

Geochemistry and petrogenesis of granitoid rocks in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, western Alborz

Majid Ghasemi Siani ¹✉, Hamed Ebrahimi Fard ²

¹ Assistant Professor Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran, majid4225@yahoo.com

² M.Sc., Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran, hamed.ebrahimi.fard2@gmail.com

ARTICLE INFO

Received: 12 February 2021

Accepted: 29 August 2021

Keywords

Cenozoic magmatism

Partial melting

Fractional crystallization

Crustal contamination

Back-arc

Tarom-Hashtjin metallogenic province



 20.1001.1.22285210.1402.14.1.6.1

 10.22108/ijp.2022.132697.1269

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Cenozoic magmatism is mainly concentrated in the Alborz magmatic arc, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Central and Eastern Iran. The Western Alborz magmatic arc known as Alborz-Azerbaijan is hosted numerous porphyry-epithermal deposits. It is divided into Ahar-Arasbaran in the north and Tarom-Hashtjin metallogenic province in the south. The Tarom-Hashtjin metallogenic province is associated with several epithermal mineral systems (Ghasemi Siani and Lentz, 2022) related to Cenozoic magmatism. It consists mainly of intrusive, subvolcanic rocks, as well as volcanic-sedimentary complexes with acidic to intermediate composition. These rocks with calc-alkaline to shoshonitic nature, are predominantly granite, granodiorite, basalt, andesite, dacite, rhyodacite, rhyolite, and related tuffs. The main goal of the present paper is to review the available data combined with our new data on the granitoids widespread in the area. An attempt is made to present the lithological, geochemical, and geo-structural features of the magma generated in Tarom-Hashtjin metallogenic province.

Regional Geology

The Tarom-Hashtjin metallogenic province is limited by the Tabriz-Soltaniyeh (Northwestern part), Soltaniyeh-Takestan (Southeastern part), and Astara faults (Western part). Volcanic-

pyroclastic rocks have been widely invaded by the Upper Eocene intrusive bodies (including Zaker, Marvarid, Koh-e-Tabar, Takestan, Zanjan, Tarom, Rudbar-Ahar, Vermarziar, and Goljin bodies). The epithermal deposits are classified as low sulfidation (LS), intermediate

✉ Corresponding Author

To cite this article: Ghasemi Siani, M., Ebrahimi Fard, H. (2023) Geochemistry and petrogenesis of granitoid rocks in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, western Alborz. *Petrological Journal*, 14(1), 139-194.

sulfidation (IS), and high sulfidation (HS).

Material and methods

Whole rock and isotopic geochemical data obtained from 176 samples of granitoid rocks related to 17 deposits (including 4 epithermal deposits of low sulfidation (LS), 5 epithermal deposits of intermediate sulfidation (IS), 4 epithermal deposits of high sulfidation) (HS) and 4 magmatic iron oxide-apatite deposits (IOA)). The data was compiled using Microsoft Excel (Appendix 1) and contains major oxides, rare earth elements and isotopic data, rock type, sources, and associated epithermal deposits. The samples of hydrothermal altered granitoid rocks with LOI greater than 2 percent by weight were excluded from the data set. Also, Sr-Nd isotopic compositions for 33 whole rock samples and Pb isotopic compositions for 24 granitoid samples are presented in Appendix 2.

Whole rocks chemistry

Geochemistry of major elements: The amounts of some oxides including MgO, CaO, FeO, TiO₂, and Al₂O₃ display negative while the K₂O content shows a positive correlation with increasing SiO₂. The abundance of incompatible elements (i.e. Rb, Ba, Th, and Zr) increases slightly to moderately with increasing silica content. The amounts of P and Sr significantly decrease with increasing silica content. These granitoids are enriched in lithophile elements (LILE)(i.e. K, Rb, Th, U, Nd) and depleted in high field strength elements (HFSE) (i.e. Ta, Nb, Ti,) indicating the occurrence of magmatism associated with subduction and the characteristic of all magmas subjected to crustal contamination in subduction zones (Chappell and White, 1992; Wilson, 2007). Also, the investigated rocks are enriched in LREEs and depleted in HREEs (LREE/HREE = 1.14-10.34), a remarkable feature of magmas related to subduction zones (Wilson, 2007). The (La/Yb)_N ratio ranges from 3.25 to 14.70 (ave.7.53).

Isotope geochemistry: The studied granitoids are located in the ranges of magmas related to the subduction zone. These magmas are periodically contaminated by crustal materials. Most of the granitoid samples are placed within the depleted and enriched mantle array (Zindler and Hart, 1986).

Discussion and Conclusion

The rocks under study associated with epithermal deposits in the Tarom-Hashtjin metallogenic province consist mainly of monzonitic, monzodioritic, quartz monzonitic, and granite belonging to high calc-alkaline to shoshonitic I type and metaluminous magmatism. They are characterized by Sr/Y (3.6 to 39.11), La/Yb (4.53 to 20.50) and high K₂O values (with an average of 4.40 wt.%), consistent with calc-alkaline mantle melt contaminated by crustal materials (Chappell and White, 1992). Metaluminous and high calc-alkaline to shoshonitic igneous rocks are originated by partial melting of enriched lithospheric mantle metasomatized by fluids from the subducting slab. These granitoids also have Th values (average 15.17 g/t) higher than that of the rocks derived from primary mantle melt. Fluids and melts from the subducting oceanic crust metasomatized the mantle wedge above them causing a positive LILE and a negative HFSE anomalies. Overall, the Tarom-Hashtjin metallogenic province is part of a back-arc extensional system arc behind the main Urumieh-Dokhtar main arc. Considering this, it seems that the extensional tectonic setting in the Lower to Middle Eocene was accompanied by convergence movements and was followed until the end of the Middle Eocene and Upper Eocene. This phase of extension occurred during the Eocene associated with slab rollback. The aforementioned tectonic movements can be associated with the processes of separation of the subducting plate or convective thinning of the lithosphere, causing the uplift of the asthenosphere and temperature disturbance in the

metasomatism lithospheric mantle wedge. This disturbance gave rise to partial melting of the subducting slab and the lithospheric mantle wedge producing the primary potassic magma of the granitoid rocks under study. It suggests that primary source magmas were generated by

partial melting of the mantle-wedge and were subsequently affected by both fractional crystallization and crustal assimilation during their magmatic evolution during Eocene magmas (37 to 42 Ma) in a back-arc basin.

زمین‌شیمی و پتروژئولوژی سنگ‌های گرانیتوئیدی در ایالت فلزایی طارم- هشتجین، البرز باختری

مجید قاسمی سیانی^۱، حامد ابراهیمی فرد^۲

^۱ استادیار، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران، majid4225@yahoo.com

^۲ کارشناسی ارشد، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، ایران، hamed.ebrahimi.fard2@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

ایالت فلزایی طارم- هشتجین، شامل ۱۷ کانسار پورفیری، اپی ترمال و اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی است که در کمان ماگمایی البرز باختری واقع شده است. برپایه بررسی‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل، سنگ‌های گرانیتوئیدی این پهنه سرشت کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی دارند و شامل واحدهای سنگی مونزونیت، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، گرانیت و به میزان کمتر سنگ‌های سینیتی هستند. این سنگ‌ها سرشت متآلومینوس دارند و از نوع I هستند. برپایه بررسی‌های زمین‌شیمیایی عنصرهای خاکی نادر (شامل غنی‌شدگی عنصرهای LREE و تهی‌شدگی عنصرهای HREE)، نسبت‌های ایزوتوپی Sr-Nd-Pb و سن اورانیم-سرب آنها $37/4 \pm 1/6$ تا $42/87 \pm 1/58$ میلیون سال پیش)، این گرانیتوئیدها با محیط‌های زمین‌ساختی کششی پشت کمانی در ارتباط هستند. غنی‌شدگی از عنصرهای LILE و تهی‌شدگی از عنصرهای HFSE نشان‌دهنده دخالت مواد پوسته‌ای در پیدایش مذاب وابسته به پهنه فرورانش هستند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی‌های زمین‌شیمیایی و نسبت‌های ایزوتوپی Sr^{86}/Sr^{87} و Nd^{143}/Nd^{144} برای سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی نشان می‌دهد ماگمای اولیه این سنگ‌ها، توسط ذوب‌بخشی گوه‌گوشته‌ای (گوشته سنگ‌کره‌ای غنی‌شده) تشکیل شده است و در طول تکامل ماگمایی تحت تأثیر تبلوربخشی و آلیش پوسته‌ای قرار گرفته‌اند. این حجم از ماگما، منجر به پیدایش سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی کمان ماگمایی البرز باختری در پهنه فرورانشی شده است؛ به‌گونه‌ای که در پالئون کمان ماگمایی ارومیه-دختر، تحت تأثیر یک رژیم فشارشی و همگرای واقع در کمان آتشفشانی پدید آمده است؛ اما در زمان ائوسن-الیگوسن، البرز باختری و ایالت فلزایی طارم- هشتجین تحت تأثیر نیروی کششی در پهنه‌ای پشت کمانی پدید آمده‌اند.

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۶/۰۷

کلید واژه‌ها

ماگماتیسیم سنوزویک

ذوب‌بخشی

تبلوربخشی

پشت کمان

ایالت فلزایی طارم- هشتجین



20.1001.1.22285210.1402.14.1.6.1

10.22108/ijp.2022.132697.1269 doi

(2004; Richard, 2015; Karimpour et al., 2021).

ماگماتیسیم سنوزویک ایران در کمان ماگمایی البرز، کمان ماگمایی ارومیه-دختر، ایران مرکزی و خاور ایران،

مقدمه

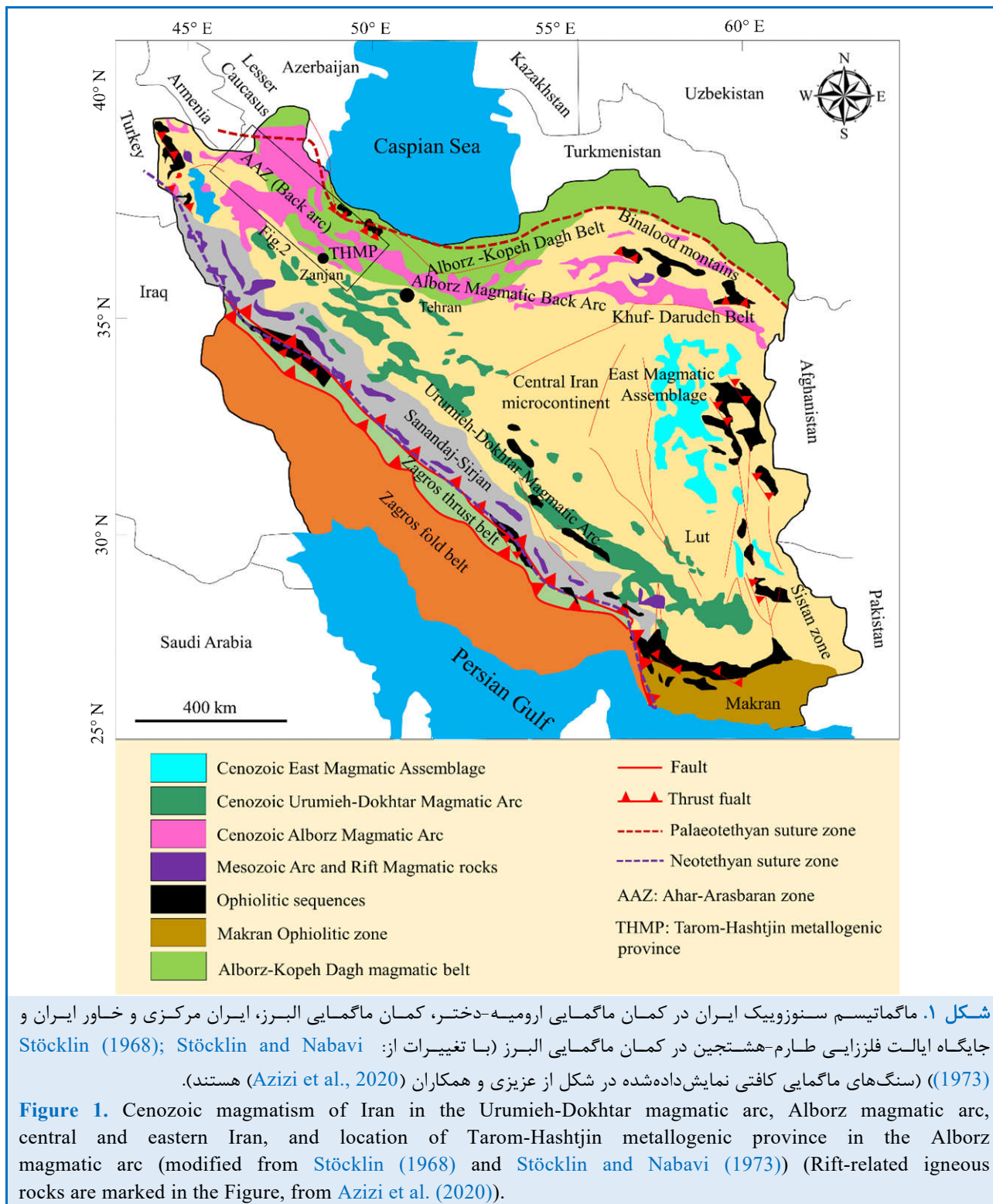
در فلات ایران، ماگماتیسیم مربوط به فرورانش اقیانوس نئوتتیس بیشتر در سنوزویک رخ داده است (Alavi,)

نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: قاسمی سیانی، م، ابراهیمی فرد، ج. (۱۴۰۲) زمین‌شیمی و پتروژئولوژی سنگ‌های گرانیتوئیدی در ایالت فلزایی طارم- هشتجین، البرز باختری. پتروژئولوژی، ۱۴(۱)، ۱۳۹-۱۹۴.

طارم- هشتجین در جنوب تقسیم شده است. زیرپهنه اهر-ارسباران میزبان سامانه‌های معدنی طلا، مس و مولیبدن پورفیری است (Ghorbani, 2007; Hassanpour et al., 2015).

متمرکز شده است (شکل ۱). کمان ماگمایی البرز باختری-آذربایجان (شکل ۱)، میزبان سامانه‌های معدنی پورفیری-اپی ترمال در ایران است. این پهنه به زیرپهنه‌های اهر-ارسباران در شمال و ایالت فلززایی



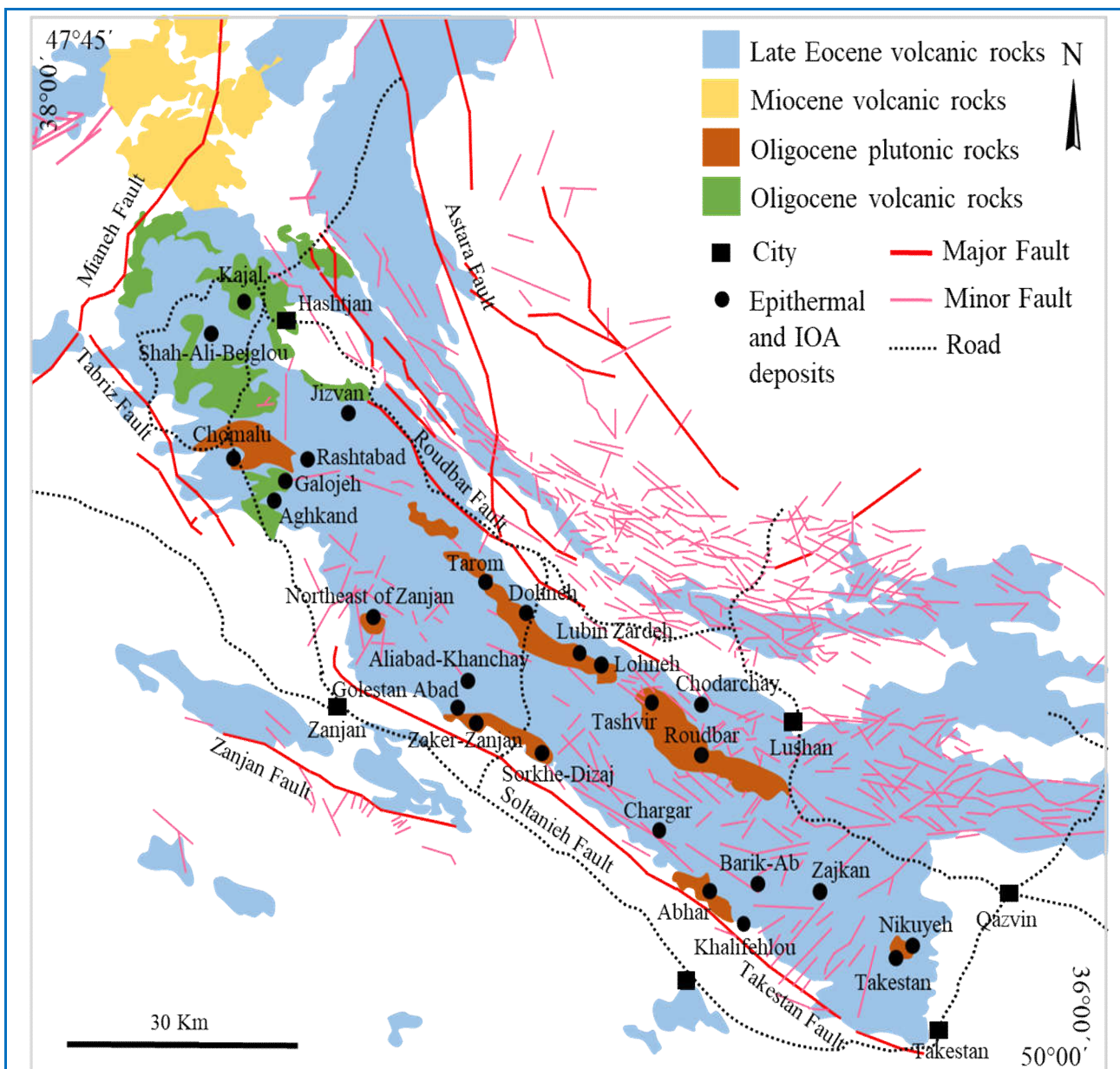
شکل ۱. ماگماتیسم سنوزویک ایران در کمان ماگمایی ارومیه-دختر، کمان ماگمایی البرز، ایران مرکزی و خاور ایران و جایگاه ایالت فلززایی طارم-هشتجین در کمان ماگمایی البرز (با تغییرات از: Stöcklin and Nabavi (1973); Stöcklin (1968)) (سنگ‌های ماگمایی کافتی نمایش داده شده در شکل از عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2020) هستند).

Yasami et al., 2017; Kouhestani and Mokhtari, 2019; Karimpour et al., 2021 Nabatian et al.,) اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی (2010, 2012, 2014; Khanmohammadi et al., 2010; Nabatian and Ghaderi, 2013; Kordian et al., 2020 در ایالت فلزایی طارم-هشتجین هستند (شکل ۲). کانه‌زایی اپی‌ترمال این پهنه فلزایی به سه نوع سولفیداسیون بالا (مانند: باریک‌آب، گلوچه، چودرچای، خلیفه‌لو و رشت‌آباد)، سولفیداسیون متوسط (مانند: لوبین-زرده، چومالو، شاه‌علی بیگلر، تشویر، لهنه، آق‌کند و علی‌آباد خانچی) و سولفیداسیون کم (مانند: نیکویی، جیزوان، زاجکان، چارگر و دهنه) دسته‌بندی شده است (Ghasemi Siani et al., 2020 and references therein).

تا کنون بررسی‌های فراوانی روی کانه‌زایی‌های فلزی اپی‌ترمال در بخش‌های گوناگون ایالت فلزایی طارم-هشتجین و نیز روی سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی آن انجام شده است (مانند: Ghasemi Siani et al., 2020). با وجود این بررسی‌ها، زمین‌شیمی و سنگ‌زایی^۴ سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلزایی طارم-هشتجین کمتر بررسی شده است. همچنین، در چند دهه اخیر، مگر چند بررسی موردی پیرامون تکامل فلزایی فلات ایران و قفقاز، بدون در نظر گرفتن زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و روابط مکانی و زمانی آنها (Jamali et al., 2010; Richards, 2015; Richards and Sholeh, 2016; Richards et al., 2019; Moritz and Barker, 2018); گردآوری منظمی از داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای اپی‌ترمال در ایران انجام نشده است. از این رو، در این نوشتار با بررسی داده‌های موجود و انتخاب موارد مرتبط، تلاش شده است ویژگی‌های سنگ‌شناختی، زمین‌شیمیایی و زمین‌ساختی ماگمای سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین بررسی شوند.

کانی‌سازی پورفیری در محور فلزایی اهر-ارسباران، پس از منطقه کرمان (مانند: کانسار مس پورفیری سرچشمه (Zarasvandi et al., 2015, 2018, 2019; Karimpour et al., 2021)، مستعدترین منطقه کانی‌سازی پورفیری در ایران به‌شمار می‌آید. وجود کانسار پورفیری سونگون (با ذخیره بیش از ۱ میلیارد تن کانسنگ مس) خود شاهدی بر این گفتار است (Jamali and Mehrabi, 2015, 2011; Aghazadeh et al., 2015). از سوی دیگر، ایالت فلزایی طارم-هشتجین با سامانه‌های معدنی اپی‌ترمال فراوانی همراه است (Ghasemi Siani and Lentz, 2022). رخداد این سامانه‌ها با ماگماتیسیم سنوزوییک مرتبط است. کمان ماگمایی البرز گستره وسیعی از محیط‌های زمین‌ساختی مانند کمان نرمال (Aghazadeh et al., 2011; Arjmandzadeh and Santos, 2014)، پشت کمانی^۱ (Asiabanha and Foden, 2012)، برگشت تخته^۲ (Jahangiri, 2007) و یا محیط‌های پس از برخورد و کششی^۳ را دربر می‌گیرد (Pang et al., 2013). هنگام ائوسن-الیگوسن، چرخه ماگماتیسیم البرز (به‌ویژه در ایالت فلزایی طارم-هشتجین)، مجموعه گسترده‌ای از سنگ‌های آذرین نفوذی، نیمه‌آتشفشانی و نیز مجموعه‌های آتشفشانی-رسوبی با تنوع ترکیبی اسیدی تا حد واسط را پدید آورده است. این سنگ‌ها سری‌های ماگمایی کالک‌آلکالن و کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارند. این واحدها، نفوذی‌های گرانیتی، گرانودیوریتی، گدازه‌های بازالتی، آندزیتی، داسیتی، ریوداسیتی، ریولیتی و توف‌های وابسته به آنها را دربر می‌گیرند. واحدهای یادشده، میزبان کانه‌زایی‌های فراوانی از مس و طلای نوع اپی‌ترمال (Azizi and Jahangiri, 2008; Verdel, 2009; Mehrabi et al., 2016; Kouhestani et al., 2017, 2018, 2019;

¹ Back-arc² Slab roll back³ Extensional environments⁴ Petrogenesis



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ساده‌شده ایالت فلزایی طارم-هشتجین، که در آن جایگاه کنسارهای اصلی اپی‌ترمال و آهن ماگمایی نشان داده شده است (با تغییرات از (Ghorbani (2007)).

Figure 2. Simplified regional geological map of the Tarom-Hashtjin metallogenic province, showing the location of the main epithermal and magmatic iron deposits (modified from Ghorbani (2007)).

اسیدی تا حد واسط و نیز گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی کالک‌آلکان مرتبط با سنگ‌های گرانیتوئیدی نیمه‌ژرف هستند (Azizi and Jahangiri, 2008; Ballato et al., 2011). ایالت فلزایی طارم-هشتجین، با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری، ۷۰ تا ۱۵۰ کیلومتر پهنا و ۳۰۰

ایالت فلزایی طارم-هشتجین

بخش‌های شمالی ایران با کمربندهای البرز-کپه‌داغ و کمان ماگمایی البرز مشخص می‌شوند (شکل ۱). ماگماتیسم ترشیری (ائوسن تا لیگوسن) کمان ماگمایی البرز، شامل توف و گدازه‌های کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی با تنوع ترکیبی

2012; Ghasemi Siani, 2014; Mehrabi et al., 2014, 2016; Ghasemi Siani et al., 2015, 2017)، نیکویی (اپی‌ترمال سولفیداسیون کم) (Aghajani et al., 2016, 2020)، لوبین-زرده (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Hosseinzadeh et al., 2015; Rahmani et al., 2019; Zamanian et al., 2020)، تشویر (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Sadri et al., 2015; Feyzi et al., 2016; Kouhestani et al., 2017; Kouhestani and Mokhtari, 2019)، علی‌آباد موسوی-خانچی (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Mokhtari et al., 2016; Saeedi et al., 2018; Kouhestani et al., 2018)، جیزوان (اپی‌ترمال سولفیداسیون کم) (Abedini, 2017)، دهنه (اپی‌ترمال سولفیداسیون کم) (Mohammadi et al., 2019)، زاجکان (اپی‌ترمال سولفیداسیون کم) (Seyedqaraeini et al., 2019; Kouhestani et al., 2019)، شاه‌علی بیگلو (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Mikaeili et al., 2018)، خلیفه‌لو (اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا) (Esmaeli et al., 2015, 2019; Hosseinzadeh et al., 2016)، ذاکر، گلستان‌آباد و سرخه‌دیج (از نوع اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی) (Nabatian et al., 2010, 2012, 2014; Khanmohammadi et al., 2010; Nabatian and Ghaderi, 2013; Kordian et al., 2020)، طارم‌علیا (توده نفوذی ناحیه‌ای) (Nazari Nia et al., 2014; Zamanian et al., 2016)، باریک‌آب (اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا) (Bazargani-Guilani and Parchekani, 2011)، چارگر (اپی‌ترمال سولفیداسیون کم) (Mousavi Motlagh et al., 2019; Mousavi Motlagh and Ghaderi, 2019)، چودرچای (اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا) (Yasami et al., 2017, 2018a, 2018b)، لهنه و لوبین زرده (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Zamanian et al., 2016)، شمال زنجان

کیلومتر درازا دارد و در بخش باختری کمان ماگمایی البرز (البرز-آذربایجان) جای گرفته است. این پهنه را گسل‌های تبریز-سلطانیه (بخش شمال‌باختری)، سلطانیه-تاکستان (بخش جنوب‌خاوری) و گسل آستارا (بخش باختری)، فراگرفته‌اند (شکل ۲). ایالت فلزایی طارم-هشتجین بیشتر از سنگ‌های آتشفشانی-نفوذی اسیدی تا حد واسط ترشیری (ائوسن تا لیگوسن) تشکیل شده است (Faridi and Anvari, 2004; Ghorbani, 2007) (شکل ۲). سنگ‌های آتشفشانی-آذرآوری به‌طور گسترده‌ای مورد هجوم توده‌های نفوذی ائوسن بالایی (شامل توده‌های ذاکر، مروارید، کوه‌تبار، تاکستان، زنجان، طارم، رودبار-اهر، ورمزیار و گلجین) با روند شمال‌باختری-جنوب‌خاوری قرار گرفته‌اند (Castro et al., 2013; Nabatian et al., 2014; Aghazadeh et al., 2015; Ghasemi Siani et al., 2015; Foudazi et al., 2015; Khademian et al., 2018; Sadri Esfanjani et al., 2015; Saeedi et al., 2018). به‌طور کلی، بیشترین حجم واحدهای سنگی این ایالت فلزایی را سنگ‌های آتشفشانی-آذرآوری (هم‌ارز سازند کرج) و نفوذی اسیدی تا حد واسط مربوط به دوره سنوزویک (ائوسن-لیگوسن) دربر می‌گیرند که در سرتاسر ناحیه گسترش دارند (شکل ۲).

