235.25	581.32	322.59	235.22
Lu	48.94	60.55	49.48	57.81	50.70	46.21	45.20	42.58	103.58	58.33	44.03
Hf	8476.97	9070.33	7103.94	10387.77	10423.71	10686.71	9295.09	10078.05	9479.60	10432.94	9258.74
Ta	0.72	1.23	0.38	2.32	1.38	1.99	1.69	1.60	4.41	2.57	1.19
W											
Pb	<0.90	<1.00	<1.13	<1.04	<1.02	<1.23	<1.27	<0.90	<0.95	<0.94	<0.89
Pb											
Th	138.65	258.18	92.58	217.28	130.60	213.57	168.55	182.56	1119.11	333.43	156.47
U	204.28	452.39	103.10	497.16	317.70	472.60	353.62	431.39	1553.46	728.29	325.34

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample BR-01				
	BR-01-32	BR-01-33	BR-01-34	BR-01-36
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	42.70	40.70	42.90	41.40
SiO ₂				
P	162.51	711.21	171.84	555.38
K				
Ca				
Sc				
Ti	4.56	2.05	3.39	2.80
Mn				
Fe				
Cu				
Rb				
Sr				
Y	750.21	1046.28	705.98	933.99
ZrO ₂				
Nb	3.17	7.24	4.16	3.85
Mo				
Sn				
Cs				
La	0.02	4.82	0.02	5.15
Ce	6.57	24.05	8.64	18.90
Pr	0.05	1.61	0.04	1.43
Nd	1.29	8.90	0.86	7.22
Sm	2.37	4.09	2.00	4.40
Eu	0.18	0.10	0.17	0.08
Gd	14.25	16.76	12.18	17.77
Tb	5.16	6.53	4.63	6.44
Dy	64.73	83.76	59.07	79.64
Ho	24.18	32.81	22.90	30.39
Er	111.60	157.81	107.07	139.66
Tm	22.83	33.67	22.31	28.79
Yb	229.24	331.77	222.87	277.07
Lu	41.04	61.73	40.58	49.88
Hf	9258.30	11255.20	9927.79	10150.74
Ta	1.19	2.85	1.64	1.69
W				
Pb	<1.06	<0.96	<1.01	<1.17
Pb				
Th	110.43	330.68	158.13	263.09
U	252.94	742.40	370.52	561.27

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-01											
	SK-01-02	SK-01-03	SK-01-04	SK-01-05	SK-01-06	SK-01-07	SK-01-08	SK-01-09	SK-01-10	SK-01-11	SK-01-12
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	42.10	41.20	40.20	41.00	42.30	43.10	42.20	40.20	41.70	40.50	42.90
SiO ₂											
P	419.34	351.98	2656.70	406.74	221.10	177.94	155.02	250.16	220.40	294.02	243.40
K											
Ca	759.77	465.48	7771.93	518.89	65.07	71.63	131.80	71.91	70.65	389.77	96.11
Sc											
Ti	5.55	4.83	5.85	8.79	5.47	5.51	26.01	2.21	4.47	3.99	6.03
Mn											
Fe											
Cu											
Rb											
Sr											
Y	548.08	824.76	796.88	778.99	998.05	598.95	697.46	935.26	997.04	1015.27	786.91
ZrO ₂											
Nb	1.81	4.44	4.91	2.45	3.09	2.03	6.59	6.07	5.62	6.77	2.99
Mo											
Sn											
Cs											
La	4.61	6.28	31.07	6.08	0.10	0.08	2.02	0.19	0.11	4.83	0.05
Ce	15.20	27.47	93.29	20.93	7.22	4.37	11.41	13.10	13.90	28.65	5.71
Pr	1.44	2.14	12.09	1.70	0.15	0.07	0.54	0.10	0.11	1.23	0.08
Nd	7.69	11.09	62.33	9.44	1.99	1.05	2.69	0.96	2.27	6.07	1.36
Sm	3.50	5.35	18.85	5.80	3.80	2.42	2.26	2.58	3.99	3.54	2.78
Eu	0.15	0.23	0.84	0.28	0.21	0.10	0.09	0.07	0.12	0.30	0.13
Gd	11.72	17.94	25.47	17.28	20.92	11.90	10.75	13.64	19.90	15.21	15.95
Tb	3.97	5.85	6.55	5.90	7.35	4.41	4.36	5.68	7.20	5.98	5.59
Dy	49.24	72.80	69.40	67.65	88.38	53.21	56.07	73.00	87.48	78.00	67.92
Ho	18.04	26.96	25.25	25.58	32.71	20.09	22.82	29.32	32.42	31.40	25.76
Er	81.68	122.95	119.25	113.24	146.09	90.15	107.36	140.48	147.11	152.49	118.16
Tm	17.13	24.82	26.10	22.73	29.59	18.31	22.77	29.90	29.50	33.91	24.26
Yb	172.04	249.84	271.70	222.05	288.14	180.54	232.39	300.45	285.35	356.20	243.04
Lu	31.33	44.95	51.83	41.30	52.49	33.02	41.86	55.66	51.06	66.52	43.13
Hf	8396.26	9286.50	10169.54	8270.88	8727.61	8487.67	10378.75	10628.56	9088.51	10029.29	9056.48
Ta	0.71	1.66	2.47	0.77	1.12	0.76	2.23	2.60	1.71	2.58	1.19
W											
Pb	<1.63	<1.74	<1.65	<1.47	<1.76	<2.03	<1.76	<2.23	1.54	<1.53	<1.81
Pb											
Th	121.83	201.99	149.16	139.73	208.72	101.34	182.94	320.92	265.01	231.88	143.04
U	240.34	385.25	428.41	225.33	364.34	216.67	461.61	701.78	445.16	494.12	310.94