توالی آتشفشان-نفوذی سنوزویک ایالت فلزایی طارم-هشتجین میزبان کانسارهای مس اپی‌ترمال، اکسید آهن-آپاتیت (IOA) و اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) است. کانسارهای اپی‌ترمال این ایالت از دیدگاه اقتصادی مهم هستند و در سه زیررده سولفیداسیون کم (LS)، سولفیداسیون متوسط (IS) و انواع سولفیداسیون بالا (HS) تشکیل شده‌اند. سنگ‌های گرانیتوئیدی فراوانی در سرتاسر ایالت فلزایی طارم-هشتجین رخنمون دارند که در این پژوهش بررسی شده‌اند.

سنگ‌های گرانیتوئیدی در مناطق گلوچه (اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا) (Chaghaneh,

Excel (پیوست ۱) گردآوری شده‌اند دربردارندهٔ اکسیدهای اصلی و عنصرهای کمیاب، حاکی نادر و داده‌های ایزوتوپی، نوع سنگ، منابع، و کانسارهای اپی ترمال مرتبط به آنها هستند. نمونه‌های سنگ‌های گرانیتوئیدی دگرسان‌شدهٔ گرمایی که LOI بیشتر از ۲ درصدوزنی داشتند از مجموعه داده‌ها حذف شدند. ذخایر معدنی اپی‌ترمال در ایالت فلززای طارم-هشتجین در سه گروه سامانه‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون کم (LS)، سولفیداسیون متوسط (IS) و سولفیداسیون بالا (HS) دسته‌بندی می‌شوند که برای شفاف‌سازی بیشتر در نمودارهای زمین‌شیمیایی، به ترتیب با رنگ آبی، نارنجی و سرخ نشان داده شده‌اند. کانسارهای اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی (IOA) و سنگ‌های نفوذی ناحیه‌ای با رنگ سیاه مشخص شده‌اند.

همچنین، ترکیب ایزوتوپی Sr-Nd برای ۳۳ نمونهٔ سنگ کل و ترکیبات ایزوتوپی Pb برای ۲۴ نمونهٔ گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلززایی طارم-هشتجین که نباتیان و همکاران (Nabatian et al., 2014)، رحمانی و همکاران (Rahmani et al., 2019) و زمانیان و همکاران (Zamanian et al., 2020) به دست آورده‌اند، در پیوست ۲ آورده شده است.

زمین‌شیمی

زمین‌شیمی عنصرهای اصلی

برپایهٔ رده‌بندی سنگ‌های آذرین نفوذی ایالت فلززایی طارم-هشتجین در نمودار مقدار درصدوزنی SiO_2 در برابر $\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ (شکل ۳- A)، واحدهای آذرین درونی در محدودهٔ مونزونیت، مونزودیوریت، کوارتز مونزونیت، گرانیت و به میزان کمتر در محدودهٔ سنگ‌های سینیتی جای گرفتند. همچنین، در نمودارهای TAS که نشان دهندهٔ

(Khademian et al., 2018)، تاکستان (تودهٔ نفوذی ناحیه‌ای) (Foudazi et al., 2015)، کجال (تودهٔ نفوذی ناحیه‌ای) (Hosseinzadeh et al., 2014)، چومالو (اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط) (Ghasemi Siani et al., 2020, 2022)، رودبار-ابهر (تودهٔ نفوذی ناحیه‌ای) (Aghazadeh et al., 2015) و رشت‌آباد (اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا) (Hajalilo, 2000; Ghasemi Siani et al., 2020) رخنمون دارند (شکل ۲).

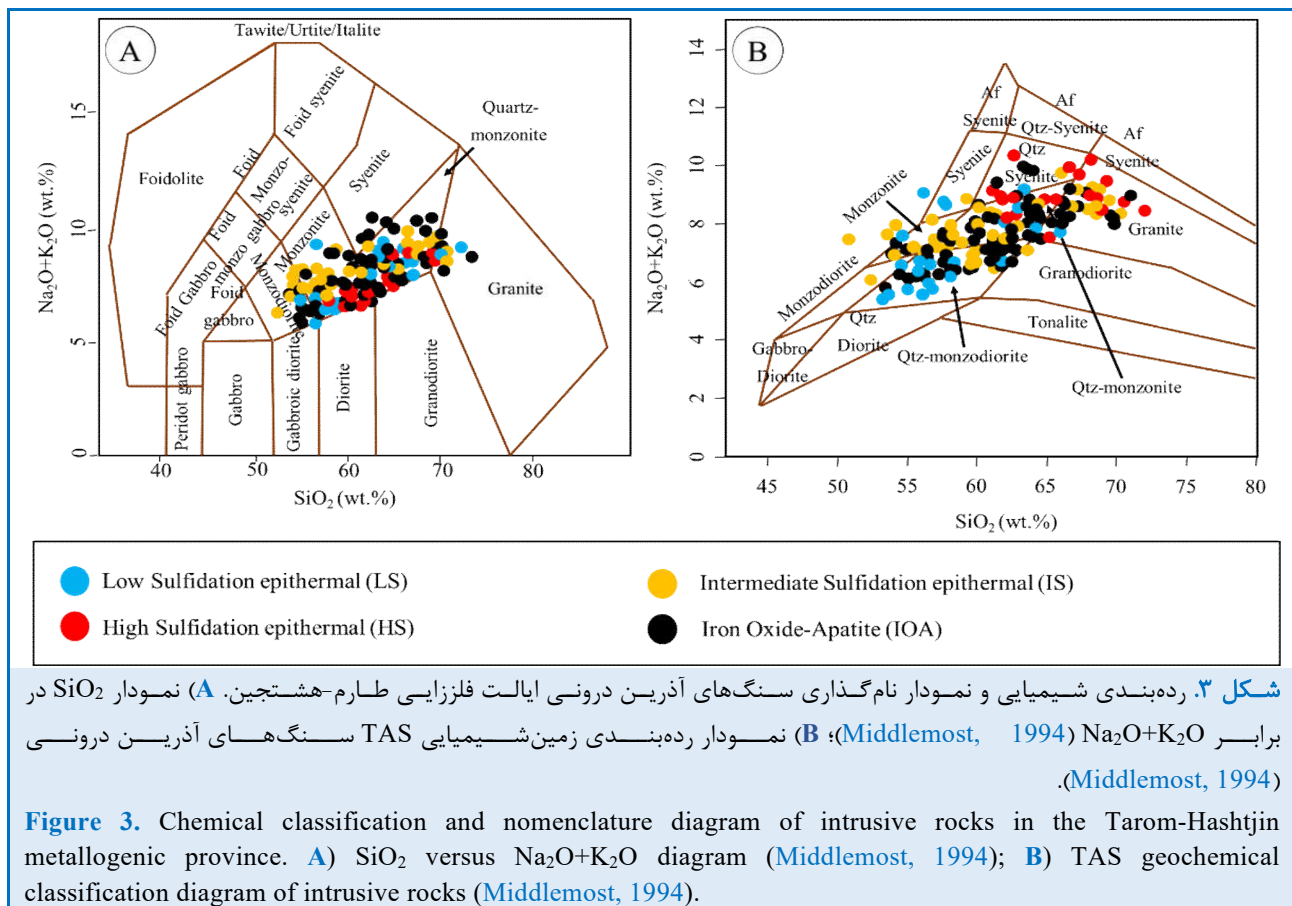
روش انجام پژوهش

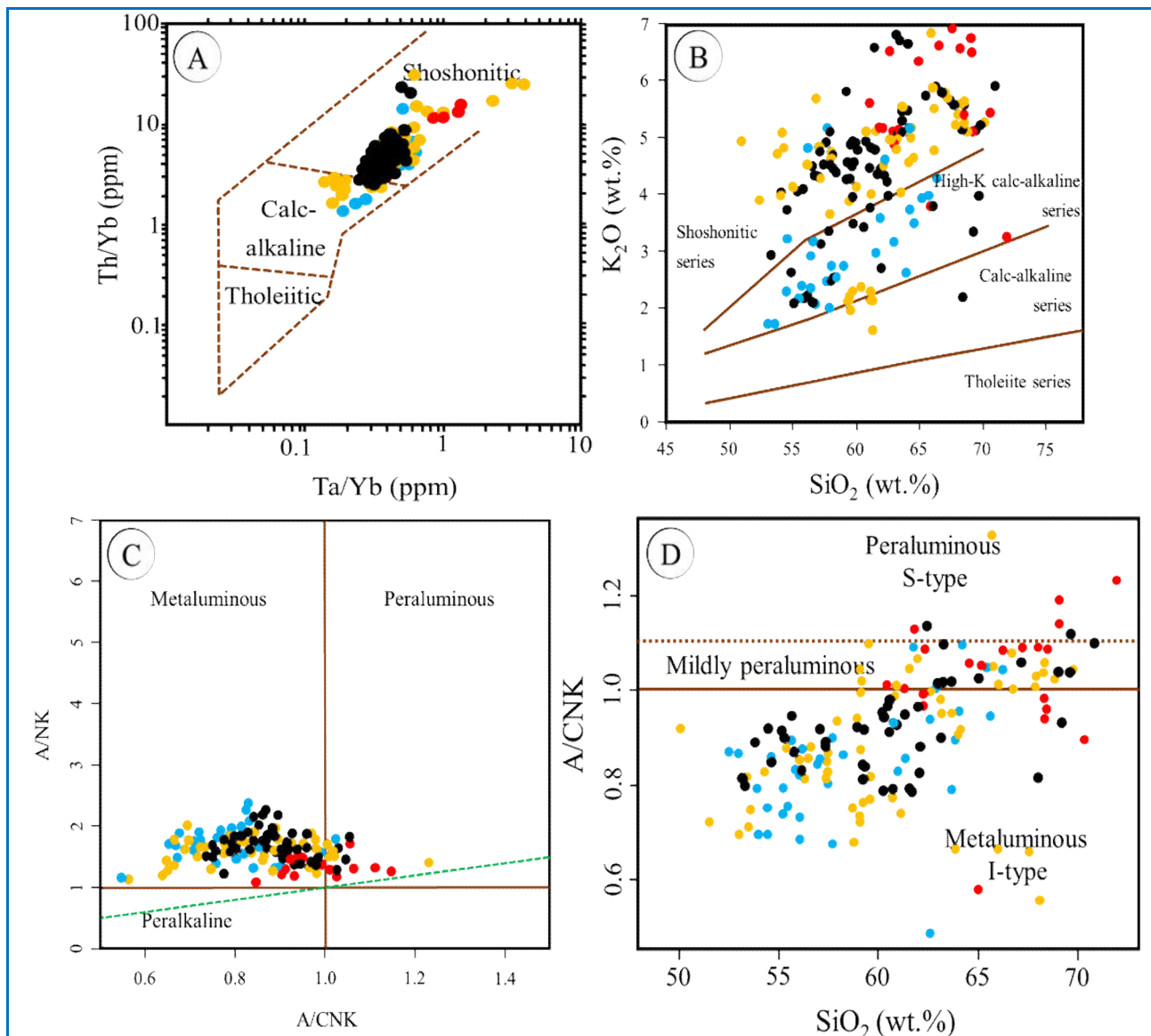
در این پژوهش، داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل و ایزوتوپی ۱۷۶ نمونه از سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با ۱۷ کانسار (شامل: ۴ کانسار اپی‌ترمال سولفیداسیون کم (LS)، ۵ کانسار اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط (IS)، ۴ کانسار اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا (HS) و ۴ کانسار اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی (IOA) آورده شده است. همچنین، از نتایج و داده‌های منابع مرتبط و بروز (Nabatian et al., 2014; Nazari Nia et al., 2014; Ghasemi Siani et al., 2015, 2020, 2022; Aghazadeh et al., 2015; Zamanian et al., 2016; Saedi et al., 2018; Mikaeili et al., 2018; Yasami et al., 2018b; Seyedqaraeini et al., 2019; Mousavi Matlagh et al., 2019; Rahmani et al., 2019; Esmaeli et al., 2019; Aghajani et al., 2020; Kordian et al., 2020) نیز بهره گرفته شد. در این پژوهش، شمار ۳ نمونه از گرانیتوئیدهای جیزوان و ۶ نمونه از گرانیتوئیدهای چومالو در آزمایشگاه شیمی زرازمای تهران به روش‌های XRF (فلوئورسانس پرتوی ایکس) برای عنصرهای اصلی و ICP-MS (طیف‌سنجی جرمی-پلاسمای جفت‌شده القایی) برای عنصرهای کمیاب و حاکی نادر تجزیه شدند؛ اما دیگر داده‌ها از منابع یادشده گردآوری شده‌اند.

این داده‌ها که به صورت فایل Microsoft

نمونه‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزازی طارم- هشتجین، مت‌آلومینوس و به میزان کمتر پرآلومینوس هستند. در نمودار SiO_2 در برابر A/CNK (شکل ۴-۱) D، بیشتر نمونه‌های گرانیتوئیدی در گستره گرانیتوئیدهای نوع I و مت‌آلومینوس جای گرفتند. شمار کمی از نمونه‌ها نیز در محدوده پرآلومینوس جای گرفته‌اند. شاخص اشباع‌شدگی از آلومینیم، تفکیک‌کننده خوبی برای گرانیتوئیدهای پرآلومینوس ($A/\text{CNK} > 1$) از گرانیتوئیدهای مت‌آلومینوس ($A/\text{CNK} < 1$) به‌شمار می‌رود (Shand, 1943; Barbarin, 1996). از این رو، پرآلومینوس بودن برخی نمونه‌ها را می‌توان پیامد مقدار A/CNK بالا (میانگین: ۴/۱۷) در شماری از نمونه‌های سنگ‌های گرانیتوئیدی بررسی شده دانست که احتمالاً گواهی بر رخداد دگرسانی در این گرانیتوئیدهاست.

تغییرات درصدوزنی SiO_2 در برابر $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ هستند (شکل ۳-۱ B)، سنگ‌های آذرین درونی در محدوده گرانیت، سینییت، کوارتزسینییت، کوارتزمونزونیت و مونزونیت جانمایی شدند. برای بررسی سری‌های ماگمایی سنگ‌های گرانیتوئیدی در ایالت فلزازی طارم- هشتجین، نسبت‌های عنصرهای نامتحرک در برابر دگرسانی گرمایی به‌کار برده شدند؛ مانند نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb (شکل ۴-۲ A). در این نمودار، بیشتر نمونه‌ها در محدوده سری‌های کالک‌آلکان و شوشونیتی جای می‌گیرند. در نمودار SiO_2 در برابر K_2O همه نمونه‌ها در محدوده ماگماهای سری کالک‌آلکان، کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی جای می‌گیرند (شکل ۴-۲ B). نمونه‌ها مقدار K_2O (میانگین: ۴/۴۰ درصدوزنی) بالایی دارند. در نمودار A/NK در برابر A/CNK (شکل ۴-۳ C)، بیشتر





شکل ۴. سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزازی طارم-هشتجین در: (A) نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb (Müller et al., 1992) برای تشخیص سری‌های ماگمایی؛ (B) نمودار SiO₂ در برابر K₂O (Peccerillo and Taylor, 1976) برای تفکیک سری‌های ماگمایی؛ (C) نمودار A/NK در برابر A/CNK برای تعیین درجه اشباع‌شدگی از آلومینیم سنگ‌های آذرین درونی سری ماگمایی؛ (D) نمودار SiO₂ در برابر A/CNK (Chappell and White, 1992) (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 4. The granitoid rocks of Tarom-Hashtjin metallogenic province in **A)** Ta/Yb versus Th/Yb diagram (Müller et al., 1992) to distinguish magmatic series of; **B)** SiO₂ versus K₂O diagram (Peccerillo and Taylor, 1976) to determine the magmatic series; **C)** A/NK versus A/CNK diagram to determine aluminum saturation of intrusive rocks (Shand, 1943); **D)** SiO₂ versus A/CNK diagram (Chappell and White, 1992) (Symbols are the same as in Figure 3).

محدوده گرانیتوئیدهای منیزیمی (تیپ I)، جای گرفته‌اند (شکل ۵-A). با توجه به اندیس آلکالی-آهکی^۵ (Na₂O+K₂O+CaO=)، ترکیب سنگ‌های

در نمودار SiO₂ در برابر FeO^۲/(FeO^۱+MgO) بیشتر نمونه‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانه‌زایی اپی‌ترمال سولفیداسیون کم، سولفیداسیون متوسط و آهن ماگمایی ایالت فلزازی طارم-هشتجین، در

⁵ Modified Alkali-Lime Index (MALI)

(Wilson, 2007). روند کاهش P_2O_5 بازتابی از کم‌بودن مقدار فسفر و محدود بودن دامنه تغییرات آن در گرانیتوئیدهای پهنه طارم- هشتجین است. همچنین، این امر احتمالاً پیامد تبلور بخشی آپاتیت و شرکت کردن P_2O_5 در ساختمان کانی آپاتیت است. روند افزایشی K_2O و Na_2O نشان‌دهنده افزایش اکسیدهای آلکالین هنگام تبلور ماگمای گرانیتوئیدی است. میزان K_2O ، بیشتر تحت تأثیر فرایندهای ماگمایی، مانند ذوب بخشی و تبلور بخشی است. روند افزایشی اکسیدهای K_2O و Na_2O در نمونه‌های گرانیتوئیدی به سمت محدوده کالک‌آلکالین پتاسیم بالا و شوشونیتی نشان‌دهنده محیط مطلوب برای کانه‌زایی کانسنگ اپی‌ترمال سولفیداسیون بالاست (Yang et al., 2008). بجای ماندن میکاها در ژرفای بیشتر و دماهای بالاتر شاید بتواند تا اندازه‌ای افزایش K_2O در ماگما به سمت محیط پشت کمائی را توضیح دهد (Schmidt et al., 2004). این روند برای Na_2O پیوسته نیست و پراکندگی نشان می‌دهد. روند افزایشی مقدار Na_2O چه بسا پیامد ورود Na به شبکه پلاژیوکلاز و تجمع آلبیت در نمونه است. همچنین، پراکندگی آن شاید بازتابی از تحرک بالا Na و دخالت مواد پوسته‌ای در پیدایش مذاب باشد (Groves and Bierlein, 2007).

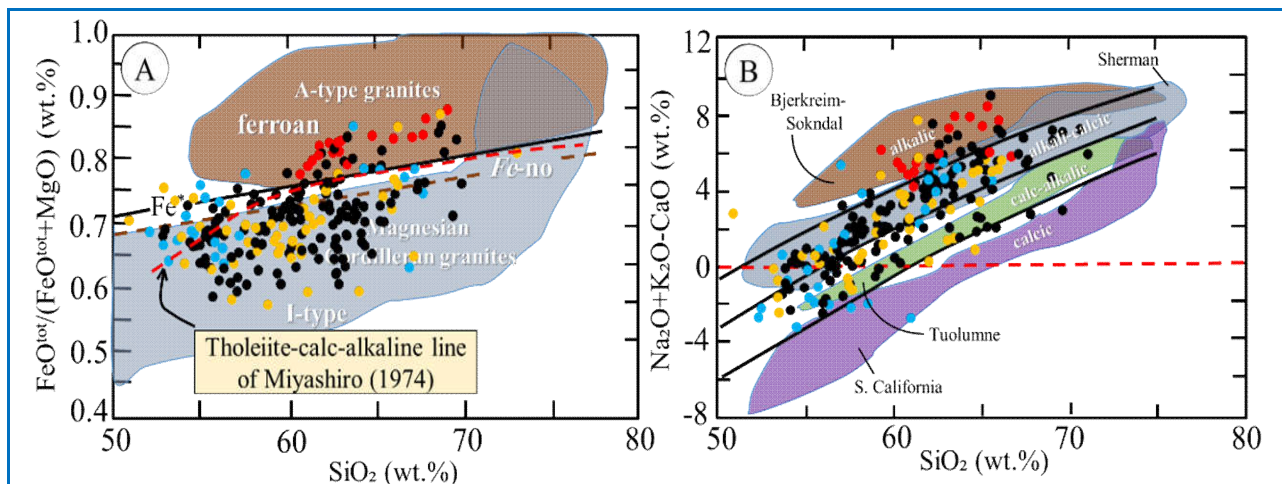
به باور رولینسون (Rollinson, 1993)، عنصرهای کمیاب بیشتر از عنصرهای اصلی در بررسی فرایندهای پترولوژیک کارایی دارند. نمودارهای هارکر برای عنصرهای کمیاب نشان می‌دهند فراوانی عنصرهای ناسازگار Rb ، Ba ، Th و Zr با افزایش محتوای سیلیس به طور کم تا متوسط افزایش می‌یابد (شکل ۷). در برابر آن، با افزایش محتوای سیلیس، فراوانی عنصرهایی مانند P و Sr کاهش چشمگیری نشان می‌دهند. از دیدگاه شیمیایی، عنصرهای Rb و Ba ، ناسازگار هستند؛ از این رو هنگام فرایند جدایش ماگما و با پیشرفت

گرانیتوئیدی مرتبط با کانه‌زایی اپی‌ترمال سولفیداسیون کم، سولفیداسیون متوسط و آهن ماگمایی ایالت فلزایی طارم- هشتجین، بیشتر در محدوده آلکالی- کلسیک و کلسیک- آلکالی جای می‌گیرند (شکل ۵-B)؛ اما سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانه‌زایی اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا ایالت فلزایی طارم- هشتجین بیشتر در محدوده آلکالی جای می‌گیرند. به‌طور کلی، سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم- هشتجین بیشتر از نوع کربلرایی (نوع منیزیمی) و با ترکیب آلکالی کلسیک تا کلسیک-آلکالی و نیز متآلومینوس هستند.

بر پایه نمودارهای هارکر در شکل ۶، در توده‌های گرانیتوئیدی بررسی شده، با افزایش SiO_2 مقدار عنصرهای اصلی MgO ، CaO ، FeO ، TiO_2 و Al_2O_3 کاهش می‌یابد؛ اما مقدار K_2O با افزایش SiO_2 افزایش می‌یابد. روند کاهش MgO می‌تواند پیامد جایگیری منیزیم در کانی‌های آهن- منیزیم‌دار، مانند پیروکسن و آمفیبول، هنگام فرایند تبلور باشد. روند کاهش اکسیدهای CaO و Al_2O_3 ، احتمالاً به علت تبلور و جدایش پلاژیوکلاز هنگام جدایش ماگمایی است؛ زیرا Ca و Al بیشتر در ساختمان فلدسپارها به‌ویژه پلاژیوکلاز هنگام تبلور بخشی ماگما وارد می‌شود. کاهش مقدار FeO پیامد تبلور کانی‌های آهن- منیزیم‌دار مانند پیروکسن، بیوتیت و آمفیبول و نیز جدایش اکسیدهایی مانند مگنتیت هنگام فرایند جدایش ماگماست. کاهش مقدار TiO_2 در سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم- هشتجین شاید پیامد شرکت کردن تیتانیم در ساختمان کانی تیتانیت (اسفن) و تیتانومگنتیت هنگام روند جدایش بلورین هنگام صعود ماگما و جایگیری آن در آشیانه‌های ماگمایی بوده است. همچنین، مقدار کم Ti نشان‌دهنده ماگماتیسم همراه با فرورانش است و ویژگی همه ماگماهایی که پوسته قاره‌ای آنها را آلوده کرده است (Nagudi et al., 2003)؛

کانی‌شناسی هنگام تبلور، مقدار Th در مذاب
بجامانده افزایش یافته است (Rickwood, 1989).

تبلور، تمرکز آن‌ها در مذاب بجامانده افزایش می‌یابد
(Raymond, 2002). به‌دنبال نبود کنترل

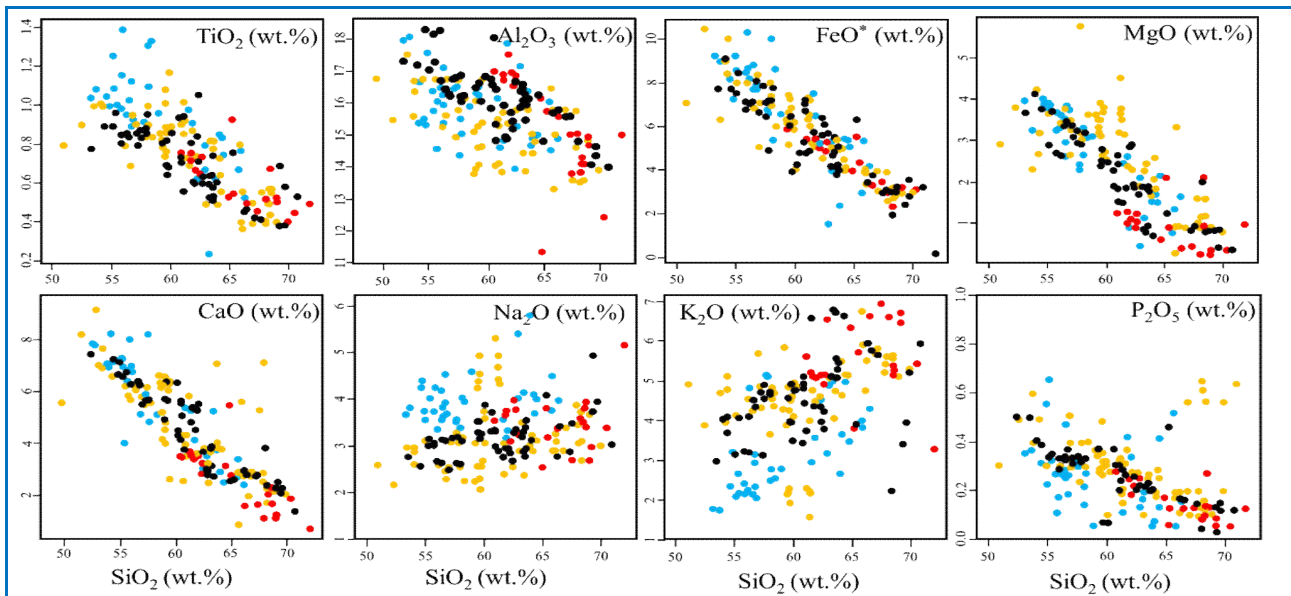


شکل ۵. A) نمودار SiO_2 در برابر $\text{Fe}^{\text{Ot}}/(\text{Fe}^{\text{Ot}}+\text{MgO})$ (Frost et al., 2001) که نشان‌دهنده مرز گرانیتوئیدهای آهن‌دار و منیزی می‌است. در این نمودار، عدد آهن (Fe^*) برای تفکیک گرانیتوئیدهای فروئن از انواع منیزین به کار برده می‌شود. خطوط عدد آهن (Fe^*) و (Fe-no)، به ترتیب مقادیرهای $\text{FeO}^{\text{tot}}/(\text{FeO}^{\text{tot}}+\text{MgO})$ و $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ را نشان می‌دهند. داده‌ها برای محدوده سنگ‌های گرانیتوئیدی برگرفته از فراست و همکاران (Frost et al., 2001) هستند. مقدار FeO^{tot} مجموع آهن دوظرفیتی و سه ظرفیتی است که از هم تفکیک نشده‌اند و مرز پلوتون‌های فروئن و منیزین را نشان می‌دهد (Frost et al., 2001). B) نمودار SiO_2 در برابر $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ (Frost et al., 2001) که محدوده تقریبی سری‌های آلكالی، آلكالی‌كلسیک، كالك‌آلكالی و كلسیک را نشان می‌دهد. داده‌ها برای محدوده سنگ‌های گرانیتوئیدی از فراست و همکاران (Frost et al., 2001) هستند. خط چین سرخ‌رنگ، مرز میان ماگماهای توله‌ایتی و كالك‌آلكالی که میاشیرو (Miyashiro, 1974) پیشنهاد کرده است را نشان می‌دهد (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 5. A) SiO_2 versus $\text{Fe}^{\text{Ot}}/(\text{Fe}^{\text{Ot}}+\text{MgO})$ diagram (Frost et al., 2001) which shows the boundary between Fe-bearing and Mg-bearing granitoids. In this diagram, the number of iron (Fe^*) is used to distinguish ferroan granitoids from types of magnesia. Lines corresponding to the number of Fe (Fe^*) and (Fe-no), respectively, include $\text{FeO}^{\text{tot}}/(\text{FeO}^{\text{tot}}+\text{MgO})$ and $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ values (data for the range of granitoid rocks from Frost et al. (2001)). FeO^{tot} values are the sum of divalent and trivalent iron that are not separated from each other and defines the boundary between ferroene and magnesian plutons (Frost et al., 2001); B) SiO_2 versus $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{CaO}$ diagram (Frost et al., 2001) shows the approximate range of alkaline, alkali-calcic, calc-alkaline, and calcic series. The data for a range of granitoid rocks from Frost et al. (2001). The red dashed line marks the boundary between tholeiitic and calc-alkaline magmas defined by Miyashiro (1974) (Symbols are the same as in Figure 3).

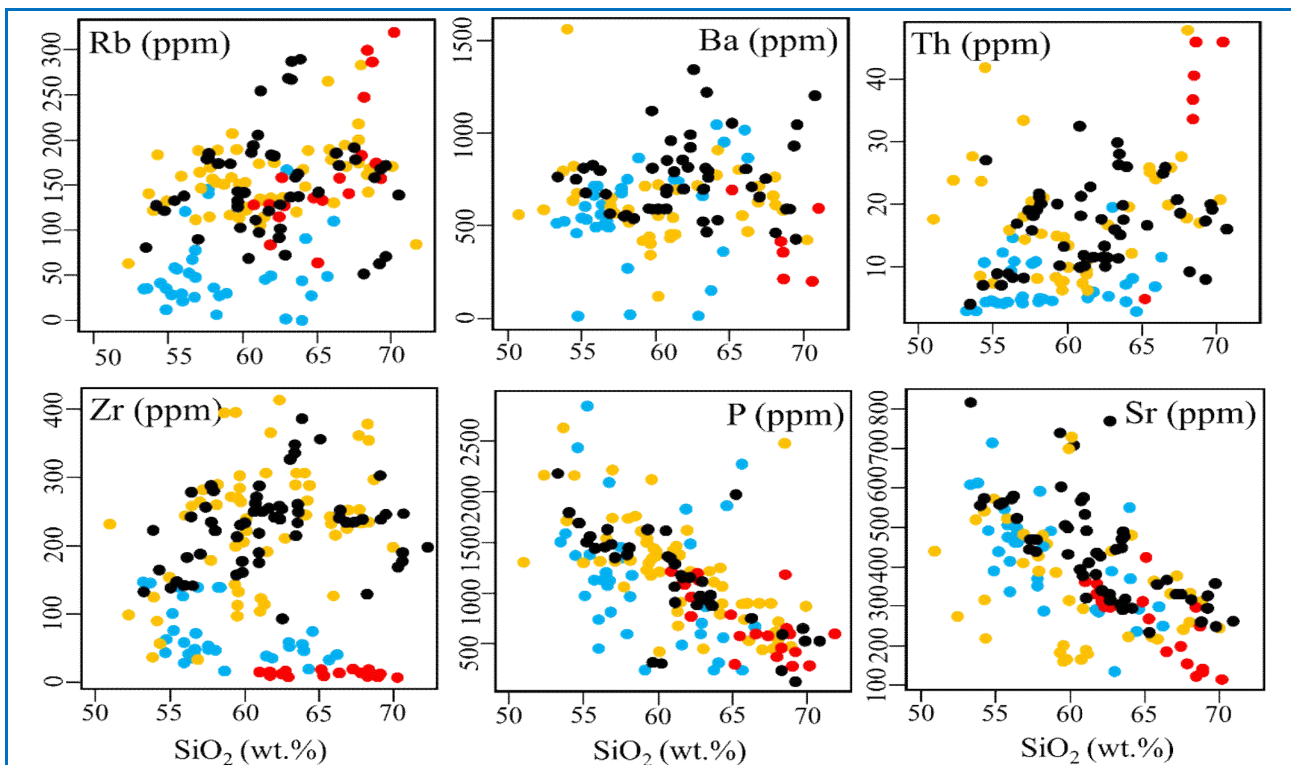
ماگما رخ می‌دهد (Rollinson, 1993). با ادامه روند
جدایش بلورین و تبلور بلورهای پلاژیوکلاز کلسیک،
Sr جانشین یون Ca در شبکه کانی‌های پلاژیوکلاز
می‌شود و مقدار آن در ماگما و نیز در سنگ‌های
پدیدآمده کاهش می‌یابد (Rollinson, 1993;
Zhao and Zhou, 2007).

پراکندگی نقاط در برخی نمودارها می‌تواند پیامد
رخداد فرایندهای دیگری بجز پدیده تبلوربخشی در
ماگمای سازنده سنگ‌ها باشد. به احتمال بسیار بالا،
آرایش پوسته‌ای توجیه خوبی برای این پدیده است.
کاهش مقدار Sr با وارد شدن این عنصر به ساختار
پلاژیوکلاز کلسیک هنگام فرایند تبلور و جدایش



شکل ۶. نمودارهای تغییرات سیلیس در برابر اکسیدهای اصلی (Harker, 1909) برای سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلزایی طارم-هشتجین (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 6. Variation diagrams of silica versus major oxides (Harker, 1909) for granitoid rocks associated with Tarom-Hashtjin metallogenic province deposits (Symbols are the same as in Figure 3).



شکل ۷. نمودارهای تغییرات SiO_2 در برابر عنصرهای فرعی (Harker, 1909) برای سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلزایی طارم-هشتجین (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 7. Variation diagrams of SiO_2 versus trace elements (Harker, 1909) for granitoid rocks associated with Tarom-Hashtjin metallogenic province deposits (Symbols are the same as in Figure 3).

زمین‌شیمی عنصرهای کمیاب و خاکی نادر

نمودار بهنجار شده نمونه‌های گرانیتوییدی به ترکیب گوشته اولیه (شکل ۸- A) گویای غنی‌شدگی در عنصرهای U, Rb, Th, K و تهی‌شدگی در عنصرهای Ti, Ta, Nb, Zr, Ba است و شرکت پوسته قاره‌ای در فرایندهای ماگمایی و آرایش پوسته‌ای را نشان می‌دهد (Rollinson, 1995; Pearce and Peate, 1993). غنی‌شدگی از عنصرهای لیتوفیل بزرگ یون (LILE) مانند K و Rb پیامد آلودگی ماگما با مواد پوسته‌ای در پهنه‌های فرورانشی است (Chappell and White, 1992). غنی‌شدگی عنصرهایی مانند Th و U در نمودارهای عنکبوتی می‌تواند نشان‌دهنده افزوده شدن رسوب‌های پلاژیک و یا پوسته اقیانوسی دگرسان شده به منبع مذاب باشد (Fan et al., 2003). عنصر Th معمولاً در پی فرایندهای دگرنهادی^۶ در پهنه‌های کمانی به خاستگاه گوشته‌ای افزوده می‌شود و باعث تهی‌شدگی Nb در ماگمای پهنه‌های کمانی می‌شود (Machado et al., 2005). تهی‌شدگی از عنصرهای با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ti, Nb و Ta نشان‌دهنده پیدایش این سنگ‌ها در ارتباط با فرورانش و یا جدایش و جدایش کانی‌های تیتانیم‌دار، مانند تیتانومگنتیت و اسفن است (Gorton and Wilson, 2007; Schandl, 2000). در هنگام فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای، فازهای فرعی دیرگداز، مانند ایلمنیت و روتیل در پوسته اقیانوسی فرورونده پدیدار بوده‌اند؛ از این‌رو، عنصرهای HFSE مانند Nb و Ti را در خود نگه می‌دارند و با جلوگیری از مشارکت آنها در ماگمای حاصل از برگشت تخته، سبب تهی‌شدگی آنها در ماگما می‌شوند (Nagudi et al., 2003). این تهی‌شدگی، می‌تواند نشان‌دهنده آلودگی ماگما با پوسته قاره‌ای نیز باشد (Wilson, 2007).

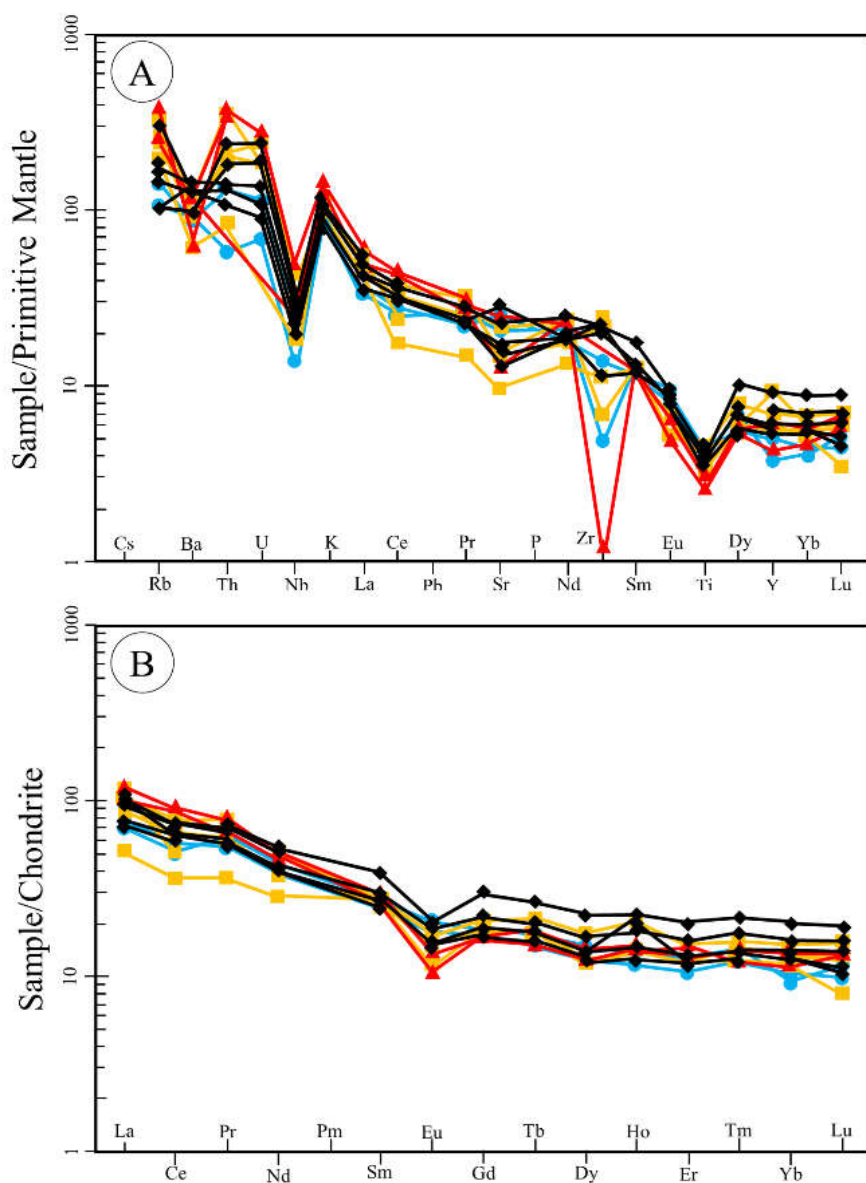
^۶ metasomatize

همچنین، این تهی‌شدگی از ویژگی‌های روشن ماگماهای کالک‌آلکان واقع در کمان‌های آتشفشانی است (Pearce et al., 1984). تهی‌شدگی زیرکیم می‌تواند در پی آرایش ماگماهای گوشته‌ای با مواد پوسته‌ای هنگام صعود و جایگیری رخ دهد (Almeida et al., 2007). دگرسانی مذاب‌های گوشته‌ای با سیال‌ها و مذاب‌های حاصل از پوسته اقیانوسی فرورو با تهی‌شدگی عنصر Ti همراه است (Chappell, 1979). جدایش آلکالی‌فلدسپار چه بسا غالب‌تر از پلاژیوکلاز در مراحل پایانی باشد که با تهی‌شدگی مهم Ba نشان داده می‌شود. تهی‌شدگی Ba در اثر جدایش بلورهای فلدسپار و بیوتیت رخ می‌دهد (Thuy et al., 2004).

الگوی پراکندگی فراوانی عنصرهای خاکی نادر بهنجار شده به ترکیب کندریت (شکل ۸- B) نشان می‌دهد سنگ‌های گرانیتوییدی ایالت فلززایی طارم-هشتجین از عنصرهای خاکی نادر سبک (LREE) غنی و از عنصرهای خاکی نادر سنگین (HREE) تهی شده‌اند (۱۰/۳۴ - ۱/۱۴). این ویژگی می‌تواند از ویژگی‌های ماگماهای وابسته به پهنه‌های فرورانشی نیز باشد. مقدار نسبت $(La/Yb)_n$ از ۳/۲۵ تا ۱۴/۷۰ (میانگین: ۷/۵۳) متغیر است. این نسبت از ویژگی‌های آشکار ماگماتیسیم مت‌آلومینوس (نوع I) و کالک‌آلکان مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در پهنه فرورانش است (Sheth et al., 2002; Wilson, 2007). دگرسانی مراحل پایانی در ارتباط با سیال‌ها و فرایندهای گرمایی می‌تواند فراوانی REE را کاهش دهد. فرایند دگرنهادی غنی‌شدگی در LREE و تهی‌شدگی در HFSE را به دنبال دارد (Ordóñez-Calderón et al., 2008). از سوی دیگر، تهی‌شدگی Eu و کاهش مقدار آن در نمونه‌های گرانیتوییدی (میانگین Eu/Eu^* ۰/۶۹) پیامد تبلوربخشی پلاژیوکلاز از ماگمای مسبب کانه‌زایی در شرایط اکسیداسیون کم مذاب است

همزمان رخ داده است و به‌طور مشترک مسئول تحول ماگما به‌شمار می‌روند (Yanbo and Jingwen, 2010).

(Sun and Liang, 2012). از آنجایی که تهی‌شدگی Eu با تهی‌شدگی Sr و Ba همراه است (شکل‌های A و B)، می‌توان گفت جدایش پلاژیوکلازها



شکل ۸. الگوی تغییرات عنصرهای کمیاب و خاکی نادر سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلززایی طارم- هشتجین. (A) بهنجارشده به ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)؛ (B) بهنجارشده به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 8. Trace and rare earth elements spider diagrams of granitoid rocks related to the Tarom-Hashtjinn metallogenic province deposits. **A)** Normalized to the Primitive Mantle composition (Sun and McDonough, 1989); **B)** Normalized to chondrite composition (Nakamura, 1974) (Symbols are the same as in Figure 3).

Pb، کمابیش همگن هستند. نسبت‌های ایزوتوپی سرب سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای

زمین‌شیمی ایزوتوپی

نمونه‌های گرانیتوئیدی در ترکیبات ایزوتوپی

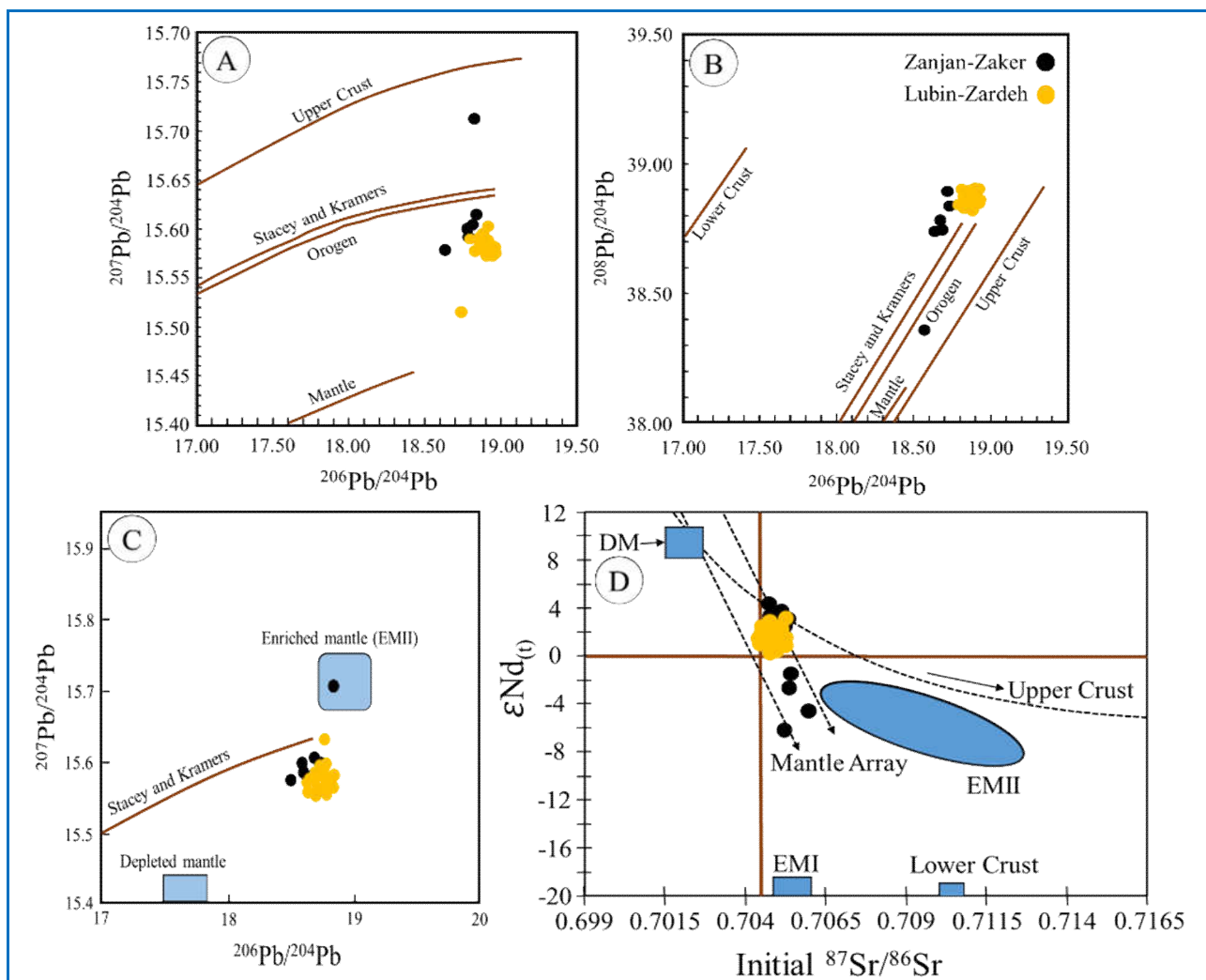
سنگ‌های گرانیتوییدی مرتبط با کانسارهای آهن ماگمایی منطقه زنجان-ذاکر (Nabatian et al., 2014) و کانسارهای اپی-ترمال سولفیداسیون متوسط منطقه لوبین-زرده (Rahmani et al., 2019)، به ترتیب برابر با 0.512313 تا 0.512788 (میانگین: 0.512626) و 0.512630 تا 0.512719 (میانگین: 0.512687) است.

در نمودار ایزوتوپ $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ اولیه در برابر ϵNd (شکل ۹- D)، بیشتر نمونه‌های گرانیتوییدی در مرکز نمودار و درون آرایه گوشته‌ای تهی شده و غنی شده جای می‌گیرند. همچنین، سنگ‌های گرانیتوییدی بررسی شده از مقادیرهای $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ بسیار کمتری نسبت به سنگ‌های مرتبط با محیط زمین‌ساختی MORB (Xu and Castillo, 2004) و نیز آداکیت‌های پدیدآمده توسط ذوب تخته فرورو برخوردار هستند (Wang et al., 2006). در این نمودار همه نمونه‌ها میان محدوده EMII (گوشته غنی شده با مقادیرهای بالای $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ و مقادیرهای کم $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$) و گوشته تهی شده جای گرفته‌اند. مقادیرهای $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ اولیه سنگ‌های گرانیتوییدی مرتبط با کانسارهای آهن ماگمایی منطقه زنجان-ذاکر (Nabatian et al., 2014) و کانسارهای اپی-ترمال سولفیداسیون متوسط منطقه لوبین-زرده (Rahmani et al., 2019)، به ترتیب برابر با 0.70434 تا 0.70552 (میانگین: 0.70469) و 0.70470 تا 0.70510 (میانگین: 0.70494) هستند. همچنین، مقادیرهای $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ برای نمونه‌های این مناطق به ترتیب برابر با $-5/70$ تا $+3/40$ (میانگین: $+0/29$) و $+0/39$ تا $+2/10$ (میانگین: $+1/46$) هستند و هر دو ویژگی خاستگاه‌های گوشته‌ای غنی شده و تهی شده را نشان می‌دهد (Zindler and Hart, 1986) (شکل ۹- D).

آهن ماگمایی منطقه زنجان-ذاکر (Nabatian et al., 2014)، شامل $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $18/52$ تا $18/86$ (میانگین: $18/67$)، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $15/57$ تا $15/72$ (میانگین: $15/62$) و مقدار $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $38/08$ تا $38/83$ (میانگین: $38/76$) است. این نسبت‌ها برای کانسار اپی-ترمال سولفیداسیون متوسط منطقه لوبین-زرده (Rahmani et al., 2019) شامل $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $18/70$ تا $18/80$ (میانگین: $18/76$)، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $15/58$ تا $15/61$ (میانگین: $15/59$) و $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ از $38/72$ تا $38/86$ (میانگین: $38/81$) است.

در نمودارهای $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ و نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (شکل‌های ۹- A و ۹- B)، مقدار ایزوتوپ سرب در گرانیتوییدهای میزبان کانسارهای ایالت فلزایی طارم-هشتجین غالباً در نزدیکی منحنی‌های کوهزایی و تکامل پوسته قرار می‌گیرد.

در نمودار $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (شکل ۹- C)، سنگ‌های گرانیتوییدی طارم-هشتجین در محدوده‌های ماگماهای وابسته به پهنه فرورانش EMII (گوشته غنی شده) جای می‌گیرند. این ماگماها به‌طور متناوبی با جذب ترکیب‌های پوسته‌ای آرایش می‌یابند (Tosdal et al., 2000). با در نظر گرفتن میانگین سنی ۴۰ میلیون سال برای گرانیتوییدهای طارم-هشتجین (Nabatian et al., 2014; Aghazadeh et al., 2015; Ghasemi Siani et al., 2015, 2020)، نسبت‌های اولیه $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ سنگ‌های گرانیتوییدی مرتبط با کانسارهای آهن ماگمایی منطقه زنجان-ذاکر (Nabatian et al., 2014) و کانسارهای اپی-ترمال سولفیداسیون متوسط منطقه لوبین-زرده (Rahmani et al., 2019)، به ترتیب برابر با 0.70490 تا 0.70614 (میانگین: 0.70523) و 0.704745 تا 0.705448 (میانگین: 0.705118) است. همچنین نسبت‌های اولیه $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$



شکل ۹. A و B) نمودارهایی برای مقایسه ترکیب ایزوتوپی Pb (Doe and Zartman, 1979) در نمونه‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین. منحنی‌های تکامل گوشته، کوهزایی و پوسته بالایی از دو وزارتمن (Doe and Zartman, 1979) و منحنی میانگین رشد و تکامل پوسته از استیسی و کرامرس (Stacey and Kramers, 1975) است؛ C) نمودار تغییرات $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ در برابر $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Zindler and Hart, 1986). منحنی میانگین رشد و تکامل پوسته از استیسی و کرامرس (Stacey and Kramers, 1975)؛ D) نمودار تغییرات $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ اولیه در برابر $\epsilon\text{Nd}(t)$ برای سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین (Zindler and Hart, 1986). منحنی میانگین رشد و تکامل پوسته از استیسی و کرامرس (Stacey and Kramers, 1975) و محدوده‌های گوشته تهی‌شده و غنی‌شده از زیندلر و هارت (Zindler and Hart, 1986) است (DM: گوشته غنی‌شده؛ EMI و EMII: گوشته غنی‌شده. دو نوع از سازنده‌های پایانی گوشته را نشان می‌دهند).