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-01											
	SK-01-14	SK-01-15	SK-01-16	SK-01-17	SK-01-18	SK-01-19	SK-01-20	SK-01-21	SK-01-22	SK-01-23	SK-01-25
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.40	38.70	42.30	42.30	38.80	41.30	38.40	41.60	41.00	42.30	41.50
SiO ₂											
P	250.85	157.02	171.09	333.44	243.99	1128.82	1031.95	816.06	5439.30	392.94	207.00
K											
Ca	120.22	68.03	68.92	67.19	68.71	846.68	504.44	1508.15	16091.75	183.67	74.96
Sc											
Ti	9.08	4.71	1.45	10.77	2.24	3.44	9.64	3.66	3.25	2.81	7.67
Mn											
Fe											
Cu											
Rb											
Sr											
Y	735.53	627.12	750.62	933.98	1349.67	963.23	2650.16	773.66	1246.40	723.12	1242.80
ZrO ₂											
Nb	2.73	1.72	5.51	1.26	7.89	4.73	3.21	6.63	5.96	2.74	2.86
Mo											
Sn											
Cs											
La	1.17	0.02	0.01	0.02	0.12	1.57	2.30	9.91	188.68	2.03	0.02
Ce	12.63	5.58	7.51	2.87	12.55	15.36	17.60	40.02	477.80	10.64	12.19
Pr	0.37	0.04	0.02	0.09	0.09	0.78	1.49	4.05	59.81	0.62	0.27
Nd	2.87	0.75	0.39	1.68	1.80	5.03	13.78	20.14	279.49	3.63	4.31
Sm	3.18	1.89	1.46	3.79	3.68	4.56	20.44	6.03	59.67	2.82	6.76
Eu	0.63	0.23	0.04	0.21	0.07	0.09	1.78	0.22	0.84	0.07	1.06
Gd	15.87	11.26	10.14	19.67	22.78	18.26	82.34	14.47	67.46	13.96	31.58
Tb	5.29	4.21	4.36	6.92	8.93	6.87	25.35	4.75	14.07	4.98	10.12
Dy	63.60	52.57	57.74	83.92	115.16	81.90	266.34	59.99	130.33	62.27	114.42
Ho	23.68	20.34	23.85	30.20	44.45	31.54	89.86	23.79	42.20	23.71	41.28
Er	109.32	94.93	116.90	136.12	202.71	143.69	371.07	118.43	175.00	110.30	178.18
Tm	22.94	19.92	25.29	27.73	41.32	29.14	69.58	26.44	34.43	22.80	34.43
Yb	232.78	193.70	264.84	269.33	399.39	285.44	641.09	281.27	329.18	224.37	326.51
Lu	43.28	36.18	49.63	48.62	72.69	52.10	110.18	52.17	58.09	41.17	59.47
Hf	7056.57	9008.19	10825.38	8439.70	10831.54	10212.01	6825.91	10812.71	9839.35	9937.68	7197.35
Ta	0.88	0.82	2.71	0.54	3.53	1.77	0.79	2.94	2.02	1.27	0.76
W											
Pb	1.94	<1.90	<1.52	<1.54	<1.92	<1.91	<1.74	<1.83	<1.53	1.55	<1.82
Pb											
Th	78.03	91.24	152.34	95.18	548.00	255.59	350.94	203.56	292.48	175.44	167.92
U	144.86	191.97	436.78	163.40	1042.03	537.54	364.56	529.27	567.03	341.36	207.53