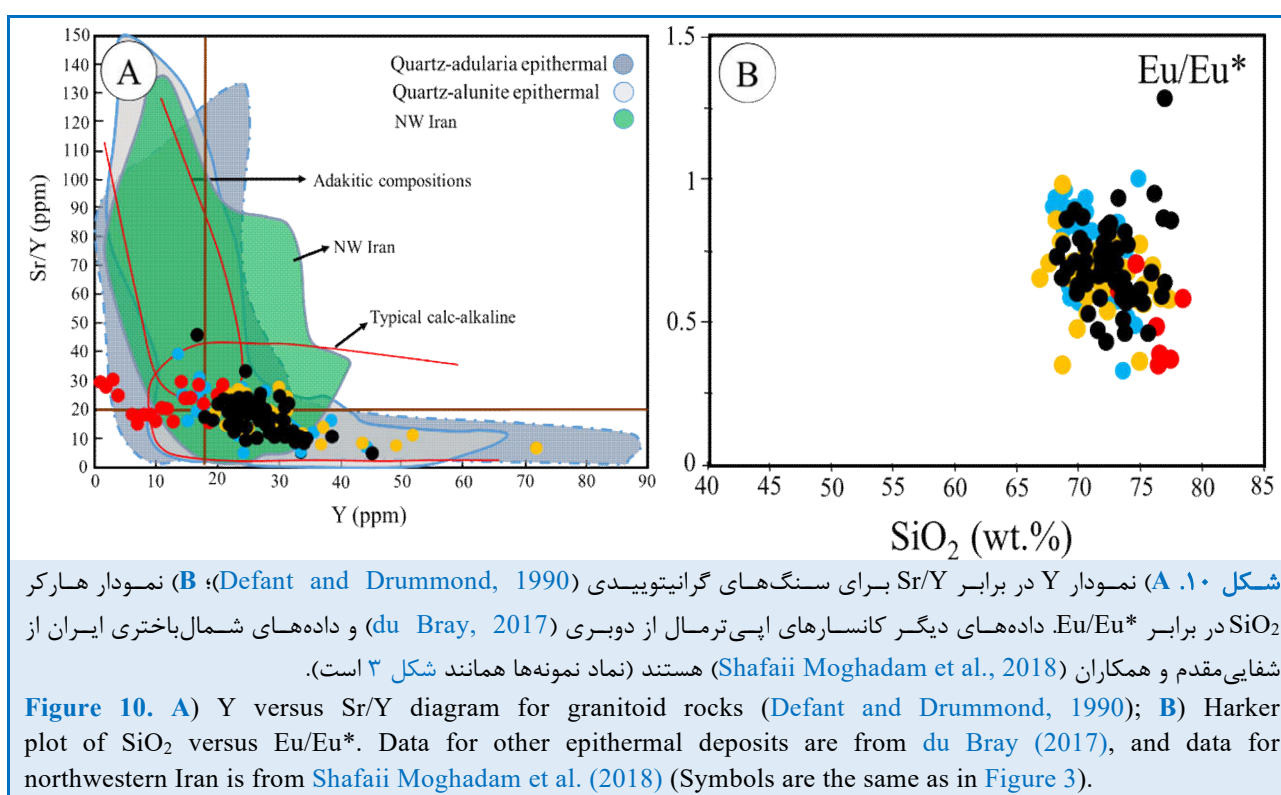
Figure 9. A, B) Diagrams for comparison of Pb isotopic compositions (Doe and Zartman, 1979) of granitoid samples of the Tarom-Hashtjin metallogenic province. Mantle, orogenic, and upper crust evolution curves are from Doe and Zartman (1979), and the average growth and crust evolution curve are from Stacey and Kramers (1975); **C)** Variation diagram of $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ versus $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (Zindler and Hart, 1986). The mean crustal growth and evolution curve from Stacey and Kramers (1975); **D)** Diagram of primary $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ versus Nd variation for granitoid rocks of the Tarom-Hashtjin metallogenic province (Zindler and Hart, 1986). Average crustal growth and evolution curves are from Stacey and Kramers (1975) and depleted and enriched mantle ranges are from Zindler and Hart (1986) (DM: depleted mantle; EMI and EMII: enriched mantle. They show two types of end members of the mantle).

بحث

سنگ‌زایی و تحولات ماگمایی

گرانیتوئیدهای ایالت فلززایی طارم-هشتجین، نسبت‌های Sr/Y (۳/۶ تا ۳۹/۱۱) و La/Yb (۴/۵۳ تا ۴/۴۰) و مقادارهای K_2O بالای (میانگین: ۴/۴۰ درصدوزنی) دارند که با ویژگی‌های مذاب‌های گوشته‌ای کالک‌آلکالن آرایش‌یافته با مواد پوسته‌ای همخوانی دارد (Defant, 2002). هرچند

گرانیتوئیدهای با کانه‌زایی مس پورفیری در ایران نسبت Sr/Y بیشتر از ۲۰ دارند و همانند نفوذی‌های با خاستگاه آداکیتی مرتبط با کنسارهای پورفیری هستند (Richards et al., 2012). گرانیتوئیدهای بررسی‌شده نسبت Sr/Y از ۳/۶ تا ۳۹/۱۱ نشان می‌دهند که با سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با ذخایر معدنی اپی‌ترمال گزارش‌شدهٔ دوبری (du Bray, 2017) و نشانه‌های ماگماتیسیم کمانی مرتبط با فرورانش همخوانی دارد (شکل ۱۰- A).



ارسباران) عمدتاً در محدودهٔ ترکیبی آداکیتی جای می‌گیرند (Shafaii Moghadam et al., 2018) (شکل ۱۰- A). Sr/Y بالاتر در سنگ‌های گرانیتوئیدی، با تبلور هورنبلند نسبت به پلاژیوکلاز همخوانی دارد که به معنای فوگاسیته اکسیژن بالای و محتوای بیشتر آب ماگماست (Chiaradia, 2015). نسبت Eu/Eu^* سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلززایی طارم-هشتجین با افزایش مقدار SiO_2 کاهش می‌یابد. این میزان با ماگماتیسیم مرتبط با

سنگ‌های آذرین متالومینوس و شوشونیتی تا التراپتاسیک از ذوب‌بخشی گوشتهٔ سنگ‌کره‌ای غنی‌شده با سیالات حاصل از تختهٔ فروروی دگرنهاد پدید می‌آیند (Bonin, 2004; Zheng, 2019). ماگماتیسیم آداکیتی می‌وسن که بیشتر میزبان کنسارهای پورفیری است، در مقایسه با ماگماتیسیم پشت کمانی کششی ائوسن، تفاوت‌هایی در نسبت Sr/Y و ژرفای پیدایش دارد. سنگ‌های گرانیتوئیدی شمال‌باختری ایران (پهنهٔ اهر-

با کمان‌های آتشفشانی و یا آرایش ماگما با پوسته قاره‌ای است. محتوای Sr این گرانیتوئیدها (میانگین: ۳۹۱/۰۳ گرم در تن) نیز از مقدار این عنصر در ترکیب پوسته قاره‌ای بالایی (۳۵۰ گرم در تن؛ Taylor and McLennan, 1995) بیشتر است. از این‌رو، ماگمای سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین، تا اندازه‌ای دچار آرایش با دخالت مواد پوسته قاره‌ای شده است.

برای تفکیک فرایندهای تبلوربخشی و ذوب‌بخشی، نمودار دوتایی La در برابر La/Sm (شکل ۱۱- A) به کار برده شد. برپایه این نمودار، سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین تحت تأثیر درجات مختلف ذوب‌بخشی پدید آمده‌اند و تا اندازه‌ای دچار فرایند تبلوربخشی شده‌اند. برای بررسی فرایند AFC^۵ در این سنگ‌های گرانیتوئیدی، نخست نمودار Rb در برابر Ba/Rb (شکل ۱۱- B) به کار برده شد. همان‌گونه که در این نمودار دیده می‌شود، سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین فرایند هضم و تبلوربخشی هنگام بالآمدگی در پوسته بالایی را نشان می‌دهند. در نمودار Nb/Y در برابر Rb/Y (شکل ۱۱- C)، روند عمودی داده‌ها به خوبی دیده می‌شود. از این‌رو، سنگ‌های گرانیتوئیدی بررسی‌شده ویژگی‌های غنی‌شدگی با محلول‌های فرورانشی یا آرایش با مواد پوسته‌ای را نشان می‌دهند.

همچنین، نمودار Rb/Sr در برابر La/Ce (شکل ۱۱- D) نقش آرایش پوسته‌ای در پیدایش سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین را نشان می‌دهد. نمودار Th/Yb در برابر Ta/Yb (شکل ۱۱- E) نیز برای تعیین آرایش پوسته‌ای خاستگاه گوشته‌ای کارآمد است.

نفوذی‌های پورفیروئیدی نا مولد^۶ سازگارتر است (شکل ۱۰- B). همچنین، در این گرانیتوئیدها مقدار Th (میانگین: ۱۵/۱۷ گرم در تن) بالاتر از سنگ‌های جداشده از مذاب اولیه گوشته‌ای است (Wang et al., 2006). از این‌رو، می‌توان انتظار داشت مؤلفه‌های پوسته‌ای (دخالته مواد پوسته‌ای) در پیدایش ماگما نقش داشته باشد. مقدارهای متوسط تا بالا SiO₂ (۵۳/۲۰ تا ۷۲ درصدوزنی)، La (۱۰/۴۳ تا ۴۹/۸۱ گرم در تن)، Ce (۵/۹۴ تا ۹۸/۷۰ گرم در تن) و Th (۲/۸۰ تا ۴۷ گرم در تن) می‌توانند نشان‌دهنده دخالت مواد پوسته‌ای در پدیدآمدن مذاب‌های کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین باشد.

از نسبت‌های Nb/U و Ta/U نیز برای شناسایی فرایند آرایش پوسته‌ای استفاده می‌شود (Yan et al., 2008)؛ زیرا این عناصرها هنگام ذوب‌بخشی یا تبلوربخشی از یکدیگر تفکیک نمی‌شوند و نسبت‌های آنها بازتابی از موقعیت منبع ماگماست؛ به‌گونه‌ای که نسبت‌های Nb/U و Ta/U در سنگ‌های گرانیتوئیدی بررسی‌شده به ترتیب برابر با ۱/۸۲ تا ۱۳/۴۵ و ۰/۱۴ تا ۱/۱۳ هستند. این مقادارها در مقایسه با ترکیب MORB و OIB (Hofmann, 1988؛ Ta/U=۲/۷، Nb/U=۴۷) کم هستند و تا اندازه‌ای به محدوده ترکیب پوسته قاره‌ای با مقدار میانگین Nb/U=۱/۱۲ و Ta/U=۱/۱ (Taylor and McLennan, 1995) نزدیک هستند. از این‌رو، مقدار نسبت‌های یادشده نشان‌دهنده دخالت مؤلفه‌های پوسته قاره‌ای در خاستگاه سنگ‌های گرانیتوئیدی بررسی‌شده به شمار می‌رود. سیال‌های گرمایی پهنه فرورانش نسبت‌های بسیار کم Nb/U (میانگین: ۰/۲۲) دارند (Ayers, 1998). این مسئله، نشان‌دهنده ارتباط این سنگ‌ها

⁵ Assimilation and Fractional Crystallization

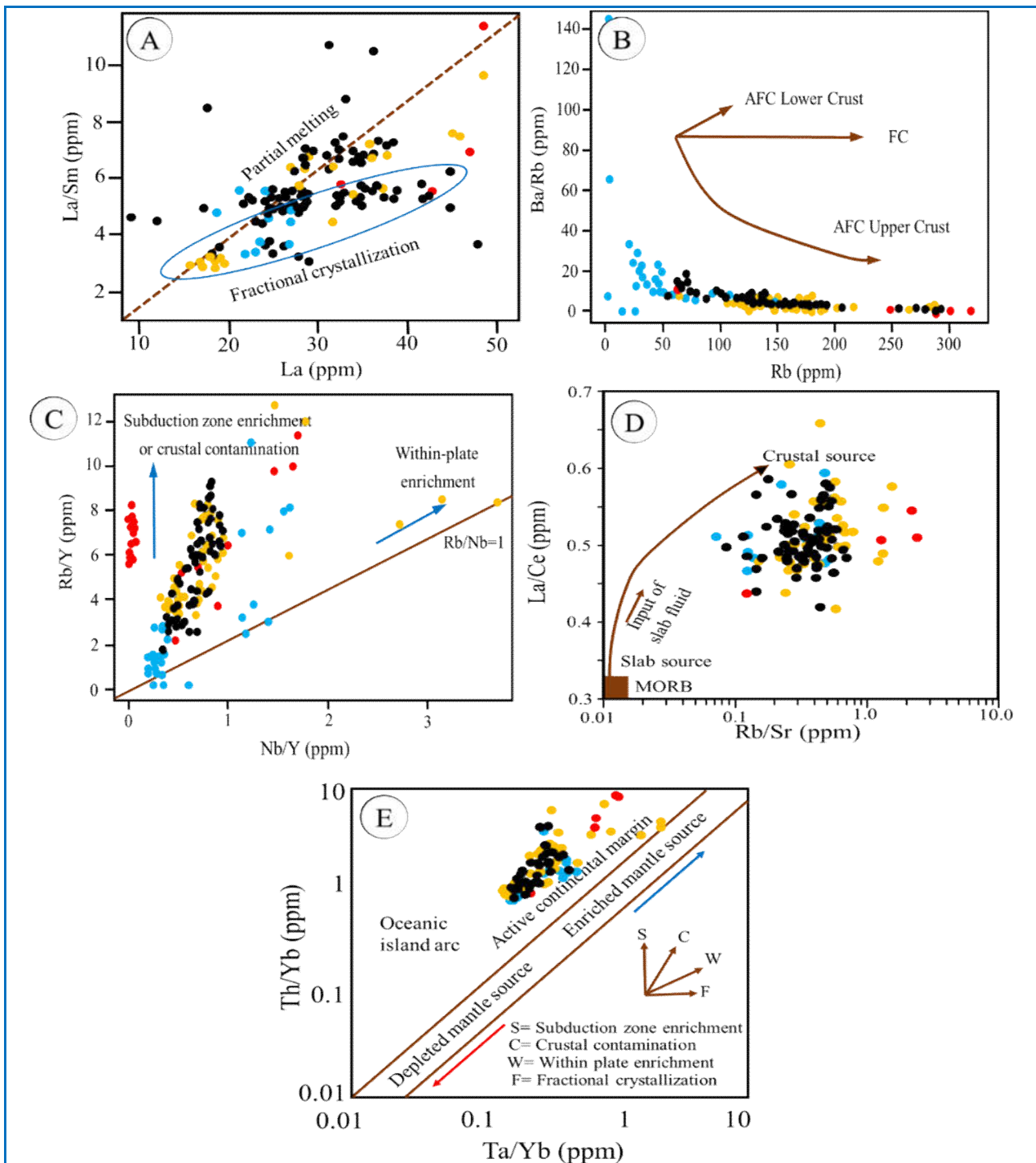
⁶ non-productive

عنصرهای فلوگوپیت و آمفیبول نشان می‌دهد کدام فاز آبدار در منبع گوشته سنگ‌کره‌ای پدید آمده است (Furman and Graham, 1999).

به‌علت سازگاری بیشتر عنصر Nb در ترکیب آمفیبول نسبت به فلوگوپیت و نیز تحرک اندک این عنصر هنگام دگرسانی، برای بررسی حضور آمفیبول یا فلوگوپیت در محل منبع نسبت Nb/Th به کار برده می‌شود. نسبت‌های Rb/Sr در برابر Ba/Rb و Rb/Sr در برابر Nb/Th (Furman and Graham, 1999) و روندهای تغییرات، حضور هر دو فاز آمفیبول و فلوگوپیت را نشان می‌دهند (شکل‌های ۱۲-A و ۱۲-B). از آنجایی که مشخص شد ماگمای سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلززایی طارم-هشتجین با خاستگاهی آمفیبول و فلوگوپیت‌دار در تعادل است، می‌توان از این شاخص‌ها برای برآورد فشار و دمای پیدایش ماگما بهره گرفت. بررسی‌های تجربی نشان می‌دهند آمفیبول و فلوگوپیت در فشارهای نزدیک به ۳۰ تا ۳۵ کیلوپا و ژرفای نزدیک به ۹۰ تا ۱۰۰ کیلومتری پایدار هستند (Sato et al., 1997). همچنین، این نمودارها نشان می‌دهند به‌علت احتمال حضور فلوگوپیت و آمفیبول در خاستگاه، مقدارهای کمابیش برابری از H₂O و CO₂ در عامل دگرسان‌کننده شرکت دارند (Furman and Graham, 1999). از این رو، داده‌های به‌دست‌آمده با خاستگاه مذاب گوشته‌ای آلاینده یافته توسط مواد پوسته‌ای همخوانی دارد. این مواد فرار (H₂O و CO₂)، گوه گوشته‌ای را دگرسان می‌کنند و نقطه ذوب آن را کاهش می‌دهند؛ به‌گونه‌ای که ماگماهای بازالتی آبدار توسط ذوب‌بخشی در مناطق با بالاترین درجه حرارت تولید می‌شوند. این مذاب‌ها منابع پایانی ماگماهای تکامل‌یافته‌تری هستند که در پوسته جای می‌گیرند و چه‌بسا کانسارهای اپی‌ترمال مرتبط را پدید آورند (Candela and Piccoli, 2003; Richards, 2005).

ماگماهای با مؤلفه فرورانش به سوی مقدارهای بالای Th/Yb (از ۰/۹۸ تا ۱۵/۳۳) و بیرون از آرایه گوشته‌ای جای می‌گیرند. سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلززایی طارم-هشتجین، در نمودار یادشده (شکل ۱۱-E)، در محدوده بیرون از آرایه گوشته‌ای و مقدارهای بالای نسبت Th/Yb جای می‌گیرند. این جابجایی روند زمین‌شیمیایی غنی‌شدگی پهنه فرورانش یا غنی‌شدگی با پوسته قاره‌ای دارد. با این حال نسبت بالاتر Th/Yb در سنگ‌های گرانیتوئیدی بررسی‌شده نسبت به ترکیب میانگین پوسته قاره‌ای نشان می‌دهد غنی‌شدگی توسط فرایندهای فرورانش نقش بسزایی در خاستگاه ماگمای اولیه داشته است.

مقدار بالای پتاسیم (K₂O) در سنگ‌های گرانیتوئیدی طارم-هشتجین (۴/۴۰ درصدوزنی)، نیازمند حضور فازهای پتاسیم‌داری همانند پتاسیم‌فلدسپار، آمفیبول پتاسیم‌دار و یا فلوگوپیت در خاستگاه آنهاست. Ba و Rb در ترکیب فلوگوپیت عنصرهای سازگاری هستند (La Tourette et al., 2002)؛ اما Ba، Rb و Sr سازگاری متوسطی در آمفیبول دارند (La Tourette et al., 2002). این ویژگی‌ها برای تشخیص بود یا نبود این فازها در خاستگاه به کار برده می‌شوند؛ به‌گونه‌ای که مواد مذاب در حال تعادل با فلوگوپیت مقدارهای بالایی از Rb/Sr (بیشتر از ۰/۱) و مقدارهای کمی Ba/Rb (کمتر از ۱۵) نسبت به مواد مذاب برخاسته از منبع آمفیبول‌دار دارند. همچنین، مواد مذاب برخاسته از خاستگاه آمفیبول‌دار مقدارهای کمی Rb/Sr (کمتر از ۰/۰۶) و نسبت بالایی از Ba/Rb (بیشتر از ۱۵) نشان می‌دهند (Furman and Graham, 1999). میزان نسبت Rb/Sr در سنگ‌های گرانیتوئیدی طارم-هشتجین (از ۰/۰۱ تا ۲/۷۳) در تغییر است و میزان نسبت Ba/Rb این سنگ‌ها (از ۰/۰۷ تا ۲۹/۷۹) متغیر است. این تفاوت میان سازگاری

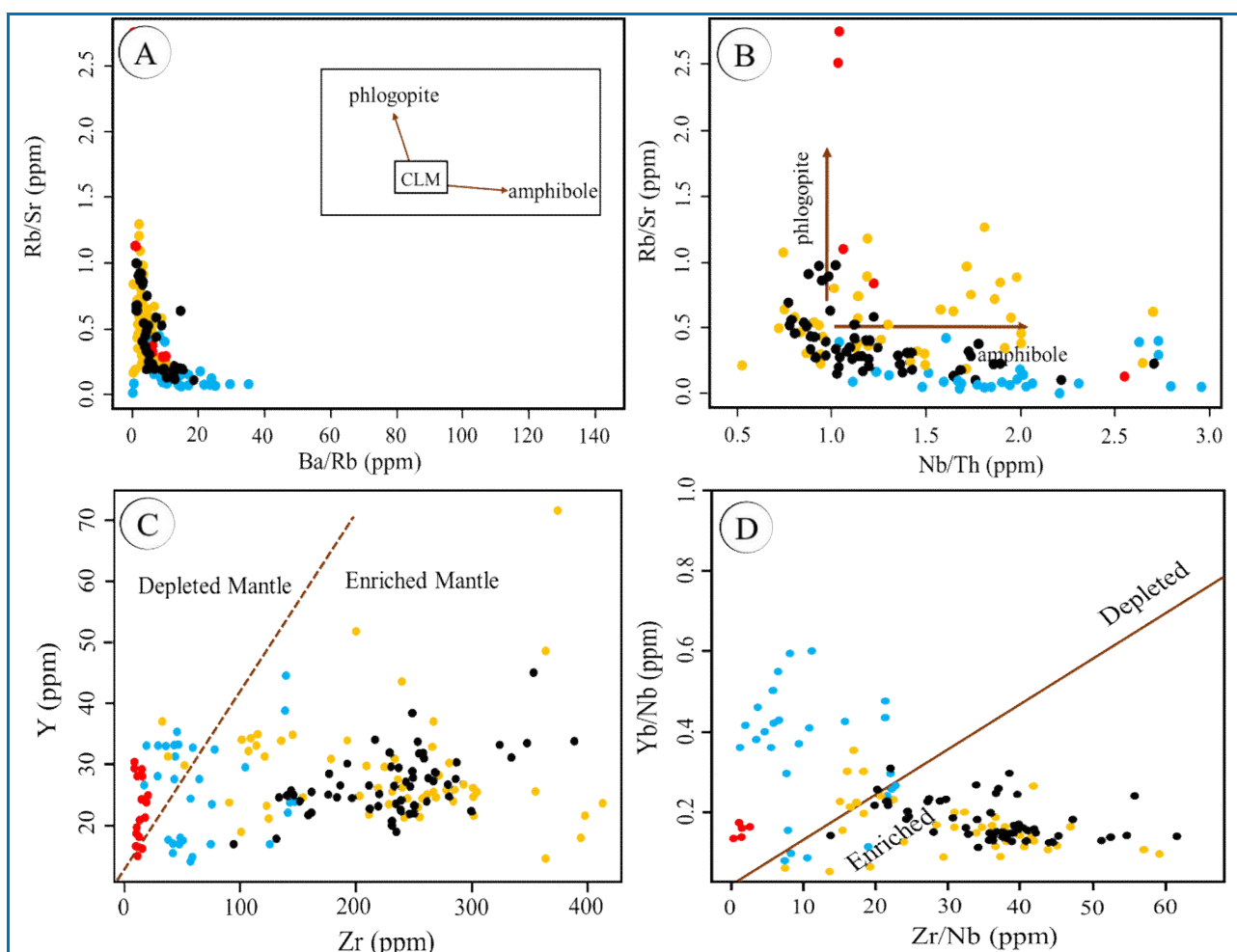


شکل ۱۱. A) نمودار دوتایی La در برابر La/Sm (Chen et al., 2001)؛ B) نمودار Rb در برابر Ba/Rb (Askren et al., 1999)؛ C) نمودار Nb/Y در برابر Rb/Y (Temel et al., 1998)؛ D) نمودار Rb/Sr در برابر La/Ce (Hofmann et al., 1986)؛ E) نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb (Pearce, 1983) (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 11. A) Binary diagram of La versus La/Sm (Chen et al., 2001), where most of the samples are aligned with the process of partial melting and less common fractional crystallization; B) Rb versus Ba/Rb diagram (Askren et al., 1999); C) Nb/Y versus Rb/Y diagram (Temel et al., 1998); D) Rb/Sr versus La/Ce diagram (Hofmann et al., 1986); E) Ta/Yb versus Th/Yb diagram (Pearce, 1983) (Symbols are the same as in Figure 3).

فرورانش پوسته اقیانوسی عنصرهای نامتحرک (HFSE)، مانند Ta، Ti و Nb، در تخته فرورو بجای می‌مانند (Thirlwall et al., 1994)؛ اما عنصرهای متحرک (LILE)، مانند Rb و K را فاز سیلیکاته و یا سیال‌های گرمایی، از صفحه اقیانوسی فرورو جدا می‌کنند و گوشته سنگ‌کره‌ای را از عنصرهای متحرک غنی می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که همه نمونه‌های گرانیتوئیدی پهنه طارم-هشتجین از عنصرهای LILE غنی هستند.

در نمودارهای تمایز خاستگاه غنی شده یا تهی شده Zr برابر Y (شکل ۱۲- C) و Zr/Nb در برابر Yb/Nb (شکل ۱۲- D)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده مذاب‌های حاصل از ذوب بخشی گوشته غنی شده جای می‌گیرند. البته تأثیر سیال‌های حاصل از آزدایی پوسته اقیانوسی فرورو نیز می‌تواند دگر نهاد شدن و غنی‌شدگی گوشته سنگ‌کره‌ای زیرقاره‌ای در محیط حاشیه فعال قاره‌ای را به دنبال داشته باشد. بر این اساس، هنگام



شکل ۱۲. A، B) نمودارهای Ba/Rb versus Rb/Sr و Nb/Th versus Rb/Sr در برابر Rb/Sr (Furman and Graham, 1999) برای تشخیص حضور آمفیبول یا فلوگوپیت در خاستگاه سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزازی طارم-هشتجین؛ C) نمودار Zr در برابر Y (Sun and McDonough, 1989) برای تفکیک خاستگاه گوشته غنی شده و تهی شده سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزازی طارم-هشتجین؛ D) نمودار Zr/Nb در برابر Yb/Nb (Wilson, 2007) بر پایه عنصرهای فرعی، برای تعیین خاستگاه ماگمای سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزازی طارم-هشتجین (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۳ است).

Figure 12. A, B) Ba/Rb versus Rb/Sr and Nb/Th versus Rb/Sr diagrams (Furman and Graham, 1999) to detect the presence of amphibole or phlogopite in the origin of granitoid rocks of the Tarom-Hashtjin metallogenic province; C) Zr versus Y diagram (Sun and McDonough, 1989) to distinguish the origin of enriched and depleted mantles that formed the granitoid rocks of Tarom-Hashtjin metallogenic province, D) Zr/Nb versus Yb/Nb diagram (Wilson, 2007) based on secondary elements to determine the origin of the magma forming the granitoid rocks of the Tarom-Hashtjin metallogenic province (Symbols are the same as in Figure 3).

فرورانش است.

همچنین، وجود ماگماتیسم کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا شوشونیتی و مت‌آلومینوس نوع I در ایالت فلزایی طارم-هشتجین (شکل ۴)، با ویژگی‌های کمان ماگمایی مرتبط با پهنه فرورانش سازگاری دارد. در نمودار تمایز محیط زمین‌ساختی Rb و Y Nb + (Pearce et al., 1984)، نمونه‌های سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی در محدوده‌های کمان آتشفشانی و درون صفحه‌ای مطابق با نوع I و نوع A، مطابق با پیدایش آنها در یک محیط کشتی در ارتباط با کمان آتشفشانی جای می‌گیرند (شکل ۱۳- A).