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-01								
	SK-01-27	SK-01-28	SK-01-29	SK-01-30	SK-01-32	SK-01-33	SK-01-34	SK-01-35
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	42.30	42.50	41.40	42.40	39.90	42.60	42.00	45.90
SiO ₂								
P	239.46	196.48	1647.55	172.12	251.32	189.54	1177.22	627.76
K								
Ca	200.88	73.58	3136.68	73.77	104.27	74.35	3490.26	1310.22
Sc								
Ti	4.35	7.79	2.21	6.15	8.09	2.28	2.33	7.01
Mn								
Fe								
Cu								
Rb								
Sr								
Y	1660.46	749.72	920.23	1445.04	1014.62	901.74	931.03	1461.19
ZrO ₂								
Nb	3.05	2.05	4.90	1.49	1.54	5.90	6.19	1.81
Mo								
Sn								
Cs								
La	2.30	0.02	23.43	0.04	0.53	0.24	26.21	11.94
Ce	18.84	8.78	75.42	8.72	5.19	10.51	76.26	39.29
Pr	0.93	0.11	8.46	0.34	0.27	0.11	8.97	4.51
Nd	7.55	1.68	39.28	5.31	2.60	1.31	43.31	25.93
Sm	9.41	3.24	10.57	8.59	4.36	2.74	11.46	13.04
Eu	0.41	0.62	0.26	1.15	0.31	0.07	0.25	0.85
Gd	43.77	16.58	17.88	40.70	22.64	15.43	21.35	44.11
Tb	14.35	5.55	5.76	12.71	7.67	6.08	6.53	13.40
Dy	159.75	64.49	72.46	139.38	90.95	74.80	77.78	142.02
Ho	55.94	24.81	28.08	49.08	32.85	29.15	29.58	49.37
Er	239.24	112.73	139.83	207.54	146.14	134.19	140.58	208.09
Tm	45.66	23.06	30.12	39.09	29.17	27.98	29.29	39.37
Yb	425.07	228.05	310.17	367.37	281.27	276.27	290.23	367.85
Lu	74.17	43.34	57.68	64.77	51.08	49.77	53.18	64.69
Hf	8934.35	7243.00	10482.24	7281.34	8273.12	9971.79	10427.68	7998.22
Ta	0.91	0.68	1.89	0.51	0.62	2.18	2.37	0.58
W								
Pb	<1.52	<1.82	<1.67	<1.75	<1.74	<2.17	<2.32	<1.98
Pb								
Th	217.26	72.75	180.19	160.79	134.34	227.70	256.81	144.54
U	299.30	120.56	464.49	189.76	220.75	500.79	602.36	188.98

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-1-1

	SK-1-1-01	SK-1-1-05	SK-1-1-06	SK-1-1-10	SK-1-1-11	SK-1-1-12	SK-1-1-13	SK-1-1-14
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	41.05	37.03	44.88	38.21	35.65	39.10	36.54	39.00
SiO ₂	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73
P	287.29	320.06	568.36	229.53	275.68	270.80	229.12	844.18
K								
Ca								
Sc								
Ti	3.93	1.85	3.47	4.42	7.98	2.25	2.79	2.31
Mn								
Fe								
Cu								
Rb								
Sr								
Y	1069.09	1116.92	856.63	972.79	1747.82	969.38	849.65	905.60
ZrO ₂								
Nb	6.79	8.86	4.40	3.71	2.10	6.26	5.80	7.63
Mo								
Sn								
Cs								
La	0.27	0.70	2.71	0.00	0.00	0.00	0.00	12.16
Ce	13.15	17.79	15.40	7.45	9.90	14.63	8.72	46.64
Pr	0.13	0.28	0.90	0.03	0.28	0.04	0.02	4.68
Nd	1.45	1.71	4.46	0.93	4.56	0.88	0.58	21.42
Sm	2.98	3.24	3.33	3.22	10.93	3.63	2.03	6.55
Eu	0.11	0.16	0.09	0.05	0.50	0.08	0.13	0.28
Gd	19.55	19.47	16.72	17.48	40.16	17.09	13.37	15.49
Tb	7.59	7.35	6.12	6.55	15.02	6.60	4.76	5.44
Dy	93.85	95.31	76.14	84.13	166.22	83.45	64.47	70.45
Ho	38.09	38.23	31.16	34.11	63.04	32.94	30.65	29.52
Er	168.78	182.11	133.80	150.96	267.68	154.33	139.60	145.22
Tm	36.27	40.79	27.90	32.40	52.01	34.27	29.08	33.64
Yb	328.41	373.38	255.74	298.25	486.34	309.94	287.45	340.86
Lu	64.34	75.30	50.40	60.74	90.73	62.36	58.34	70.18
Hf	11729.33	13550.49	10720.56	13146.46	11940.51	13103.54	14078.67	13679.58
Ta	3.16	4.52	2.50	2.08	0.89	2.89	3.87	4.58
W								
Pb								
Pb	5.36	5.98	4.95	3.30	3.31	4.07	3.52	3.86
Th	361.46	390.76	288.81	202.83	306.70	245.80	207.08	205.71
U	684.93	857.39	584.14	470.57	460.83	554.33	537.65	531.20