در نمودار دوتایی Zr/Al_2O_3 در برابر TiO_2/Al_2O_3 (Müller and Groves, 1997) (شکل ۱۳- B)، که برای تفکیک ماگماهای درون صفحه‌ای از ماگماهای واقع در محیط‌های کمانی استفاده می‌شود، سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین در محدوده ماگماهای در ارتباط با کمان جای می‌گیرند. برپایه نمودار تغییرات Yb در برابر Th/Ta (Schandl and Gorton, 2002) (شکل ۱۳- C) بیشتر سنگ‌های گرانیتوئیدی مورد بررسی، در محدوده پهنه فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای تا مناطق آتشفشانی درون صفحه‌ای واقع می‌شوند.

به باور شفایی‌مقدم و همکاران (Shafaii Moghadam et al., 2018)، ماگماتیسم پتاسیم بالای کمر بند کوهزایی تتیس در نتیجه همگرایی صفحات آفریقایی-عربی و اوراسیایی و در پایان، فرورانش اقیانوس تتیس به زیر صفحه اوراسیا رخ می‌دهد. ماگماتیسم کمانی در اواخر کرتاسه پسین با میانگین سنی ۷۷ تا ۸۳ میلیون سال پیش، در بخش جنوب‌خاوری کمان ماگمایی ارومیه-دختر آغاز و با فرورانش صفحه عربی در زمان پالئوژن و پیدایش کوهزایی برخوردی در سراسر میوسن و

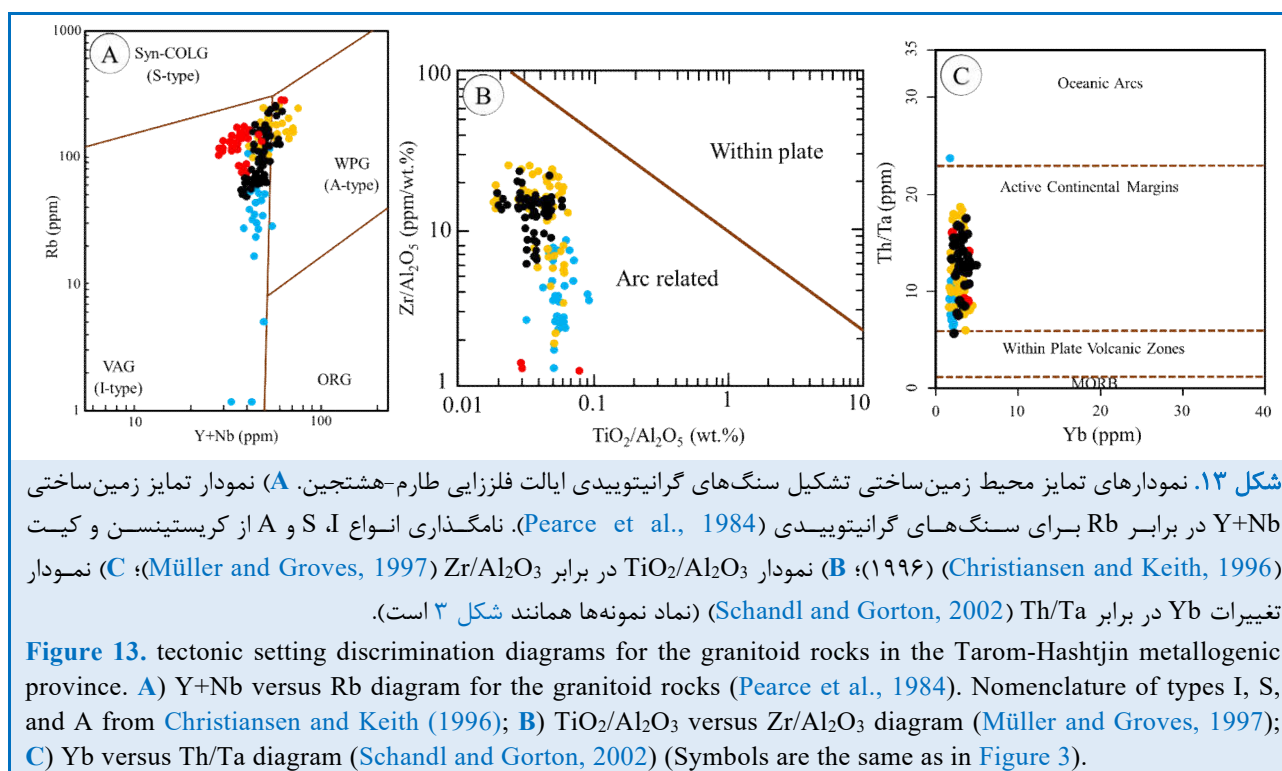
از این رو می‌توان گفت فرایند اصلی در تحول ماگمای اولیه سازنده سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین، تبلوربخشی از ماگمای اولیه گوشته‌ای (با مقداری آرایش با پوسته قاره‌ای) یا ذوب‌بخشی خاستگاه گوشته‌ای اسپینل لرزولیتی بوده است. بررسی نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ در سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین بیشتر نشان‌دهنده تشابه و نزدیکی داده‌های ایزوتوپی است. از این رو، وجود خاستگاهی همگن برای ماگماهای این ایالت را تأیید می‌کند. از این رو، سن‌های متفاوت توده‌های آذرین درونی و همچنین تنوع در مقدار $^{87}Sr/^{86}Sr$ و $^{143}Nd/^{144}Nd$ را چه‌بسا درجات مختلف ذوب‌بخشی برخی از نفوذی‌های مشابه در یک زمان معین، توجیه کنند. هجوم سیال‌های دگرنهاد اثرات ناهمگنی روی گوشته اولیه دارد و با افزایش فراوانی مواد فرار مذاب (مانند H_2O و CO_2) میزان ذوب‌بخشی ماگما را افزایش می‌دهد (Viccaro and Cristofolini, 2008).

محیط تکتونوماگمایی

سن به‌دست‌آمده برای سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای ایالت فلزایی طارم-هشتجین برابر با $37/4 \pm 1/6$ تا $42/87 \pm 1/58$ میلیون سال پیش (Nabatian et al., 2014; Aghazadeh et al., 2015; Ghasemi Siani et al., 2015, 2020) است که با سن کانه‌زایی کانسار اپی‌ترمال سولفیداسیون بالای گلوجه تعیین شده به روش $^{40}Ar/^{39}Ar$ در این پهنه ($42/0 \pm 20/34$) تا $42/1 \pm 56/47$ میلیون سال پیش (Mehrabi et al., 2016) ارتباط دارد. غنی‌شدگی در عنصرهای LILE و LREE و تهی‌شدگی در عنصرهای HFSE و HREE و از سوی، نسبت‌های بالای Ba/Zr (میانگین $7/29$) و Ba/Nb (میانگین $44/22$)، نشان‌دهنده ماگماتیسم در ارتباط با پهنه

(Asiabanha and Foden, 2012) و ماگماتیسیم پس از برخورد (Castro et al., 2013; Pang et al., 2013) وجود دارد. به پیشنهاد وردل و همکاران (Verdel et al., 2011) البرزباختری در محیط پشت کمانی و کمان ماگمایی ارومیه-دختر در محیط کمان آتشفشانی اصلی، مربوط به پهنه فرورانشی نئوتتیس تشکیل شده‌اند.

پلیو-کواترنری ادامه یافته است (Moritz et al., 2016; Sepidbar, et al., 2021; Stern et al., 2021; Shafaii Moghadam and Stern, 2021; Shafaii Moghadam et al., 2020, 2021, 2022). تفسیرهای ژئودینامیک مختلفی برای ماگماتیسیم کمانی ائوسن در البرز، مانند ماگماتیسیم مرتبط با فرورانش (Verdel et al., 2011; Richards et al., 2012; Arjmandzadeh and Santos, 2014)، ماگماتیسیم پهنه پشت کمانی



برگشت تخته رخ داده است. ذوب‌بخشی تخته فرورو و گوّه گوشته‌ای دگرنهاد (توسط سیال‌های حاصل از ذوب تخته فرورو) در پایان ائوسن تولید و فوران ماگماهای ائوسن (۳۷ تا ۴۲ میلیون سال پیش) ایالت فلزایی طارم-هشتجین در یک پهنه پشت کمانی، در پشت کمان ماگمایی ارومیه-دختر را در پی داشته است (شکل ۱۴).

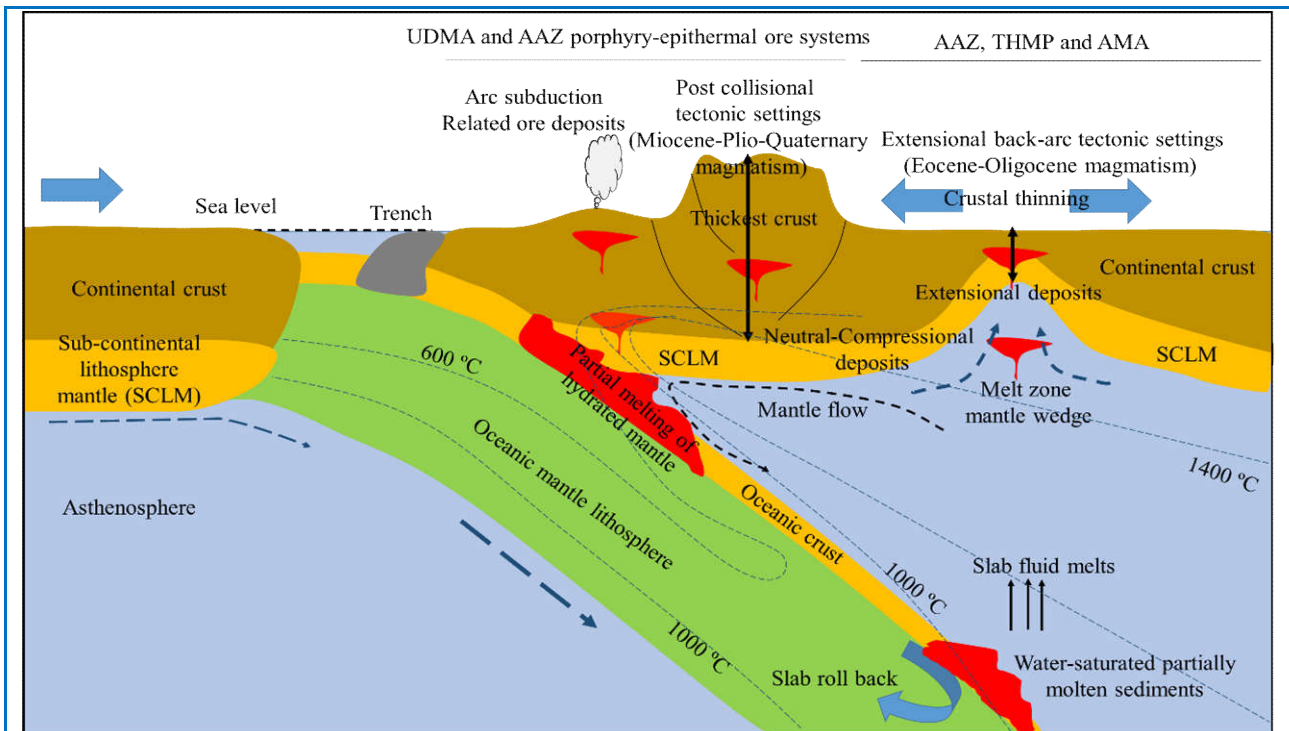
از سوی دیگر، برپایه شواهد زمین‌شیمیایی به‌دست آمده از بررسی‌های شفافیه‌ای مقدم و همکاران (Shafaii Moghadam et al., 2018) و سپیدبر و همکاران (Sepidbar et al., 2019)، سنگ‌های

البرز باختری (شمال‌باختری ایران)، شامل پهنه اهر-ارسباران و ایالت فلزایی طارم-هشتجین است که از شمال تا قفقاز بزرگ و از باختر تا پونتیدهای^۶ آناتولی ادامه می‌یابد و تاریخچه ژئودینامیک پیچیده‌ای دارد. شواهد زمین‌شیمیایی نشان می‌دهند بیشتر گرانیتوئیدهای پیش‌کمانی سنوزویک ترکیب کالک‌آلکان نشان می‌دهند؛ اما سنگ‌های پشت کمانی ویژگی پتاسیم بالا (شوشونیتی و اولتراپتاسیک) دارند. در ایالت فلزایی طارم-هشتجین یک مرحله کشش در طول ائوسن مرتبط با

⁶ Pontides

شمالی و شمال‌باختری را عامل پیدایش محیط‌های پشت‌کمانی؛ مانند البرز باختری، ایالت فلززایی طارم-هشتجین و پهنه‌آهر-ارسباران می‌دانند. ذوب‌بخشی پوسته فرورو و گوه‌گوشته‌ای دگرنهاد (توسط سیالات و مذاب‌های قطعه فرورونده) در اواخر ائوسن ($1/6 \pm 37/4$ تا $1/58 \pm 42/87$ میلیون سال پیش؛ Nabatian et al., 2014; Aghazadeh et al., 2015; Ghasemi Siani et al., 2015, 2020) تولید ماگمای کالک‌آلکالن در یک محیط کششی در ارتباط با محیط پشت‌کمانی در پهنه‌آهر-هشتجین را به‌دنبال داشته است. در کل می‌توان گفت ایالت فلززایی طارم-هشتجین در یک محیط پشت‌کمانی پدیدآمده در ارتباط با کمان آتشفشانی ارومیه-دختر پدید آمده است و ماگماتیسیم اصلی در زمان ائوسن پدید آمده است (شکل ۱۴).

آتشفشانی-نفوذی کمان ماگمایی ارومیه-دختر با میانگین سنی ۳۷ تا ۵۴ میلیون سال پیش (ائوسن میانی) (Verdel et al., 2007; Chiu et al., 2013)، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی همانند سری‌های ماگمایی کالک‌آلکالن تا شوشونیتی ماگماتیسیم سنوزوییک، در یک محیط تکتونوماگمایی کمان آتشفشانی (حاشیه همگرا) را نشان می‌دهند. از این‌رو، مقایسه موارد یادشده و همچنین، نسبت‌های $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و $\epsilon\text{Nd}(t)$ در سنگ‌های آذرین کمان ماگمایی ارومیه-دختر (به ترتیب $0/70483$ تا $0/70783$ و $2/5$ تا $3/6$) با سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلززایی طارم-هشتجین (به ترتیب $0/70434$ تا $0/70510$ و $5/70$ تا $3/40$) نشان‌دهنده قرابت و همپوشانی داده‌های زمین‌شیمیایی به‌دست‌آمده برای این دو محیط تکتونوماگمایی هستند. عقب‌نشینی گودال و برگشت تخته کمان ماگمایی پالئوژن ارومیه-دختر به سمت بخش‌های



شکل ۱۴. مدل شماتیک از پیدایش سنگ‌های آذرین کمان ماگمایی البرز^{۱۰} (AMA)، ایالت فلززایی طارم-هشتجین (THMP) و پهنه‌آهر-ارسباران (AAZ) در محیط‌های زمین‌ساختی کششی (Back-arc) در پهنه فرورانش (با تغییرات از Ghasemi Siani et al. (2020)).

Figure 14. Schematic model of the formation of igneous rocks of Alborz magmatic arc (AMA), Tarom-Hashtjain metallogenic province (THMP), and Ahar-Arsbaran zone (AAZ) in the back-arc tectonic environments located in the subduction zone (with changes from Ghasemi Siani et al. (2020)).

¹⁰ Alborz Magmatic Arc

برداشت

این بررسی به‌طور خلاصه سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های گرانیتوئیدی میزبان کانسارهای اپی‌ترمال در ایالت فلزایی طارم-هشتجین را نشان می‌دهد. کانسارهای اپی‌ترمال در ایالت فلزایی طارم-هشتجین در ایران به سه دسته سولفیداسیون کم، سولفیداسیون متوسط و سولفیداسیون بالا دسته‌بندی می‌شوند. برپایه این پژوهش، سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کانسارهای اپی‌ترمال ایالت فلزایی طارم-هشتجین، شامل واحدهای نفوذی مونزونیتی، مونزودیوریتی، کوارتزمونزونیتی و گرانیتی است. نفوذی یادشده ماهیت کالک‌آلکالین پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارد و متال‌لومینوس نوع I است. این سنگ‌ها، نسبت به عنصرهای سنگ‌گرا (LILE) مانند U, Th, Rb, K, Nd غنی‌شدگی و نسبت به عنصرهای با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ta, Nb, Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها نشان‌دهنده رخداد ماگماتیسم همراه با فرورانش هستند و ویژگی همه ماگماهایی است که تحت تأثیر فرایندهای آلیس پوسته‌ای و جدایش بلورین بوده‌اند. از سوی دیگر، سیال‌ها و مذاب‌های پدیدآمده از پوسته اقیانوسی فرورو با دگرنهادکردن گوه گوه‌شده‌ای بالای خود باعث پیدایش ناهنجاری مثبت عنصرهای LILE و ناهنجاری منفی عنصرهای HFSE می‌شوند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند ایالت فلزایی طارم-هشتجین بخشی از کمان کششی پشت کمانی با فعالیت آذرین گسترده در ارتباط با کمان اصلی ارومیه-دختر است. از این‌رو، گمان می‌رود رژیم زمین‌ساختی کششی در ائوسن زیرین تا میانی با حرکات همگرایی همراه بوده

است و تا پایان ائوسن میانی و ائوسن بالایی دنبال شده است. این مرحله از کشش در طول ائوسن مرتبط با برگشت تخت‌رخ می‌دهد که احتمالاً «شعله‌ور شدن» ماگماتیسم را به دنبال داشته است. حرکت‌های زمین‌ساختی یادشده می‌تواند با فرایندهای جداشدن قطعه فرور و یا نازک‌شدن همرفتی سنگ‌کره همراه بوده باشد که این فرایندها بالاآمدگی سست‌کره و آشفتگی دمایی در گوه گوه‌شده‌ای سنگ‌کره‌ای دگرنهاد را در پی داشته‌اند. این چنین آشفتگی، ذوب‌بخشی تخت‌فرورونده و گوه گوه‌شده‌ای سنگ‌کره‌ای را به همراه داشته است و ماگمای پتاسیک اولیه سنگ‌های گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین را پدید آورده است. این فرایند تولید و فوران حجم بالای از ماگماهای ائوسن (۳۷ تا ۴۲ میلیون سال پیش) در پهنه پشت کمانی ماگمایی ارومیه-دختر را به دنبال داشته است. میانگین سنی $1/6 \pm 37/4$ تا $1/58 \pm 42/87$ میلیون سال پیش و بررسی نسبت‌های ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ و وجود خاستگاه همگن گرانیتوئیدی ایالت فلزایی طارم-هشتجین را تأیید می‌کند. هجوم سیال‌های دگرنهادکننده اثرات ناهمگنی روی گوشته اولیه داشته است و افزایش فراوانی مواد فرار مذاب (مانند H_2O و CO_2)، میزان ذوب‌بخشی ماگما را افزایش می‌دهد؛ زیرا گوشته در یک زمان معین دچار درجات متفاوت ذوب‌بخشی شده است. از این‌رو، مذاب حاصل از درجات مختلف ذوب‌بخشی گوشته هنگام صعود جدایش پیدا کرده است. در پایان، این مذاب‌ها سنگ‌های گرانیتوئیدی فلسیک ایالت فلزایی طارم-هشتجین را در پهنه فرورانش پدید آورده‌اند.

References

- Abedini, A. (2017) Geochemistry of argillic alteration: a case study from the Jizvan area, Tarom-Hashtjin zone. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 26(104), 3-16 (in Persian).
- Aghajani, S., Emami, M.H., Lotfi, M., Gholizadeh, K., and Ghasemi Siani, M. (2016) Source of polymetal epithermal veins at Nikuyeh district (West of Qazvin) based on

- mineralogy, alteration and fluid inclusion studies. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25, 157–168 (in Persian).
- Aghajani, S., Ghasemi Siani, M., Emami, M.H., Lotfi, M., and Gholizadeh, K., (2020) Petrography, geochemistry, magmatic evolution and tectonomagmatic setting of igneous rocks associated with Nikuyeh epithermal mineralization (west of Qazvin). *Kharazmi Journal of Earth Sciences*, 6(1), 15–30 (in Persian).
- Aghazadeh, M., Castro, A., Badrzadeh, Z., and Vogt, K. (2011) Post-collisional polycyclic plutonism from the Zagros hinterland: the Shaivar Dagh plutonic complex, Alborz belt, Iran. *Geological Magazine*, 148(5-6), 980-1008.
- Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z., and Castro, A. (2015) Petrogenesis and U-Pb SHRIMP Dating of Taroum Plutons. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95), 3-20 (in Persian).
- Alavi, M. (2004) Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304(1), 1-20.
- Almeida, M.E., Macambira, M.J., and Oliveira, E.C. (2007) Geochemistry and zircon geochronology of the I-type high-K calc-alkaline and S-type granitoid rocks from southeastern Roraima, Brazil: Orosirian collisional magmatism evidence (1.97–1.96 Ga) in central portion of Guyana Shield. *Precambrian Research*, 155(1-2), 69-97.
- Arjmandzadeh, R., and Santos, J.F. (2014) Sr–Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu–Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran. *International Journal of Earth Sciences*, 103(1), 123-140.
- Asiabanha, A., and Foden, J. (2012) Post-collisional transition from an extensional volcano-sedimentary basin to a continental arc in the Alborz Ranges, N-Iran. *Lithos*, 148, 98-111.
- Ayers, J. (1998) Trace element modeling of aqueous fluid–peridotite interaction in the mantle wedge of subduction zones. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 132(4), 390-404.
- Askren, D.R., Roden, M.F., and Whitney, J.A. (1997) Petrogenesis of Tertiary andesite lava flows interlayered with large-volume felsic ash-flow tuffs of the western USA. *Journal of Petrology*, 38(8), 1021-1046.
- Azizi, H., and Jahangiri, A. (2008) Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Journal of Geodynamics*, 45(4-5), 178-190.
- Azizi, H., Nouri, F., Stern, R.J., Azizi, M., Lucci, F., Asahara, Y., Zarinkoub, M.H., and Chung, S.L. (2020) New evidence for Jurassic continental rifting in the northern Sanandaj Sirjan Zone, western Iran: The Ghalaylan seamount, southwest Ghorveh. *International Geology Review*, 62(13-14), 1635-1657.
- Ballato, P., Uba, C.E., Landgraf, A., Strecker, M.R., Sudo, M., Stockli, D.F., Friedrich, A., and Tabatabaei, S.H. (2011) Arabia-Eurasia continental collision: Insights from late Tertiary foreland-basin evolution in the Alborz Mountains, northern Iran. *The Geological Society of America (GSA) Bulletin*, 123(1-2), 106-131.
- Barbarin, B. (1996) Genesis of the two main types of peraluminous granitoids. *Geology*, 24(4), 295-298.
- Bazargani-Guilani, K., and Parchekani, M. (2011) Metallogenic Properties of Barik-Ab Pb-Zn (Cu) Ore Deposit with Acidic Tuff Host-Rock, west Central Alborz, northwest of Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 20, 97–104 (in Persian).
- Bonin, B. (2004) Do coeval mafic and felsic magmas in post-collisional to within-plate

- regimes necessarily imply two contrasting, mantle and crustal, sources? A review. *Lithos*, 78, 1–24.
- Castro, A., Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z., and Chichorro, M. (2013) Late Eocene–Oligocene post-collisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran. An example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source. *Lithos*, 180, 109-127.
- Candela, P.A., and Piccoli, P.M. (2005) Magmatic processes in the development of porphyry-type ore systems. *Economic Geology*, 25–37.
- Chappell, B.W. (1979) *Granites as images of their Source rocks*, 400p. The Geological Society of America, New York.
- Chappell, B.W., and White, A.J.R. (1992) I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh, Earth Sciences*, 83, 1-26.
- Chaghaneh, N. (2012) Mineralogy, geochemistry, fluid inclusion and genesis of Glojeh anomaly 4, North of Zanjan, 170 p. M. Sc. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran (in Persian).
- Chen, C.H., Chung, S.H., Hwang, H.H., Chen, C.H., and Chung, S.L. (2001) Petrology and geochemistry of Neogene continental basalts and related rocks in northern Taiwan (III): Alkali basalts and tholeiites from Shiting-Yinko area. *Western Pacific Earth Sciences*, 1(1), 19-46.
- Chiu, H.Y., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M., and Iizuka, Y. (2013) Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. *Lithos*, 162, 70-87.
- Chiaradia, M. (2015) Crustal thickness control on Sr/Y signatures of recent arc magmas: an Earth scale perspective. *Scientific Reports*, 5(1), 1-5.
- Christiansen, E.H., and Keith, J.D. (1996) Trace element systematics in silicic magmas: a metallogenic perspective. *Trace element geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulfide exploration*. Edited by DA Wyman. Geological Association of Canada, Short Course Notes, 12, 115-151.
- Defant, M.J., and Drummond, M.S. (1990) Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347(6294), 662-665.
- Defant, M.J. (2002) Adakites: some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18, 129-142.
- Doe, B.R., and Zartman, R.E. (1979) *Plumbotectonics I, the Phanerozoic*, In H.L. Barnes, Ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, 22-70. 2nd Ed., John Wiley and Sons, New York.
- Du Bray, E.A. (2017) Geochemical characteristics of igneous rocks associated with epithermal mineral deposits a review. *Ore Geology Reviews*, 80, 767-783.
- Esmaeli, M., Lotfi, M., and Nezafati, N. (2015) Fluid inclusion and stable isotope study of the Khalyfehlou copper deposit, Southeast Zanjan, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(11), 9625-9633.
- Esmaeli, M., Lotfi, M., and Nezafati, N. (2019) Mineralogy, and genesis of Khalyfehlou copper deposit based on host rock geochemical data and O-S isotope characteristic. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28, 33–46 (in Persian).
- Fan, W.M., Guo, F., Wang, Y.J., and Lin, G. (2003) Late Mesozoic calc-alkaline volcanism of post-orogenic extension in the northern Da Hinggan Mountains, northeastern China. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 121(1-2), 115-135.