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-1-2

	SK-1-2-04	SK-1-2-06	SK-1-2-10	SK-1-2-12	SK-1-2-14	SK-1-2-19
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	39.40	42.53	39.14	34.45	35.88	34.83
SiO ₂	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73
P	297.76	895.23	305.39	289.05	359.63	292.49
K						
Ca						
Sc						
Ti	4.78	12.51	0.00	2.60	3.56	0.00
Mn						
Fe						
Cu						
Rb						
Sr						
Y	1879.06	948.62	1380.28	934.87	2036.08	1250.80
ZrO ₂						
Nb	2.96	4.06	6.91	5.84	4.03	8.91
Mo						
Sn						
Cs						
La	0.00	13.91	0.00	0.52	0.00	0.00
Ce	11.29	35.78	12.07	13.00	20.54	12.54
Pr	0.15	2.66	0.17	0.23	0.00	0.04
Nd	2.69	16.82	1.54	1.44	2.07	0.47
Sm	8.48	7.33	4.09	1.64	6.29	4.27
Eu	0.19	0.26	0.33	0.39	0.00	0.00
Gd	42.80	16.52	24.62	11.80	46.04	21.83
Tb	15.33	7.86	9.41	6.23	14.35	7.76
Dy	175.20	80.01	115.12	77.96	183.73	104.58
Ho	66.42	32.45	48.93	30.50	71.16	44.34
Er	285.43	143.22	219.23	154.74	349.06	202.01
Tm	56.39	32.43	43.76	33.72	73.43	41.70
Yb	502.69	275.06	427.45	332.21	634.02	406.38
Lu	102.15	57.96	86.53	65.36	125.88	79.66
Hf	12238.83	11574.93	13406.01	13911.02	14008.02	14264.94
Ta	2.03	1.66	3.66	3.89	2.65	4.05
W						
Pb						
Pb	5.39	3.95	5.90	4.13	7.42	5.21
Th	426.14	277.11	318.47	262.37	594.94	325.39
U	682.12	486.92	754.91	629.56	1029.18	780.82

پیوست ۱. ب) ادامه.

Appendix 1. B) Continued.

Sample SK-2-2

	SK-2-2-05	SK-2-2-05	SK-2-2-08	SK-2-2-09	SK-2-2-11	SK-2-2-16	SK-2-2-17
²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	37.91	37.91	34.26	33.78	36.82	46.45	34.78
SiO ₂	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73	32.73
P	332.30	332.30	278.22	649.84	281.66	409.76	275.79
K							
Ca							
Sc							
Ti	1.86	1.86	1.94	1.94	10.81	3.70	0.00
Mn							
Fe							
Cu							
Rb							
Sr							
Y	1333.46	1333.46	1171.69	925.60	934.78	3743.20	1224.11
ZrO ₂							
Nb	10.08	10.08	6.19	5.88	3.57	3.41	10.65
Mo							
Sn							
Cs							
La	0.20	0.20	0.04	3.02	0.00	0.29	0.00
Ce	15.91	15.91	10.03	24.45	7.65	15.82	16.17
Pr	0.06	0.06	0.03	2.09	0.00	1.00	0.07
Nd	1.30	1.30	0.78	10.39	0.36	14.58	0.80
Sm	4.38	4.38	3.14	6.88	4.10	22.71	3.68
Eu	0.08	0.08	0.06	0.26	0.47	0.77	0.00
Gd	21.42	21.42	23.07	16.18	17.01	114.00	14.01
Tb	8.57	8.57	7.36	6.54	6.77	32.92	7.94
Dy	112.76	112.76	98.66	77.43	76.74	389.59	99.94
Ho	44.95	44.95	43.04	32.22	32.52	141.53	40.00
Er	213.11	213.11	187.48	151.54	146.04	559.49	188.99
Tm	44.97	44.97	39.42	32.72	32.62	107.09	42.90
Yb	430.17	430.17	348.57	327.09	270.59	892.55	430.55
Lu	85.05	85.05	71.01	62.23	57.62	163.13	88.64
Hf	13715.95	13715.95	12785.32	14180.48	12305.83	6650.93	14551.77
Ta	4.69	4.69	2.63	4.55	1.71	1.42	5.19
W							
Pb							
Pb	7.12	7.12	5.43	4.04	3.55	10.32	5.32
Th	471.65	471.65	404.15	258.28	254.03	1031.33	329.08
U	985.26	985.26	808.40	650.24	508.58	1018.62	816.27