- Faridi, M., and Anvari, A. (2004) Geological map 1:100000 Hashtjin, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Feyzi, M., Ebrahimi, M., Kouhestani, H., and Mokhtari, M.A.A. (2016) Geology, mineralization and geochemistry of the Aqkand Cu occurrence (north of Zanjan, Tarom-Hashtjin zone). *Iranian Journal of Economic Geology*, 8, 507–524 (in Persian).
- Foudazi, M., Karizaki, H.S., and Qolipour, M. (2015) Petrology and geochemistry of granitoid rocks in NW of Takestan. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24, 21–28 (in Persian).
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J., and Frost, C.D. (2001) A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42(11), 2033–2048.
- Furman, T., and Graham, D. (1999) Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: geochemical evidence from the Kivu volcanic province. *Developments in Geotectonics*, 24, 237–262.
- Ghasemi Siani, M. (2014) Timing and origin of epithermal veins and geochemical zoning in the Glojeh district, North of Zanjan, Iran, 178 p. Ph.D. Thesis, Kharazmi University, Tehran, Iran (in Persian).
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Azizi, H., Wilkinson, C.M., and Ganerod, M. (2015) Geochemistry and geochronology of the volcano-plutonic rocks associated with the Glojeh epithermal gold mineralization, NW Iran. *Open Geosciences*, 7(1), 207–222.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., and Azizi, H. (2017) Mineralogy, Geochemistry and Alteration of Ore Minerals in Glojeh Epithermal Veins, North of Zanjan. *Iranian Journal of Geology*, 11(42), 1–25 (in Persian).
- Ghasemi Siani, M.G., Lentz, D.R., and Nazarian, M. (2020) Geochemistry of igneous rocks associated with mineral deposits in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, NW Iran: an analysis of the controls on epithermal and related porphyry-style mineralization. *Ore Geology Reviews*, 126, 103753.
- Ghasemi Siani, M.G., and Lentz, D.R. (2022) Lithogeochemistry of various hydrothermal alteration types associated with precious and base metal epithermal deposits in the Tarom-Hashtjin metallogenic province, NW Iran: Implications for regional exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 232, 106903.
- Ghasemi Siani, M., Mehrabi, B., Nazarian, M., Lotfi, M., and Corfu, F. (2022) Geology and genesis of the Chomalu polymetallic deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 143, 104763.
- Ghorbani, M. (2007) *Economic Geology of Mineral Deposits and Natural Resources of Iran*. 1st edition, Arian Zamin Publishers p. 492 (in Persian).
- Gorton, M.P., and Schandl, E.S. (2000) From continents to island arcs: a geochemical index of tectonic setting for arc-related and within-plate felsic to intermediate volcanic rocks. *The Canadian Mineralogist*, 38(5), 1065–1073.
- Groves, D.I., and Bierlein, F.P. (2007) Geodynamic settings of mineral deposit systems. *Journal of the Geological Society*, 164(1), 19–30.
- Hajalilo, B. (2000) Tertiary metallogeny of western Alborz-Azerbaijan (Mianeh), in particular Hashtjin district, 275 p. Ph.D. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Harker, A. (1909) *The natural history of igneous rocks*, 360 p. 1st Edition, Methuen and Company, Yorkshire.
- Hassanpour, S., Alirezaei, S., Selby, D., and Sergeev, S. (2015) SHRIMP zircon U–Pb and

- biotite and hornblende Ar–Ar geochronology of Sungun, Haftcheshmeh, Kighal, and Niaz porphyry Cu–Mo systems: evidence for an early Miocene porphyry-style mineralization in northwest Iran. *International Journal of Earth Sciences*, 104(1), 45–59.
- Hofmann, A.W., Jochum, K.P., Seufert, M., and White, W.M. (1986) Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution. *Earth and Planetary science letters*, 79(1-2), 33-45.
- Hofmann, A.W. (1988) Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth and Planetary Science Letters*, 90(3), 297-314.
- Hosseinzadeh, G., Moayed, M., and Moghadami, E. (2014) Geochemistry of zeolitic alteration in volcanic rocks of Kejal area (NW of Hashjin), Ardebil. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 21, 83–96 (in Persian).
- Hosseinzadeh, M.R., Maghfouri, S., Moayyed, M., Lotfahnia, M., Hajalilo, B. (2015) Petrology, geochemistry and alteration at the polymetallic (Cu-Pb-Zn) vein and veinlet mineralization in the Lubin-Zardeh area, Northeast Zanzan. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24, 41–52 (in Persian).
- Hosseinzadeh, M.R., Moghfouri, M., Moayyed, M., and Rahmani, A. (2016) Khalifehlu deposit high-sulfidation epithermal Cu-Au mineralization in the Tarom magmatic zone, North Khoramdareh. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25, 179–194 (in Persian).
- Jahangiri, A. (2007) Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3-4), 433-447.
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A., and Mehrabi, B. (2010) Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar–Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *International Geology Review*, 52(4-6), 608-630.
- Jamali, H., and Mehrabi, B. (2015) Relationships between arc maturity and Cu–Mo–Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt. *Ore Geology Reviews*, 65, 487-501.
- Karimpour, M.H., Rezaei, M., Zarasvandi, A., and Malekzadeh Shafaroudi, A. (2021) Saveh-Nain-Jiroft Magmatic Belt replaces Urumieh-Dokhtar Magmatic Belt: Investigation of genetic relationship between porphyry copper deposits and adakitic and non-adakitic granitoids. *Journal of Economic Geology*, 13(3), 465-506 (in Persian).
- Khademian, F., Monsef, I., and Rahgoshay, M. (2018) Petrogenesis and geochemistry of the Eocene volcanic sequence in the northeast of Zanzan: Implications for active continental margin magmatism in the Alborz-Azarbaijan Zone. *Petrological Journal*, 9(33), 191-206 (in Persian).
- Khanmohammadi, N., Khakzad, A., Izadyar, J. (2010) Mineralography, Structural and Textural Studies and Genesis of Zaker Iron-Apatite Deposit (Northeast of Zanzan). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 19(76), 119-176 (in Persian).
- Kordian, S., Mokhtari, M.A.A., Kouhestani, H., and Veiseh, S. (2020) Geology, mineralogy, structure and texture, geochemistry and genesis of the Golestan Abad iron oxide-apatite deposit (East of Zanzan). *Journal of Economic Geology*, 12(3), 299-325 (in Persian).
- Kouhestani, H., Azimzadeh, A.M., Mokhtari, M.A.A., and Ebrahimi, M. (2017) Mineralization and fluid evolution of epithermal base metal veins from the Aqkand

- deposit, NW Iran. *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 194, 139-155.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z., and Johnson, C.A. (2018) Intermediate sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 93, 1-18.
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Qin, K., and Zhao, J. (2019) Fluid inclusion and stable isotope constraints on ore genesis of the Zajkan epithermal base metal deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 109, 564-584.
- Kouhestani, H., and Mokhtari, M.A.A. (2019) Tashvir ore occurrence, NE Zanjan. Intermediate-sulfidation style of epithermal base metal (Ag) mineralization in the Tarom-Hashtjin zone. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 28, 97-108 (in Persian).
- La Tourette, R.W. (2002) *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. *Geological Magazine*, 140(3), 367-367.
- Machado, A., Lima, E.F., Chemale Jr, F., Morata, D., Oteíza, O., Almeida, D.P.M., Figueiredo, A.M.G., Alexandre, F.M., and Urrutia, J.L. (2005) Geochemistry constraints of Mesozoic-Cenozoic calc-alkaline magmatism in the South Shetland arc, Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(3-4), 407-425.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., and Azizi, H. (2014) The genesis of the epithermal gold mineralization at North Glojeh veins, NW Iran. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSAR)*, 15(1), 479-497.
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M., and Marsh, E.E. (2016) Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 78, 41-57.
- Mikaeili, K., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., and Maghfouri, S. (2018) The Shah-Ali-Beiglou Zn-Pb-Cu (-Ag) Deposit, Iran: An Example of Intermediate Sulfidation Epithermal Type Mineralization. *Minerals*, 8(4), 148.
- Middlemost, E.A. (1994) Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37(3-4), 215-224.
- Miyashiro, A. (1974) Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *American Journal of Science*, 274(4), 321-355.
- Mohammadi, M., Nabatian, G., Honarmand, M., and Ebrahimi, M. (2019) Geology and origin of the Dohneh Copper Mineralization, northeast of Zanjan. *Iran. Journal of Economic Geology*, 11, 497-524 (in Persian).
- Moritz, R., Rezeau, H., Ovtcharova, M., Tayan, R., Melkonyan, R., Hovakimyan, S., Ramazanov, V., Selby, D., Ulianov, A., Chiaradia, M., and Putlitz, B. (2016) Long-lived, stationary magmatism and pulsed porphyry systems during Tethyan subduction to post-collision evolution in the southernmost Lesser Caucasus, Armenia and Nakhitchevan. *Gondwana Research*, 37, 465-503.
- Moritz, R., and Baker, T. (2019) Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt: From Mesozoic Magmatic Arcs to Cenozoic Back-Arc and Postcollisional Settings in Southeast Europe, Anatolia, and the Lesser Caucasus: An Introduction. *Economic Geology*, 114(7), 1227-1235.
- Mokhtari, M.A.A., Kouhestani, H., and Saedi, A. (2016) Investigation on type and origin of copper mineralization at Aliabad Mousavi-Khanchy occurrence, East of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25, 259-270 (in Persian).

- Mousavi Motlagh, S.H., Ghaderi, M., Mokhtari, M.A.A., and Yasami, N. (2019) Geochemical constraints on the origin and tectonic setting of Chargar intrusions in the Alborz orogenic belt, NW Iran. *Journal of Earth System Sciences*, 128, 224–243 (in Persian).
- Mousavi Motlagh, S.H., and Ghaderi, M. (2019) The Chargar Au-Cu deposit: an example of low-sulfidation epithermal mineralization from the Tarom subzone, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 196(1), 43-66.
- Müller, D., Rock, N.M.S., and Groves, D.I. (1992) Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings: a pilot study. *Mineralogy and Petrology*, 46(4), 259-289.
- Müller, D., and Groves, D.I. (1997) *Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper mineralization*, 238p. 3rd Ed., Springer-Verlag, Berlin.
- Nagudi, N., Koberl, C., and Kurat, G. (2003) Petrography and geochemistry of the sigo granite, Uganda and implications for origin. *Journal of African Earth Sciences*, 36, 1-14.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Rashidnejad Omran, N., and Daliran, F. (2010) Geochemistry and genesis of apatite bearing Fe-oxide Sorkhe-Dizaj deposit, SE Zanjan. *Journal of Economic Geology*, 1(1), 19-46.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Daliran, F., and Rashidnejad-Omran, N. (2012) Sorkhe-Dizaj Iron Oxide–Apatite Ore Deposit in the Cenozoic Alborz-Azarbaijan Magmatic Belt, NW Iran. *Resource Geology*, 63(1), 42-56.
- Nabatian, G., and Ghaderi, M. (2013) Oxygen isotope and fluid inclusion study of the Sorkhe-Dizaj iron oxide-apatite deposit, NW Iran. *International Geology Review*, 55(4), 397-410.
- Nabatian, G., Ghaderi, M., Corfu, F., Neubauer, F., Bernroider, M., Prokofiev, V., and Honarmand, M. (2014) Geology, alteration, age, and origin of iron oxide–apatite deposits in Upper Eocene quartz monzonite, Zanjan district, NW Iran. *Mineralium Deposita*, 49(2), 217-234.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na, and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5), 757-775.
- Nazari Nia, A., Rashidnezhad Omran, N., Aghazadeh, M., Arvin, A. (2014) Petrology and geochemistry of quartz-monzonite body in the Tarom Subzone North-East of Zanjan. *Petrological Journal*, 20, 91–106 (in Persian).
- Ordóñez-Calderón, J.C., Polat, A., Fryer, B.J., Gagnon, J.E., Raith, J.G., and Appel, P.W.U. (2008) Evidence for HFSE and REE mobility during calc-silicate metasomatism, Mesoarchean (~3075 Ma) Ivvisaartoq greenstone belt, southern West Greenland. *Precambrian Research*, 161(3-4), 317-340.
- Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Khatib, M.M., Mohammadi, S.S., Chiu, H.Y., Chu, C.H., Lee, H.Y., and Lo, C.H. (2013) Eocene–Oligocene post-collisional magmatism in the Lut–Sistan region, eastern Iran: Magma genesis and tectonic implications. *Lithos*, 180, 234-251.
- Pearce, J. A. (1983) Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active Continental magmas. *Continental basalts and mantle xenoliths*, 230-249 p. Shiva, Cheshire.
- Pearce, J.A., Harris, N.B., and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4), 956-983.

- Pearce, J.A., and Peate, D.W. (1995) Tectonic implications of the composition of volcanic arc magmas. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 23, 251-286.
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58(1), 63-81.
- Rahmani, S.H., Zamanian, H., Zareisahameih, R. (2019) Geochemical characteristics of igneous host rocks associated of Lubin-Zardeg epithermal gold deposit, NW Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29, 289-302 (in Persian).
- Raymond, L.A. (2002) *The study of igneous sedimentary and metamorphic rocks*, 720 p. 2nd Edition, McGraw Hill, New York,
- Richards, J.P. (2005) Cumulative Factors in the Generation of Giant Calc-Alkaline Porphyry Cu Deposits. In: *Super Porphyry Copper and Gold Deposits: A Global Perspective* (Ed., Porter, T.M.) 1, 259-274. Porter Geoscience Consulting Publishing, Linden Park, South Australia.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., and Fletcher, T. (2012) High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu±Mo±Au potential: examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan. *Economic Geology*, 107(2), 295-332.
- Richards, J.P. (2015) Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70, 323-345.
- Richards, J.P., and Sholeh, A. (2016) The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. *Economic Geology*, 19, 193-212.
- Richards, J.P., Razavi, A.M., Spell, T.L., Locock, A., Sholeh, A., and Aghazadeh, M. (2018) Magmatic evolution and porphyry-epithermal mineralization in the Taftan volcanic complex, southeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 95, 258-279.
- Rollinson, H.R. (1993) *Using geochemical data: evaluation. Presentation, Interpretation*, 796, 317-343.
- Rickwood, P.C. (1989) Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4), 247-263.
- Sadri Esfanjani, S., Amel, N., Mokhtari, M.A.A. (2015) Petrology and geochemistry of acidic volcanic rocks in the north of Soleiman Bolaghi (southwest Hashtjin, north of Zanjan) with considering perlitization. *Petrological Journal*, 21, 139-156 (in Persian).
- Saeedi, A., Mokhtari, M.A.A., and Kouhestani, H. (2018) Petrology and geochemistry of intrusive rocks at Khanchay-Aliabad region (Tarom sub-zone, East of Zanjan). *Petrological Journal*, 33, 207-229 (in Persian).
- Sato, K., Katsura, T., and Ito, E. (1997) Phase relations of natural phlogopite with and without enstatite up to 8 Gpa: implications for mantle metasomatism. *Earth and Planetary Science Letters*, 164, 511-526.
- Sepidbar, F., Shafaii Moghadam, H., Zhang, L., Wei Li, J., Ma, J., Stern, R.J., and Lin, C. (2019) Across-arc geochemical variations in the Paleogenemagmatic belt of Iran. *Lithos*, 344-345, 280-296.
- Sepidbar, F., Karsli, O., Palin, R.M., and Casetta, F. (2021) Cenozoic temporal variation of crustal thickness in the Urumieh-Dokhtar and Alborz magmatic belts, Iran. *Lithos*, 400, 106401.
- Schandl, E.S., and Gorton, M.P. (2002) Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology*, 97(3), 629-642.

- Schmidt, M.W., Vielzeuf, D., and Auzanneau, E. (2004) Melting and dissolution of subducting crust at high pressures: the key role of white mica. *Earth and Planetary Science Letters*, 228(1-2), 65-84.
- Seyedqaraeini, A., Mokhtari, M.A.A., and Kouhestani, H. (2019) Petrology, geochemistry and tectonomagmatic setting of Zajkan granitoid (Tarom-Hashtjin sub-zone, West of Qazvin). *Petrological Journal*, 39, 79–100 (in Persian).
- Shafaii Moghadam, H., Griffin, W.L., Kirchenbauer, M., Garbe-Schonberg, D., Zakie Khedr, M., Kimura, J.I., Stern, R.J., Ghorbani, G., Murphy, R., O'Reilly, S.Y., Arai, S., Maghdour-Mashhour, R. (2018) Roll-back, extension and mantle upwelling triggered Eocene potassic magmatism in NW. *Petrological Journal*, 59, 1417–1465.
- Shafaii Moghadam, H., Li, Q.L., Li, X.H., Stern, R.J., Levrresse, G., Santos, J.F., Lopez Martinez, M., Ducea, M.N., Ghorbani, M., Hassannezhad, A. (2020) Neotethyan subduction ignited the Iran arc and back-arc differently. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125, 1–30.
- Shafaii Moghadam, H., Li, Q.L., Griffin, W.L., Stern, R.J., Santos, J.F., Lucci, F., Beyarslan, M., Ghorbani, G., Ravankhah, A., Tilhac, R., and O'Reilly, S.Y. (2021) Prolonged magmatism and growth of the Iran-Anatolia Cadomian continental arc segment in Northern Gondwana. *Lithos*, 384, 105940.
- Shafaii Moghadam, H., and Stern, R.J. (2021) Subduction initiation causes broad upper plate extension: The Late Cretaceous Iran example. *Lithos*, 398, 106296.
- Shafaii Moghadam, H., Li, Q.L., Griffin, W.L., Stern, R.J., Santos, J.F., Ducea, M.N., Ottly, C.J., Karsli, O., Sepidbar, F., and O'Reilly, S.Y. (2022) Temporal changes in subduction-to collision-related magmatism in the Neotethyan orogen: The Southeast Iran example. *Earth-Science Reviews*, 103930.
- Shand, S.J. (1943) Eruptive rocks: Their genesis, composition classification and their relation to ore-deposits, 488p. 3rd Ed. John Wiley Sons, New York.
- Sheth, H.C., Torres-Alvarado, I.S., and Verma, S.P. (2002) What is the "calc-alkaline rock series"? *International Geology Review*, 44(8), 686-701.
- Stacey, J.T., and Kramers, I. (1975) Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model. *Earth and Planetary Science Letters*, 26(2), 207-221.
- Stern, R.J., Moghadam, H.S., Pirouz, M., and Mooney, W. (2021) The geodynamic evolution of Iran. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 49, 9-36.
- Stöcklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229-1258.
- Stöcklin, J., and Nabavi, M.H. (1973) 1/2,500,000 sheet, tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (in Persian).
- Sun, S.S., and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42(1), 313-345.
- Sun, C., and Liang, Y. (2012) Distribution of REE between clinopyroxene and basaltic melt along a mantle adiabat: effects of major element composition, water, and temperature. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 163(5), 807-823.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews of Geophysics*, 33(2), 241-265.
- Temel, A., Gündoğdu, M.N., and Gourgaud, A. (1998) Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85(1-4), 327-

354.

- Thirlwall, M.F., Smith, T.E., Graham, A.M., Theodorou, N., Hollings, P., Davidson, J.P., and Arculus, R.J. (1994) High field strength element anomalies in arc lavas: source or process? *Journal of Petrology*, 35(3), 819-838.
- Thuy, N.T.B., Satir, M., Siebel, W., Vennemann, T., and Van Long, T. (2004) Geochemical and isotopic constraints on the petrogenesis of granitoids from the Dalat zone, southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 23(4), 467-482.
- Tosdal, R.M., Wooden, J.L., Kistler, R.W., Cluer, J.K., Price, J.G., Struhsacker, E.M., Hardyman, R.F., and Morris, C.L. (2000) Inheritance of Nevadan mineral belts from Neoproterozoic continental breakup. *Geology and Ore Deposits*, 451-466.
- Verdel, C.S. (2009) *Cenozoic Geology of Iran: An Integrated Study of Extensional Tectonics and Related Vulcanism*, 287p. Ph.D. Thesis, California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Verdel, C.S., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J., and Guest, B. (2011) A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. *Tectonics*, 30(3), 1-20.
- Verdel, C.S., Wernicke, B.P., Ramezani, J., Hassanzadeh, J., Renne, P.R., and Spell, T.L. (2007) Geology and thermochronology of Tertiary Cordilleran-style metamorphic core complexes in the Saghand region of central Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 119(7-8), 961-977.
- Viccaro, M., and Cristofolini, R. (2008) Nature of mantle heterogeneity and its role in the short-term geochemical and volcanological evolution of Mt. Etna (Italy). *Lithos*, 105(3-4), 272-288.
- Wang, Q., Xu, J.F., Jian, P., Bao, Z.W., Zhao, Z.H., Li, C.F., Xiong, X.L., and Ma, J.L. (2006) Petrogenesis of adakitic porphyries in an extensional tectonic setting, Dexing, South China: implications for the genesis of porphyry copper mineralization. *Journal of Petrology*, 47(1), 119-144.
- Wilson, M. (2007) *Igneous petrogenesis*, 466p. Chapman and Hall, London.
- Xu, J.F., and Castillo, P.R. (2004) Geochemical and Nd-Pb isotopic characteristics of the Tethyan asthenosphere: implications for the origin of the Indian Ocean mantle domain. *Tectonophysics*, 393(1-4), 9-27.
- Yanbo, C., and Jingwen, M. (2010) Age and geochemistry of granites in Gejiu area, Yunnan province, SW China: constraints on their petrogenesis and tectonic setting. *Lithos*, 120(3-4), 258-276.
- Yan, J., Chen, J.F., and Xu, X.S. (2008) Geochemistry of Cretaceous mafic rocks from the Lower Yangtze region, eastern China: characteristics and evolution of the lithospheric mantle. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33(3-4), 177-193.
- Yang, X.M., Lentz, D.R., Chi, G., and Thorne, K.G. (2008) Geochemical characteristics of gold-related granitoids in southwestern New Brunswick, Canada. *Lithos*, 104(1-4), 355-377.
- Yasami, N., Ghaderi, M., Madanipour, S., and Taghilou, B. (2017) Structural control on overprinting high-sulfidation epithermal on porphyry mineralization in the Chodarchay deposit, northwestern Iran. *Ore Geology Reviews*, 86, 212-224.
- Yasami, N., Ghaderi, M., and Alfonso Abella, M.P. (2018a) Sulfur isotope geochemistry of the Chodarchay Cu-Au deposit, Tarom, NW Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, 195(2), 101-113.
- Yasami, N., Ghaderi, M., Mokhtari, M.A.A., and Mousavi Motlagh, S.H. (2018b) Petrogenesis of the two phases of intrusive rocks at Chodarchay, NW Iran: using trace

and rare earth elements. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(20), 1-13.

- Zamanian, H., Rahmani, S.H., Jannessary, M.R., Zareisahameih, R., and Borna, B. (2016) Orogenesis study of the Cu-Au vein-type deposit in the Tarom-granitoid (North Zanzan) based on mineralogical, geochemical and fluid inclusion evidence. *Geosciences, Scientific Quarterly Journal*, 25, 255–282 (in Persian).
- Zamanian, H., Rahmani, S., Zareisahameih, R., Pazoki, A., and Yang, X.Y. (2020) Geochemical characteristics of igneous host rocks of Lubin-Zardeh Au-Cu deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 122, 103496.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Sadeghi, M., Lentz, D., Adelpour, M., and Pourkaseb, H. (2015) Rare earth element signatures of economic and sub-economic porphyry copper systems in Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (UDMA), Iran. *Ore Geology Reviews*, 70, 407-423.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J.G., Pourkaseb, H., Asadi, S., Saed, M., and Lentz, D.R. (2018) Metal endowment reflected in chemical composition of silicates and sulfides of mineralized porphyry copper systems, Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 223, 36-59.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J.G., Asadi, S., and Lentz, D. (2019) Hydrothermal fluid evolution in collisional Miocene porphyry copper deposits in Iran: Insights into factors controlling metal fertility. *Ore Geology Reviews*, 105, 183-200.
- Zhao, J.H., Zhou, M.F. (2007) Geochemistry of Neoproterozoic mafic intrusion in the Panzihua district (Sichuan Province, SW China). Implications For Subduction–Related metasomatism in the upper mantel. *Precambrian Research*, 152, 27-47.
- Zheng, Y.F. (2019) Subduction zone geochemistry. *Geoscience Frontiers*, 10(4), 1223-1254.
- Zindler, A., and Hart, S. (1986) Chemical geodynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 14, 493-571.

پیوست ۱. داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ کل از سنگ‌های گرانیتوئیدی مرتبط با کنسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون کم، سولفیداسیون متوسط، سولفیداسیون بالا و اکسید آهن-آپاتیت ماگمایی.

Appendix 1. Whole-rock geochemical data of granitoid rocks associated with low-sulfidation, medium-sulfidation, high-sulfidation, and magmatic iron oxide-apatite epithermal deposits.

No.	Ore formation district	References	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
1			53.20	1.04	18.27	9.18	0.17	3.97	7.81	3.68	1.73	0.35	0.86	100.22
2	Nikuyeh	Aghajani et al. (2020)	53.60	1.08	18.36	8.90	0.16	3.27	7.76	3.83	1.73	0.36	1.96	100.95
3			56.80	0.93	17.39	7.93	0.16	3.77	6.99	3.72	2.03	0.26	0.98	100.90
4			55.30	1.00	17.88	8.44	0.18	3.87	7.17	4.05	2.12	0.32	0.60	100.86
5	Jizvan	Ghasemi Siani et al. (2020)	63.24	0.24	17.45	4.00	0.04	1.12	3.45	4.15	4.98	0.20	1.13	98.87
6			62.18	0.62	18.21	5.15	0.12	0.90	4.12	3.32	4.54	0.34	0.50	99.50
7			65.75	0.67	16.25	2.98	0.05	0.80	3.32	3.78	3.96	0.52	1.92	98.08
8	Zajkan	Seyedqaraini et al. (2019)	55.77	0.98	16.65	8.45	0.14	3.72	7.22	3.77	2.38	0.26	0.53	99.87
9			56.53	0.90	16.46	7.76	0.13	3.87	6.85	3.61	2.33	0.25	1.14	99.83
10			62.94	0.67	15.44	5.26	0.05	2.10	2.96	4.06	4.89	0.16	1.41	99.92
11			54.55	1.05	16.90	8.15	0.10	4.01	7.01	4.26	2.30	0.31	1.25	99.89
12			56.41	1.03	16.72	7.75	0.13	3.55	6.37	3.86	2.94	0.28	0.91	99.95
13			57.58		16.69	6.66	0.22	2.43	5.09	3.58	5.14	0.33	1.27	99.93
14			57.69	0.92	16.75	6.61	0.21	2.34	5.09	3.57	5.12	0.31	1.32	99.93
15			56.16	0.95	16.32	8.17	0.15	3.66	3.99	4.20	4.82	0.26	1.24	99.92
16			66.33	0.53	15.12	4.17	0.08	1.67	2.34	3.96	4.29	0.15	1.27	99.91
17			55.96	1.39	14.71	10.27	0.27	3.32	6.95	3.37	2.20	0.17	1.35	99.96
18			58.00	1.31	14.48	9.93	0.27	2.69	5.71	3.40	2.74	0.14	1.27	99.94
19			61.43	0.98	14.76	7.45	0.17	2.45	5.30	3.58	2.96	0.11	0.77	99.96
20			56.63	1.13	16.20	7.68	0.15	2.62	8.00	4.54	2.08	0.18	0.68	99.89
21			65.88	0.77	14.71	5.27	0.10	1.34	2.68	4.50	3.82	0.05	0.85	99.97
22			55.82	1.16	15.98	8.57	0.22	3.29	7.23	4.28	2.14	0.10	1.17	99.96
23			64.19	0.85	14.88	5.39	0.11	1.72	3.72	4.15	3.68	0.07	1.16	99.92
24	Chargar	Mousavi Motlagh et al. (2019)	63.87	0.62	16.63	2.37	0.05	1.52	5.24	5.84	2.63	0.05	1.22	100.04
25			58.89	0.96	16.12	6.60	0.17	3.11	5.04	4.59	2.76	0.05	1.62	99.91
26			58.11	1.10	15.72	5.40	0.13	3.27	8.12	4.06	2.49	0.22	1.32	99.94
27			64.36	0.84	15.06	5.37	0.22	1.50	2.88	3.68	5.01	0.13	0.88	99.93
28			54.96	1.25	15.68	9.19	0.18	3.91	8.21	3.78	2.05	0.22	0.84	100.27
29			55.13	1.09	15.54	8.52	0.15	3.75	7.14	3.57	2.61	0.66	0.73	98.89
30			62.91	0.80	14.09	1.52	0.14	0.46	9.30	5.41	3.19	0.13	1.92	99.87
31			56.60	0.89	15.58	8.82	0.17	2.99	6.77	3.93	3.16	0.48	0.52	99.91
32			61.80	0.91	15.01	6.54	0.11	2.59	5.22	3.18	3.57	0.42	0.53	99.88
33			54.73	1.00	15.55	7.21	0.33	3.93	6.90	4.40	3.21	0.56	1.06	98.88
34			58.24	1.33	15.21	8.56	0.19	3.11	4.79	3.96	2.53	0.27	0.85	99.89
35			64.58	0.75	15.19	5.06	0.13	2.12	2.44	4.05	3.45	0.42	0.87	99.06
36					70.00	0.40	14.00	3.00	0.12	0.80	2.00	3.00	5.30	0.20
37			66.00	0.40	16.00	4.00	0.07	0.90	2.80	2.90	5.90	0.20	0.90	99.60
38			67.00	0.40	16.00	3.00	0.08	0.90	2.70	2.90	5.70	0.10	0.40	99.50
39			60.00	0.90	17.00	4.00	0.16	2.50	6.40	3.80	4.80	0.10	1.00	100.90
40			57.00	0.90	17.00	5.00	0.14	3.50	6.20	3.10	4.30	0.40	0.40	97.50
41			58.00	1.00	16.00	8.00	0.12	3.20	5.70	3.10	4.50	0.30	0.50	100.50
42			58.00	0.90	17.00	7.00	0.11	3.20	6.10	3.20	4.50	0.40	0.80	101.00
43			55.00	1.00	17.00	8.00	0.14	3.70	6.60	3.10	4.10	0.30	0.50	100.50
44	Lubin-Zardeh	Rahmani et al. (2019)	54.00	1.00	17.00	9.00	0.18	4.20	7.00	3.00	4.00	0.40	0.80	100.90
45			69.00	0.40	15.00	3.00	0.11	0.90	2.20	3.70	5.10	0.10	0.60	100.50
46			60.00	0.90	17.00	4.00	0.15	2.50	6.30	3.10	4.90	0.10	0.50	99.20
47			56.00	0.80	17.00	8.00	0.14	3.40	6.20	2.60	4.50	0.30	0.30	99.40
48			50.80	0.80	17.00	7.00	0.13	2.90	5.50	2.60	4.90	0.30	0.50	99.50
49			57.00	0.90	17.00	7.00	0.12	3.30	6.10	2.50	4.80	0.30	0.50	99.40
50			58.00	0.90	16.00	8.00	0.10	3.00	5.60	2.60	4.70	0.30	0.50	99.60
51			63.00	0.50	16.00	5.00	0.12	1.90	3.70	2.90	5.10	0.10	0.60	99.40
52			64.00	0.50	16.00	5.00	0.12	1.70	3.80	3.00	5.50	0.20	0.10	99.40
53			67.00	0.50	16.00	4.00	0.07	0.90	2.80	3.40	5.80	0.20	0.40	104.00
54			68.00	0.40	16.00	3.00	0.07	0.90	2.80	3.50	5.60	0.10	0.50	104.00

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Rb	Sr	Co	Y	Zr	Nb	Ba	Ta	Th	U	Hf	K (wt.%)	Ti (wt.%)
1	35.20	613.80	26.30	24.30	147.00	8.30	512.00	0.40	2.80	0.80	3.80	1.43	0.62
2	35.80	617.20	22.30	24.10	144.30	8.40	520.00	0.50	3.00	0.80	4.00	1.43	0.64
3	47.00	464.10	21.20	22.20	140.00	8.80	495.00	0.60	5.00	1.50	4.00	1.68	0.55
4	62.20	545.70	23.00	24.20	143.60	7.80	534.00	0.60	3.90	1.30	3.90	1.75	0.59
5													0.14
6													0.37
7													0.40
8	57.00	508.30	25.20	17.50	127.00	20.10	490.00	1.15	12.03	3.20	3.67	1.97	0.58
9	51.00	499.00	23.90	17.10	72.00	23.60	497.00	1.32	14.68	3.70	2.55	1.93	0.53
10	164.00	387.40	9.60	14.80	56.00	18.10	670.00	0.83	19.58	3.50	2.44	4.05	0.40
11	42.00	487.70	19.80	17.40	46.00	20.10	447.00	1.02	10.53	2.38	1.76	1.90	0.62
12	68.00	460.90	20.70	17.90	36.00	22.30	545.00	1.21	11.14	1.80	1.93	2.44	0.61
13	140.00	349.20	14.70	17.70	48.00	27.50	682.00	1.37	10.46	2.20	2.32	4.26	0.56
14	147.00	371.10	13.90	18.30	47.00	29.60	696.00	1.52	10.78	2.20	2.27	4.25	0.55
15	121.00	412.60	19.50	17.10	41.00	24.50	692.00	1.32	8.97	1.90	2.00	4.00	0.56
16	109.00	253.60	7.10	15.60	40.00	18.00	860.00	1.19	11.12	2.60	1.91	3.56	0.31
17	20.00	337.70	23.70	32.90	57.00	6.70	700.00		3.98		1.52		0.83
18	32.00	456.20	19.90	35.60	45.00	7.40	745.00		4.40		1.22		0.78
19	44.00	292.50	17.20	33.30	40.00	7.30	738.00		5.53		1.31		0.58
20	25.00	488.90	15.40	31.40	43.00	8.30	618.00		4.08		1.16		0.67
21	48.00	296.20	9.90	33.20	28.00	8.30	1029.00		6.70		0.85		0.46
22	28.00	478.00	21.70	28.00	27.00	7.20	658.00		3.93		0.73		0.69
23	44.00	368.40	11.40	33.40	46.00	8.00	1059.00		7.11		0.89		0.50
24	1.00	547.50	4.80	14.00	57.00	8.30	143.00		4.39		1.52		0.37
25	29.00	493.40	14.20	26.50	15.00	8.00	864.00		4.33		0.73		0.57
26	4.00	597.80	11.40	39.00	138.00	8.70	262.00		4.96		3.08		0.65
27	93.00	233.90	11.40	33.30	18.00	8.60	937.00		8.12		0.94		0.50
28	31.00	394.80	24.00	29.90	103.00	8.40	537.00		4.34		2.46		0.74
29	28.00	437.70	24.00	32.30	76.00	6.30	605.00		4.25		1.97		0.65
30	1.00	142.10	1.90	24.30	54.00	8.10	8.00		5.30		1.77		0.47
31	78.00	481.40	22.10	27.60	40.00	9.10	525.00		4.54		1.41		0.53
32	47.00	288.90	17.90	33.20	36.00	9.40	715.00		6.22		1.34		0.54
33	14.00	711.50	19.30	27.90	64.00	9.20	1.00		4.15		1.96		0.59
34	25.00	292.70	20.10	44.60	138.00	11.20	7.29		4.84		3.40		0.79
35	26.00	292.80	12.00	23.70	74.00	6.30	349.00		3.03		1.84		0.44
36	170.00	247.00	5.50	24.90	198.00	15.50	415.00	1.30	20.20	3.70	1.50	4.39	0.23
37	187.00	361.00	5.80	24.70	241.00	18.00	792.00	1.40	24.60	3.60	0.80	4.89	0.23
38	193.00	328.00	5.70	23.50	232.00	16.30	624.00	1.30	20.40	4.20	0.50	4.73	0.23
39	143.00	701.00	12.40	31.70	231.00	21.00	581.00	1.80	14.70	3.10	8.00	3.98	0.53
40	148.00	471.00	21.10	25.20	281.00	22.00	561.00	1.20	14.70	4.70	7.10	3.56	0.53
41	175.00	441.00	17.90	26.80	281.00	25.00	541.00	1.80	19.80	6.50	9.00	3.73	0.59
42	154.00	471.00	14.80	25.00	261.00	23.00	561.00	1.40	15.60	4.10	8.00	3.73	0.53
43	133.00	561.00	21.80	24.20	151.00	19.10	681.00	0.90	7.20	2.30	4.80	3.40	0.59
44	125.00	551.00	15.00	23.20	121.00	12.00	811.00	0.60	8.00	2.20	6.00	3.32	0.59
45	168.00	301.00	4.80	22.40	301.00	16.00	581.00	2.00	17.40	3.90	5.00	4.23	0.23
46	125.00	734.00	11.20	29.90	227.00	22.60	111.40	1.70	13.30	1.90	1.00	4.06	0.53
47	160.00	524.00	20.80	26.80	242.00	18.80	653.00	1.40	16.40	4.60	1.10	3.73	0.47
48	178.00	440.00	16.30	26.40	232.00	21.20	560.00	1.50	17.70	4.30	0.60	4.06	0.47
49	167.00	468.00	15.70	28.50	267.00	20.70	606.00	1.60	18.70	3.70	1.30	3.98	0.53
50	188.00	457.00	19.70	30.30	284.00	24.10	553.00	1.90	21.40	5.60	0.90	3.90	0.53
51	135.00	443.00	8.50	22.50	211.00	15.80	693.00	1.20	16.30	3.20	0.40	4.23	0.29
52	167.00	483.00	8.30	21.60	244.00	17.30	775.00	1.40	19.70	3.40	0.60	4.56	0.29
53	171.00	371.00	5.00	23.30	251.00	21.00	700.00	1.50	25.60	5.00	7.00	4.81	0.29
54	177.00	330.00	5.20	21.80	250.00	17.00	761.00	1.00	18.10	4.30	8.00	4.64	0.23

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Rb	Sr	Co	Y	Zr	Nb	Ba	Ta	Th	U	Hf	K (wt.%)	Ti (wt.%)
1	35.20	613.80	26.30	24.30	147.00	8.30	512.00	0.40	2.80	0.80	3.80	1.43	0.62
2	35.80	617.20	22.30	24.10	144.30	8.40	520.00	0.50	3.00	0.80	4.00	1.43	0.64
3	47.00	464.10	21.20	22.20	140.00	8.80	495.00	0.60	5.00	1.50	4.00	1.68	0.55
4	62.20	545.70	23.00	24.20	143.60	7.80	534.00	0.60	3.90	1.30	3.90	1.75	0.59
5													0.14
6													0.37
7													0.40
8	57.00	508.30	25.20	17.50	127.00	20.10	490.00	1.15	12.03	3.20	3.67	1.97	0.58
9	51.00	499.00	23.90	17.10	72.00	23.60	497.00	1.32	14.68	3.70	2.55	1.93	0.53
10	164.00	387.40	9.60	14.80	56.00	18.10	670.00	0.83	19.58	3.50	2.44	4.05	0.40
11	42.00	487.70	19.80	17.40	46.00	20.10	447.00	1.02	10.53	2.38	1.76	1.90	0.62
12	68.00	460.90	20.70	17.90	36.00	22.30	545.00	1.21	11.14	1.80	1.93	2.44	0.61
13	140.00	349.20	14.70	17.70	48.00	27.50	682.00	1.37	10.46	2.20	2.32	4.26	0.56
14	147.00	371.10	13.90	18.30	47.00	29.60	696.00	1.52	10.78	2.20	2.27	4.25	0.55
15	121.00	412.60	19.50	17.10	41.00	24.50	692.00	1.32	8.97	1.90	2.00	4.00	0.56
16	109.00	253.60	7.10	15.60	40.00	18.00	860.00	1.19	11.12	2.60	1.91	3.56	0.31
17	20.00	337.70	23.70	32.90	57.00	6.70	700.00		3.98		1.52		0.83
18	32.00	456.20	19.90	35.60	45.00	7.40	745.00		4.40		1.22		0.78
19	44.00	292.50	17.20	33.30	40.00	7.30	738.00		5.53		1.31		0.58
20	25.00	488.90	15.40	31.40	43.00	8.30	618.00		4.08		1.16		0.67
21	48.00	296.20	9.90	33.20	28.00	8.30	1029.00		6.70		0.85		0.46
22	28.00	478.00	21.70	28.00	27.00	7.20	658.00		3.93		0.73		0.69
23	44.00	368.40	11.40	33.40	46.00	8.00	1059.00		7.11		0.89		0.50
24	1.00	547.50	4.80	14.00	57.00	8.30	143.00		4.39		1.52		0.37
25	29.00	493.40	14.20	26.50	15.00	8.00	864.00		4.33		0.73		0.57
26	4.00	597.80	11.40	39.00	138.00	8.70	262.00		4.96		3.08		0.65
27	93.00	233.90	11.40	33.30	18.00	8.60	937.00		8.12		0.94		0.50
28	31.00	394.80	24.00	29.90	103.00	8.40	537.00		4.34		2.46		0.74
29	28.00	437.70	24.00	32.30	76.00	6.30	605.00		4.25		1.97		0.65
30	1.00	142.10	1.90	24.30	54.00	8.10	8.00		5.30		1.77		0.47
31	78.00	481.40	22.10	27.60	40.00	9.10	525.00		4.54		1.41		0.53
32	47.00	288.90	17.90	33.20	36.00	9.40	715.00		6.22		1.34		0.54
33	14.00	711.50	19.30	27.90	64.00	9.20	1.00		4.15		1.96		0.59
34	25.00	292.70	20.10	44.60	138.00	11.20	7.29		4.84		3.40		0.79
35	26.00	292.80	12.00	23.70	74.00	6.30	349.00		3.03		1.84		0.44
36	170.00	247.00	5.50	24.90	198.00	15.50	415.00	1.30	20.20	3.70	1.50	4.39	0.23
37	187.00	361.00	5.80	24.70	241.00	18.00	792.00	1.40	24.60	3.60	0.80	4.89	0.23
38	193.00	328.00	5.70	23.50	232.00	16.30	624.00	1.30	20.40	4.20	0.50	4.73	0.23
39	143.00	701.00	12.40	31.70	231.00	21.00	581.00	1.80	14.70	3.10	8.00	3.98	0.53
40	148.00	471.00	21.10	25.20	281.00	22.00	561.00	1.20	14.70	4.70	7.10	3.56	0.53
41	175.00	441.00	17.90	26.80	281.00	25.00	541.00	1.80	19.80	6.50	9.00	3.73	0.59
42	154.00	471.00	14.80	25.00	261.00	23.00	561.00	1.40	15.60	4.10	8.00	3.73	0.53
43	133.00	561.00	21.80	24.20	151.00	19.10	681.00	0.90	7.20	2.30	4.80	3.40	0.59
44	125.00	551.00	15.00	23.20	121.00	12.00	811.00	0.60	8.00	2.20	6.00	3.32	0.59
45	168.00	301.00	4.80	22.40	301.00	16.00	581.00	2.00	17.40	3.90	5.00	4.23	0.23
46	125.00	734.00	11.20	29.90	227.00	22.60	111.40	1.70	13.30	1.90	1.00	4.06	0.53
47	160.00	524.00	20.80	26.80	242.00	18.80	653.00	1.40	16.40	4.60	1.10	3.73	0.47
48	178.00	440.00	16.30	26.40	232.00	21.20	560.00	1.50	17.70	4.30	0.60	4.06	0.47
49	167.00	468.00	15.70	28.50	267.00	20.70	606.00	1.60	18.70	3.70	1.30	3.98	0.53
50	188.00	457.00	19.70	30.30	284.00	24.10	553.00	1.90	21.40	5.60	0.90	3.90	0.53
51	135.00	443.00	8.50	22.50	211.00	15.80	693.00	1.20	16.30	3.20	0.40	4.23	0.29
52	167.00	483.00	8.30	21.60	244.00	17.30	775.00	1.40	19.70	3.40	0.60	4.56	0.29
53	171.00	371.00	5.00	23.30	251.00	21.00	700.00	1.50	25.60	5.00	7.00	4.81	0.29
54	177.00	330.00	5.20	21.80	250.00	17.00	761.00	1.00	18.10	4.30	8.00	4.64	0.23

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
1	22.90	48.10	6.02	25.20	5.32	1.52	5.02	0.75	4.28	0.85	2.41	0.37	2.22	0.33
2	22.80	48.30	6.12	25.60	5.30	1.58	5.06	0.75	4.35	0.88	2.41	0.36	2.18	0.33
3	20.80	41.80	5.06	19.90	4.27	1.18	4.27	0.66	4.75	0.80	2.30	0.36	2.11	0.33
4	23.10	46.70	5.76	23.10	5.05	1.39	4.95	0.74	4.38	0.85	2.46	0.36	2.33	0.35
5														
6														
7														
8	23.00	49.00	7.60	30.50	6.37	1.75	5.62	0.91	5.39		2.89	0.46	2.20	0.42
9	24.00	47.00	8.39	32.60	6.21	1.73	5.53	0.90	5.25		2.94	0.45	2.10	0.40
10	24.00	44.00	6.36	23.00	4.27	1.12	3.83	0.67	4.13		2.42	0.39	1.80	0.36
11	23.00	45.00	7.54	30.30	6.19	1.72	5.78	0.91	5.29		2.91	0.44	2.20	0.39
12	27.00	51.00	8.35	33.40	6.60	1.75	6.01	0.93	5.41		2.87	0.47	2.10	0.38
13	26.00	50.00	7.75	29.20	5.58	1.56	5.21	0.84	5.27		2.98	0.47	2.10	0.40
14	27.00	51.00	7.71	29.10	5.82	1.53	5.28	0.90	5.31		3.03	0.46	2.10	0.42
15	24.00	41.00	6.71	25.90	5.16	1.41	4.89	0.83	5.05		2.77	0.43	2.10	0.35
16	21.00	35.00	5.13	18.80	3.58	1.13	3.30	0.65	4.15		2.53	0.42	1.80	0.40
17		62.00				1.14								4.00
18		66.00				1.41								4.10
19		67.00				1.05								3.70
20		59.00				1.15								3.50
21		44.00				0.90								3.20
22		47.00				1.04								3.30
23		79.00				1.04								3.40
24		44.00				0.67								1.30
25		64.00				1.14								2.90
26		82.00				1.49								4.20
27		74.00				1.03								3.60
28		62.00				1.23								3.60
29		63.00				1.32								3.80
30		55.00				0.81								2.40
31		54.00				1.12								3.30
32		66.00				1.09								3.80
33		56.00				2.08								3.40
34		88.00				1.80								4.90
35		44.00				1.07								2.60
36	24.70	58.50	5.70	20.80	4.30	0.80	4.20	0.70	4.20	0.90	2.50	0.40	2.90	0.40
37	36.00	67.80	7.50	26.40	5.00	0.90	4.60	0.70	4.10	0.90	2.40	0.40	2.80	0.30
38	29.30	56.50	6.40	22.40	4.50	0.90	4.20	0.70	3.90	0.80	2.30	0.40	2.50	0.40
39	20.60	43.20	5.90	23.80	5.90	1.40	6.20	1.00	5.70	1.30	3.60	0.60	4.00	0.60
40	27.30	56.20	6.80	26.80	5.70	1.20	5.60	0.80	4.60	0.90	2.80	0.40	2.60	0.40
41	36.60	73.10	8.60	31.60	6.30	1.10	6.40	0.90	5.20	1.00	2.80	0.50	2.90	0.50
42	32.00	62.30	7.60	27.60	5.40	1.20	5.90	0.90	4.60	1.00	2.80	0.40	2.80	0.40
43	26.70	53.50	6.60	26.10	5.30	1.20	5.70	0.90	4.30	0.90	2.60	0.40	2.60	0.30
44	25.40	49.90	6.10	24.70	5.30	1.40	5.70	0.80	4.50	0.90	2.50	0.40	2.40	0.40
45	28.60	56.30	6.50	22.50	4.20	0.80	4.30	0.70	3.70	0.80	2.40	0.40	2.70	0.50
46	17.60	37.60	4.90	20.20	5.20	1.30	5.40	0.90	5.30	1.20	3.30	0.60	3.50	0.50
47	26.80	54.40	6.60	25.80	5.70	1.30	5.50	0.90	5.00	1.10	2.80	0.50	2.80	0.40
48	30.80	63.20	7.30	27.50	5.70	1.20	5.40	0.80	4.70	1.00	2.70	0.40	2.70	0.40
49	34.20	68.40	8.10	30.10	6.20	1.30	5.90	0.90	5.10	1.10	2.90	0.50	3.00	0.40
50	36.50	72.90	8.30	31.40	6.40	1.20	6.00	0.90	5.30	1.10	3.00	0.50	3.00	0.40
51	20.80	44.50	5.40	20.80	4.40	1.10	4.20	0.70	3.80	0.80	2.20	0.40	2.40	0.40
52	31.10	57.30	6.60	24.20	4.70	1.00	4.30	0.70	3.80	0.80	2.10	0.30	2.30	0.30
53	38.10	68.90	7.50	26.20	5.00	0.90	4.80	0.70	4.20	0.80	2.60	0.40	3.10	0.40
54	30.40	56.60	6.50	23.10	4.50	1.00	4.50	0.70	3.70	0.80	2.40	0.40	2.70	0.40

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Σ REE	Σ LREE	Σ HREE	Σ LREE/ Σ HREE	(La/Yb) _n	(Tb/Yb) _n	(Gd/Yb) _n	(La/Sm) _n	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Sm/Yb	La/Sm	La/Yb	Sr/Y	Nd/Sr
1	149.59	109.06	40.53	2.69	7.4	1.54	1.87	2.78	0.9	2.28	2.39	4.3	10.32	25.26	0.04
2	150.12	109.7	40.42	2.71	7.5	1.56	1.92	2.78	0.93	2.27	2.43	4.3	10.46	25.61	0.04
3	130.79	93.01	37.78	2.46	7.07	1.42	1.67	3.14	0.84	2.63	2.02	4.87	9.86	20.91	0.04
4	145.72	105.1	40.62	2.58	7.11	1.44	1.76	2.95	0.85	2.35	2.16	4.57	9.91	22.55	0.04
5															
6															
7															
8	153.61	118.22	35.3	3.34	7.5	1.88	2.11	2.33	0.89	2.24	2.89	3.61	10.45	29.05	0.06
9	154.6	119.93	34.67	3.45	8.2	1.95	2.18	2.49	0.9	2.34	2.95	3.86	11.43	29.18	0.06
10	131.15	102.75	28.4	3.61	9.56	1.69	1.76	3.63	0.85	2.5	2.37	5.62	13.33	26.18	0.05
11	149.07	113.75	35.32	3.22	7.5	1.88	2.17	2.4	0.88	2.44	2.81	3.72	10.45	28.03	0.06
12	164.17	128.1	36.07	3.55	9.22	2.01	2.37	2.64	0.85	2.15	3.14	4.09	12.86	25.75	0.07
13	155.06	120.09	34.97	3.43	8.88	1.82	2.05	3.01	0.88	2.2	2.65	4.66	12.38	19.73	0.08
14	157.96	122.16	35.8	3.41	9.22	1.95	2.08	2.99	0.84	2.15	2.77	4.64	12.86	20.28	0.07
15	137.7	104.18	33.52	3.1	8.2	1.8	1.93	3	0.86	2.68	2.45	4.65	11.43	24.13	0.06
16	113.49	84.64	28.85	2.93	8.37	1.64	1.52	3.79	1.01	3.14	1.98	5.87	11.67	16.26	0.07
17									0.62	1.77				10.26	
18									0.84	1.66				12.81	
19									0.59	1.64				8.78	
20									0.67	1.86				15.57	
21									0.49	2.5				8.92	
22									0.58	2.34				17.07	
23									0.52	1.39				11.03	
24									0.33	2.5				39.11	
25									0.82	2.34				18.62	
26									0.93	2.5				15.33	
27									0.75	1.71				7.02	
28									0.88	1.96				13.2	
29									0.84	0.13				13.55	
30									0.57	1.48				5.85	
31									0.57	1.77				17.44	
32									0.58	1.74				8.7	
33									0.96	1.89				25.7	
34									0.9	1.89				6.56	
35									0.59	2.34				12.35	
36	155.9	114.8	41.1	2.79	6.11	1.1	1.2	3.71	0.58	1.88	1.48	5.74	8.52	9.92	0.08
37	184.5	143.6	40.9	3.51	9.22	1.14	1.36	4.65	0.57	1.62	1.78	7.2	12.86	14.62	0.07
38	158.7	120	38.7	3.1	8.41	1.27	1.39	4.2	0.63	1.94	1.8	6.51	11.72	13.96	0.06
39	155.5	100.8	54.7	1.84	3.69	1.14	1.28	2.25	0.71	2.54	1.47	3.49	5.15	22.11	0.03
40	167.3	124	43.3	2.86	7.53	1.4	1.78	3.09	0.65	1.95	2.19	4.79	10.5	18.69	0.05
41	204.3	157.3	47	3.34	9.05	1.41	1.83	3.75	0.53	1.5	2.17	5.81	12.62	16.46	0.07
42	179.9	136.1	43.8	3.1	8.2	1.46	1.74	3.83	0.65	1.76	1.92	5.93	11.43	18.84	0.05
43	161.3	119.4	41.9	2.84	7.37	1.57	1.81	3.25	0.67	2.05	2.03	5.04	10.27	23.18	0.04
44	153.6	112.8	40.8	2.76	7.59	1.52	1.96	3.09	0.78	2.2	2.2	4.79	10.58	23.75	0.04
45	156.8	118.9	37.9	3.13	7.6	1.18	1.32	4.4	0.58	1.95	1.55	6.81	10.59	13.44	0.07
46	137.4	86.8	50.6	1.71	3.61	1.17	1.28	2.19	0.75	2.92	1.48	3.38	5.03	24.55	0.02
47	166.4	120.6	45.8	2.63	6.87	1.46	1.62	3.04	0.71	2.02	2.03	4.7	9.57	19.55	0.04
48	180.2	135.7	44.5	3.04	8.18	1.35	1.65	3.49	0.66	1.74	2.11	5.4	11.41	16.67	0.06
49	196.6	148.3	48.3	3.07	8.18	1.36	1.63	3.56	0.66	1.6	2.06	5.52	11.4	16.42	0.06
50	207.2	156.7	50.5	3.1	8.73	1.36	1.65	3.68	0.59	1.5	2.13	5.7	12.17	15.08	0.06
51	134.4	97	37.4	2.59	6.22	1.33	1.45	3.05	0.78	2.47	1.83	4.73	8.67	19.69	0.04
52	158.13	124.9	33.23	3.75	9.7	1.38	1.55	4.27	0.68	1.91	2.04	6.62	13.52	22.36	0.05
53	186.9	113.3	40.3	2.81	8.82	1.03	1.28	4.92	0.56	1.59	1.61	7.62	12.29	15.92	0.07
54	159.5	96.2	37.4	2.57	8.08	1.18	1.38	4.36	0.68	1.94	1.66	6.76	11.26	15.14	0.06

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Nb/La	Rb/Y	Nb/Y	Rb/Yb	Th/Yb	Ta/Yb	Zr/Y	Nb/U	Ta/U	Rb/Sr	Ba/Rb	Nb/La	$\epsilon_{\text{O}}\text{Zr/Al}$	Ba/Nb	Ba/Zr
1	0.36	1.44	0.34	15.85	1.26	0.18	6.04	10.37	0.5	0.05	14.54	0.36	8.04	61.68	3.48
2	0.37	1.48	0.34	16.42	1.37	0.22	5.98	10.5	0.62	0.05	14.52	0.36	7.85	61.9	3.6
3	0.42	2.11	0.39	22.27	2.36	0.28	6.3	5.86	0.4	0.1	10.53	0.42	8.05	56.25	3.53
4	0.34	2.57	0.32	26.69	1.67	0.25	5.93	6	0.46	0.11	8.58	0.33	8.03	68.46	3.71
5															
6															
7															
8	0.87	3.25	1.14	25.9	5.46	0.52	7.25	6.28	0.35	0.11	8.59	0.87	7.62	24.37	3.85
9	0.98	2.98	1.38	24.28	6.99	0.62	4.21	6.37	0.35	0.1	9.74	0.98	4.37	21.05	6.9
10	0.75	11.08	1.22	91.11	10.87	0.46	3.78	5.17	0.23	0.42	4.08	0.75	3.62	37.01	11.96
11	0.87	2.41	1.15	19.09	4.78	0.46	2.64	8.44	0.42	0.08	10.64	0.87	2.72	22.23	9.7
12	0.83	3.79	1.24	32.38	5.3	0.57	2.01	12.38	0.67	0.14	8.01	0.82	2.15	24.43	15.13
13	1.06	7.9	1.55	66.66	4.98	0.65	2.71	12.5	0.62	0.4	4.87	1.05	2.87	24.8	14.2
14	1.1	8.03	1.61	70	5.13	0.72	2.56	13.45	0.62	0.39	4.73	1.09	2.8	23.51	14.8
15	1.2	7.07	1.43	57.61	4.27	0.62	2.39	12.89	0.69	0.29	5.71	1.02	2.51	28.24	16.87
16	0.86	6.98	1.15	60.55	6.17	0.66	2.56	6.92	0.45	0.42	7.88	0.85	2.64	47.77	21.5
17		0.6	0.2	5	0.99		1.73			0.05	35		3.87	104.47	12.28
18		0.89	0.2	7.8	1.07		1.26			0.07	23.38		3.1	100.67	16.55
19		1.32	0.21	11.89	1.49		1.2			0.15	16.77		2.71	101.09	18.45
20		0.79	0.26	7.14	1.16		1.36			0.05	24.72		2.65	74.45	14.37
21		1.44	0.25	15	2.09		0.84			0.16	21.43		1.9	123.97	36.75
22		1	0.25	8.48	1.19		0.96			0.05	23.5		1.68	91.38	24.37
23		1.31	0.23	12.94	2.09		1.37			0.11	24.06		3.09	132.37	23.02
24		0.07	0.59	0.76	3.37		4.07				143		3.42	17.22	2.5
25		1.09	0.3	10	1.49		0.56			0.05	29.79		0.93	108	57.6
26		0.1	0.22	0.95	1.18		3.53				65.5		8.77	30.11	1.89
27		2.79	0.25	25.83	2.25		0.54			0.39	10.07		1.19	108.95	52.05
28		1.03	0.28	8.61	1.2		3.44			0.07	17.32		6.56	63.92	5.21
29		0.86	0.19	7.36	1.11		2.35			0.06	21.6		4.89	96.03	7.96
30		0.04	0.33	0.41	2.2		2.22				8		3.83	0.98	0.14
31		2.82	0.32	23.63	1.37		1.44			0.16	6.73		2.56	57.69	13.12
32		1.41	0.28	12.36	1.63		1.08			0.16	15.21		2.39	76.06	19.86
33		0.5	0.32	4.11	1.22		2.29			0.01	0.07		4.11	0.1	0.01
34		0.56	0.25	5.1	0.98		3.09			0.08	0.29		9.07	0.65	0.05
35		1.09	0.26	10	1.16		3.12			0.08	13.42		4.87	55.39	4.71
36	0.63	6.82	0.62	58.62	6.96	0.44	7.95	4.1	0.35	0.68	2.44	0.62	14.14	26.77	2.08
37	0.5	7.57	0.72	66.78	8.78	0.5	9.75	5	0.38	0.51	4.23	0.5	15.06	44	3.28
38	0.56	8.21	0.69	77.2	8.16	0.52	9.87	3.88	0.3	0.58	3.33	0.55	14.5	38.28	2.68
39	1.02	4.51	0.66	35.75	3.67	0.45	7.28	6.77	0.58	0.2	4.06	1.01	13.58	27.66	2.51
40	0.81	5.87	0.87	56.92	5.65	0.46	11.15	4.68	0.25	0.31	3.79	0.8	16.52	25.5	1.99
41	0.68	6.52	0.93	60.34	6.82	0.62	10.48	3.84	0.27	0.39	3.09	0.68	17.56	21.64	1.92
42	0.72	6.16	0.92	55	5.57	0.5	10.44	5.6	0.34	0.32	3.64	0.71	15.35	24.39	2.14
43	0.72	5.49	0.78	51.15	2.76	0.34	6.23	8.3	0.39	0.23	5.12	0.71	8.88	35.65	4.5
44	0.47	5.48	0.51	52.08	3.33	0.25	5.21	5.45	0.27	0.22	6.48	0.47	7.11	67.58	6.7
45	0.56	7.5	0.71	62.22	6.44	0.74	13.43	4.1	0.51	0.55	3.45	0.55	20.06	36.31	1.93
46	1.28	4.18	0.75	35.17	3.8	0.48	7.59	11.89	0.89	0.17	0.89	1.28	13.13	4.92	0.49
47	0.7	5.97	0.7	57.14	5.85	0.5	9.02	4.08	0.3	0.3	4.08	0.7	14.23	34.73	2.69
48	0.69	6.74	0.8	65.92	6.55	0.55	8.78	4.93	0.34	0.4	3.14	0.68	13.64	26.41	2.41
49	0.61	5.85	0.72	55.66	6.23	0.53	9.36	5.59	0.43	0.35	3.62	0.6	15.7	29.27	2.26
50	0.66	6.2	0.79	62.66	7.13	0.63	9.37	4.3	0.33	0.41	2.94	0.66	17.75	22.94	1.94
51	0.76	6	0.7	56.22	6.79	0.5	9.37	4.93	0.37	0.3	5.13	0.75	13.18	43.86	3.28
52	0.56	7.73	0.8	72.6	8.56	0.6	11.29	5.08	0.41	0.34	4.64	0.55	15.25	44.79	3.17
53	0.55	7.33	0.9	55.16	8.25	0.48	10.77	4.2	0.3	0.46	4.09	0.55	15.68	33.33	2.78
54	0.56	8.11	0.77	65.55	6.7	0.37	11.46	3.95	0.23	0.53	4.29	0.55	15.625	44.76	3.04

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Ore formation district	References	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
55	Chormalu	Ghasemi Siani et al. (2020)	56.80	0.95	15.86	8.37	1.00	2.64	5.61	2.49	5.69	0.51	0.80	100.72
56			54.20	1.00	16.60	8.40	0.20	2.70	7.60	2.90	5.10	0.50	0.40	99.60
57			65.90	0.80	16.70	3.90	0.50	0.30	0.80	2.90	6.80	0.20	1.50	100.30
58			52.30	0.90	15.70	10.40	0.80	3.80	8.20	2.20	3.90	0.50	1.80	100.50
59			54.20	1.00	15.80	10.00	0.40	3.20	6.90	2.60	4.80	0.50	0.50	99.90
60	53.60	1.00	17.80	6.30	0.20	2.30	9.10	3.00	4.70	0.60	0.90	99.50		
61	Shah-Ali-Beiglou	Mikaeili et al. (2018)	66.12	0.56	13.38	3.82	0.07	3.30	5.60	3.28	4.79	0.17	1.88	99.59
62			64.22	0.64	15.22	4.02	0.09	2.60	7.06	3.25	5.15	0.18	1.65	99.75
63			67.78	0.56	13.71	3.85	0.11	1.63	5.27	3.87	5.22	0.20	0.88	100.01
64			68.24	0.51	13.64	3.18	0.06	1.17	7.11	3.71	5.59	0.16	1.90	99.81
65			57.85	0.84	15.14	7.30	0.12	5.75	5.50	3.31	3.66	0.24	0.89	99.77
66			59.21	0.82	15.32	6.12	0.12	3.49	6.55	3.10	5.81	0.37	1.12	99.90
67			59.95	1.17	15.58	6.13	0.08	3.80	2.59	3.62	4.14	0.28	0.78	100.03
68			61.27	0.73	14.21	5.99	0.13	4.54	2.51	4.41	4.00	0.21	1.30	100.03
69	Lohne	Zamanian et al. (2016)	62.37	0.74	15.60	4.49	2.00	2.30	3.50	2.57	4.62	0.27	1.54	98.46
70			59.56	0.77	16.30	5.11	2.00	3.19	4.49	2.13	4.88	0.32	1.25	98.75
71			58.35	0.84	16.40	6.01	2.00	3.61	5.53	2.29	4.38	0.40	1.19	99.81
72			61.85	0.87	15.90	4.97	2.00	2.38	3.48	3.09	4.47	0.37	0.62	99.38
73			61.58	0.70	14.00	5.19	1.11	3.13	5.82	2.41	4.77	0.31	0.90	99.92
74			68.48	0.44	14.30	2.79	1.13	1.21	2.19	2.67	5.62	0.13	1.12	100.08
75			59.58	0.89	14.20	6.57	1.10	3.20	6.61	2.33	4.25	0.30	0.52	99.55
76			64.36	0.56	15.00	4.03	0.16	1.78	3.73	3.12	5.15	0.25	0.74	98.88
77			63.45	0.82	14.60	5.38	1.12	2.27	3.10	3.54	4.05	0.27	1.26	99.86
78			64.19	0.73	14.60	4.47	1.10	2.09	3.96	2.93	4.62	0.29	1.04	100.02
79			59.25	0.86	13.90	6.26	1.16	3.64	6.09	2.27	4.27	0.34	1.62	99.66
80			59.46	0.86	14.10	6.54	2.00	3.50	6.31	2.59	3.89	0.35	1.08	100.68
81			68.01	0.41	14.80	2.52	1.10	1.01	2.44	3.06	5.42	0.14	1.26	100.17
82			68.44	0.57	13.70	2.75	1.10	1.63	1.62	3.11	5.56	0.57	1.43	100.48
83	59.70	0.89	14.80	5.88	1.10	2.69	6.20	2.58	4.50	0.32	1.16	99.82		
84	59.82	0.89	14.80	5.85	1.10	2.74	6.02	2.66	4.56	0.31	1.16	99.91		
85	63.56	0.78	14.00	4.88	1.11	2.44	3.66	2.39	4.75	0.25	1.73	99.55		
86	66.20	0.37	15.20	3.39	1.10	0.93	2.66	3.09	5.54	0.12	1.35	99.95		
87	56.60	0.69	15.50	6.84	1.10	3.81	5.82	2.34	4.31	0.34	1.78	99.13		
88	Aliabad-Khanchay	Saeedi et al. (2018)	59.60	1.01	15.50	6.80	0.19	3.68	4.79	4.56	2.24	0.27	0.62	99.26
89			61.28	0.92	15.74	7.21	0.12	3.51	3.87	4.36	2.14	0.15	0.68	99.98
90			61.20	1.02	15.48	6.35	0.20	3.77	3.43	4.74	2.15	0.33	0.53	99.20
91			61.07	0.91	14.20	7.24	0.11	3.23	4.30	5.35	2.26	0.32	0.53	99.99
92			59.48	0.74	16.75	6.61	0.17	3.89	4.13	4.39	2.18	0.28	0.65	99.26
93			59.58	1.08	16.50	7.21	0.13	3.15	4.01	4.96	1.96	0.49	0.14	99.21
94			61.22	0.86	16.40	6.54	0.08	3.65	4.32	4.95	1.56	0.19	0.13	99.90
95			59.37	0.79	16.60	7.44	0.18	3.30	5.19	4.27	2.10	0.29	0.40	99.92
96														
97	Glojeh	Ghasemi Siani et al. (2015, 2020)	65.27	0.93	11.4	5.5	0.24	2.13	5.4	3.82	3.8	0.06	0.8	100
98			70.47	0.45	12.5	3.1	0.05	0.35	1.8	3.4	5.45	0.06	0.5	98.13
99			68.7	0.57	14.28	3.2	0.08	0.83	1.6	3.4	5.1	0.13	1.2	99.09
100			68.47	0.55	14.3	2.86	0.05	0.78	2	3.8	5.12	0.14	1.17	99.17
101	68.47	0.5	14	2.33	0.05	2.1	2.3	3.5	5.4	0.1	1.3	100.05		
102	Chodarehchay	Yasami et al. (2018b)	62.75	0.74	17.11	5.19	0.08	1.21	3.22	3.30	5.13	0.26	0.66	99.65
103			62.55	0.65	17.20	4.85	0.09	0.89	3.53	3.98	4.95	0.22	0.81	99.71
104			61.79	0.76	16.98	5.42	0.09	1.28	3.43	3.75	5.15	0.26	0.75	99.66
105			62.15	0.67	17.81	5.06	0.09	1.09	3.39	3.12	5.16	0.18	1.02	99.74
106			61.80	0.72	17.15	5.18	0.10	0.98	3.63	3.68	5.12	0.26	1.15	99.77
107			60.96	0.76	17.26	5.42	0.11	1.24	3.45	3.56	5.61	0.28	1.02	99.67
108			69.14	0.52	14.85	3.06	0.04	0.35	1.16	2.95	6.49	0.09	1.02	99.68
109			65.45	0.55	15.96	4.34	0.06	0.86	2.63	3.16	5.72	0.13	0.83	99.69
110			69.11	0.52	15.14	3.21	0.03	0.29	1.07	2.68	6.75	0.06	0.80	99.66
111			64.89	0.54	16.40	3.92	0.07	0.61	3.06	2.53	6.35	0.18	1.17	99.71
112			68.12	0.52	15.26	2.96	0.03	0.28	1.02	3.61	6.60	0.08	1.21	99.69
113			66.51	0.50	15.78	3.31	0.04	0.41	1.56	3.40	6.61	0.13	1.43	99.68
114	67.45	0.46	15.19	3.38	0.06	0.46	1.61	2.71	6.95	0.13	1.31	99.71		

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Rb	Sr	Co	Y	Zr	Nb	Ba	Ta	Th	U	Hf	K (wt.%)	Ti (wt.%)
55	185.20	415.40	21.60	37.20	30.70	31.80	632.40	3.10	33.20	4.25	3.30	4.72	0.56
56	180.90	323.00	14.00	30.00	50.60	47.80	1556.00	2.90	42.20	5.00	3.30	4.23	0.59
57	266.50	225.00	8.00	21.00	124.00	31.20	540.00	3.20	25.70	4.15	4.40	5.64	0.47
58	62.10	277.00	5.00	19.00	101.00	12.60	580.00	2.80	23.40	3.51	5.90	3.23	0.53
59	288.70	226.00	5.00	24.00	89.00	42.50	630.00	2.90	23.40	3.48	3.10	3.98	0.59
60	140.80	526.00	16.60	31.30	35.60	25.80	790.40	2.30	27.20	4.25	4.30	3.90	0.59
61	177.00	220.00	10.00	44.00	239.00	24.31	475.00	1.36	24.00	5.00	12.00	3.97	0.33
62	149.00	229.00	14.00	37.00	268.00	18.89	918.00	1.52	12.00	9.00	9.00	4.27	0.38
63	217.00	242.00	9.00	49.00	363.00	32.16	648.00	2.06	27.00	6.00	10.00	4.33	0.33
64	284.00	259.00	4.00	72.00	375.00	35.75	605.00	1.86	47.00	13.00	12.00	4.64	0.30
65	115.00	390.00	25.00	31.00	178.00	15.45	551.00	0.80	8.00	1.00	7.00	3.03	0.50
66	204.00	385.00	15.00	52.00	199.00	19.72	697.00	1.13	15.00	1.00	7.00	4.82	0.49
67	120.00	318.00	20.00	30.00	207.00	20.14	719.00	1.18	10.00	2.00	10.00	3.43	0.70
68	135.00	290.00	14.00	34.00	192.00	22.06	716.00	1.09	11.00	0.00	8.00	3.32	0.43
69	174.10			23.70	414.00	65.00							0.44
70	186.70			21.90	397.90	69.30							0.46
71	152.80			18.30	394.20	67.90							0.50
72	129.80			14.60	365.70								0.52
73	134.40			25.30	305.50								0.41
74	162.80			27.30	237.00								0.26
75	119.20			24.70	301.30								0.53
76	190.20			26.70	292.80								0.33
77	119.50			25.90	285.90								0.49
78				25.70	305.60								0.43
79	115.30			24.90	269.80								0.51
80	111.20			24.50	283.60								0.51
81	198.10			27.50	237.30								0.24
82	141.80			25.50	354.60								0.34
83	151.70			25.70	269.10								0.53
84	152.90			25.60	268.90								0.53
85	120.60			25.90	302.30								0.46
86	131.80			26.40	219.50								0.22
87	112.50			24.40	256.80								0.41
88	146.40	164.80	18.63	33.80	135.00	15.23	336.48	0.54	7.64		3.15	1.85	0.60
89	136.70	183.22	18.20	33.13	113.00	10.18	438.20	0.54	8.86		3.67	1.77	0.55
90	112.40	181.86	20.71	34.19	108.00	16.23	456.70	0.58	5.97		3.79	1.78	0.61
91	106.40	166.25	26.34	31.24	121.00	12.37	435.48	0.62	7.47		3.69	1.87	0.54
92	117.90	202.00	29.64	33.90	100.00	14.90	441.00	0.59	7.61		3.68	1.80	0.44
93	118.80	163.28	27.43	32.24	107.00	11.47	398.40	0.68	6.12		3.01	1.62	0.64
94	171.20	176.80	22.90	34.93	114.00	16.30	532.70	0.61	9.48		3.84	1.29	0.51
95	156.20	180.00	25.90	34.90	144.00	15.40	412.00	0.61	8.12		2.77	1.74	0.47
96	129.10	174.28	28.11	33.17	266.88	13.31	452.30	1.25	7.58		5.80	0.00	0.00
97	62.1	424	19.7	29.2	12	12.6	689	0.8	4.9	1	0.5	31.55	0.55
98	320.5	117	2.7	28.1	7.8	47.8	201	3.2	45.5	9.2	0.4	4.52	0.26
99	288.7	258	5.7	29.6	12.9	42.8	368	2.9	40.2	7	0.5	4.23	0.34
100	248.3	299	4.5	24.9	17.9	41	424	2.6	33.3	4.5	0.7	4.25	0.32
101			12						36.7			4.48	0.29
102	126.00	303.00	7.80	19.30	9.00	0.20							0.44
103	115.00	302.00	8.10	15.20	10.00	0.30							0.38
104	129.00	335.00	9.00	18.20	10.00	0.70							0.45
105	129.00	318.00	7.10	18.30	11.00	0.20							0.40
106	84.70	356.00	8.00	16.50	15.00	8.90							0.43
107	126.00	371.00	9.70	20.70	12.00	0.20							0.45
108	159.00	142.00	3.00	20.80	13.00	0.20							0.31
109	135.00	271.00	5.50	16.40	8.00	0.20							0.33
110	174.00	136.00	2.90	30.00	8.00	0.20							0.30
111	137.00	313.00	2.90	23.50	17.00	0.30							0.32
112	181.00	157.00	3.00	24.60	13.00	0.20							0.31
113	160.00	188.00	3.90	28.20	12.00	0.20							0.30
114	140.00	196.00	3.80	21.30	15.00	1.10							0.27

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Nb/La	Rb/Y	Nb/Y	Rb/Yb	Th/Yb	Ta/Yb	Zr/Y	Nb/U	Ta/U	Rb/Sr	Ba/Rb	Nb/La	Zr/Al ₂ O ₃	Ba/Nb	Ba/Zr
55	0.93	4.97	0.85	59.74	10.7	1	0.82	7.48	0.72	0.44	3.41	0.92	1.93	19.88	20.59
56	1.29	6.03	1.59	60.3	14.06	0.96	1.68	9.56	0.58	0.56	8.6	1.29	3.04	32.55	30.75
57	0.92	12.69	1.48	115.86	11.17	1.39	5.9	7.51	0.77	1.18	2.02	0.91	7.42	17.3	4.35
58	0.41	3.26	0.66	31.05	11.7	1.4	5.31	3.58	0.79	0.22	9.33	0.4	6.43	46.03	5.74
59	1.33	12.02	1.77	125.52	10.17	1.26	3.7	12.21	0.83	1.27	2.18	1.32	5.63	14.82	7.07
60	0.7	4.49	0.82	52.14	10.07	0.85	1.13	6.07	0.54	0.26	5.61	0.69	2	30.63	22.2
61	0.54	4.02	0.55	77.63	10.52	0.59	5.43	4.86	0.27	0.8	2.68	0.53	17.86	19.53	1.98
62	0.63	4.02	0.51	58.2	4.68	0.59	7.24	2.09	0.16	0.65	6.16	0.62	17.6	48.59	3.42
63	0.65	4.42	0.65	62.53	7.78	0.59	7.4	5.36	0.34	0.89	2.98	0.64	26.47	20.14	1.78
64	0.8	3.94	0.49	80.91	13.39	0.52	5.2	2.75	0.14	1.09	2.13	0.79	27.49	16.22	1.61
65	0.57	3.7	0.49	40.92	2.84	0.28	5.74	12.45	0.8	0.29	4.79	0.56	11.75	35.66	3.09
66	0.58	3.92	0.37	62.57	4.6	0.34	3.82	12.72	1.13	0.52	3.41	0.57	12.98	35.34	3.5
67	0.53	4	0.67	30.15	2.51	0.29	6.9	10.07	0.59	0.37	5.99	0.52	13.28	35.7	3.47
68	0.76	3.97	0.64	68.18	5.55	0.55	5.64			0.46	5.3	0.76	13.51	32.45	3.72
69		7.34	2.74					17.46					26.53		
70		8.52	3.16					18.16					24.41		
71		8.34	3.71					21.54					24.03		
72		8.89						25.04					23		
73		5.31		13.44				12.11					21.82		
74		5.96		162.8				8.68					16.57		
75		4.82		11.92				12.19					21.21		
76		7.12		19.02				10.96					19.52		
77		4.61		11.95				11.03					19.58		
78								11.89					20.93		
79		4.63		11.53				10.83					19.41		
80		4.53		11.12				11.57					20.11		
81		7.2		19.81				8.62					16.03		
82		5.56		14.18				13.9					25.88		
83		5.9		15.17				10.47					18.18		
84		5.97		15.29				10.5					18.16		
85		4.65		12.06				11.67					21.59		
86		4.99		65.9				8.31					14.44		
87		4.61		56.25				10.52					16.56		
88	0.92	4.33	0.45	39.89	2.08	0.14	3.99			0.88	2.29	0.91	8.7	22.09	2.48
89	0.55	4.12	0.3	37.55	2.43	0.14	3.41			0.74	3.2	0.55	7.17	43.04	3.87
90	1.03	3.28	0.47	32.39	1.72	0.16	3.15			0.61	4.06	1.02	6.97	28.13	4.22
91	0.71	3.4	0.39	28.14	1.97	0.16	3.87			0.64	4.09	0.7	8.52	35.2	3.59
92	0.8	3.47	0.43	34.57	2.23	0.17	2.97			0.58	3.74	0.8	5.97	29.59	4.41
93	0.7	3.68	0.35	34.13	1.75	0.19	3.31			0.72	3.35	0.69	6.48	34.73	3.72
94	0.87	4.9	0.46	48.08	2.66	0.17	3.26			0.96	3.11	0.87	6.95	32.63	4.66
95	0.9	4.47	0.44	44.62	2.32	0.17	4.12			0.86	2.63	0.9	8.67	26.75	2.86
96	0.77	3.89	0.4	35.96	2.11	0.34	8.04			0.74	3.5	0.76		33.98	1.69
97	0.72	2.12	0.43	25.87	2.04	0.33	0.41	12.6	0.8	0.14	11.09	0.72	1.05	54.68	57.41
98	1	11.4	1.7	106.83	15.16	1.06	0.27	5.19	0.34	2.73	0.62	1	0.62	4.2	25.76
99	0.86	9.75	1.44	87.48	12.18	0.87	0.43	6.11	0.41	1.11	1.27	0.86	0.9	8.59	28.52
100	0.91	9.97	1.64	82.76	11.1	0.86	0.71	9.11	0.57	0.83	1.7	0.91	1.25	10.34	23.68
101															
102		6.52	0.01							0.41			0.52		
103		7.56	0.01							0.38			0.58		
104		7.08	0.03							0.38			0.58		
105		7.04	0.01							0.4			0.61		
106		5.13	0.53							0.23			0.87		
107		6.08	0							0.33			0.69		
108		7.64	0							1.11			0.87		
109		8.23	0.01							0.49			0.5		
110		5.8	0							1.27			0.52		
111		5.82	0.01							0.43			1.03		
112		7.35	0							1.15			0.85		
113		5.67	0							0.85			0.76		
114		6.57	0.05							0.71			0.98		

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Ore formation district	References	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI	Total
115	Khalifehlou	Esmaeli et al. (2019)	72.00	0.50	15.20	0.16	0.08	1.00	0.65	5.20	3.26	0.13	1.12	99.30
116			62.70	0.64	16.80	5.15	0.12	1.04	2.81	3.80	6.54	0.27	0.24	100.11
117	Rahtabad	Ghasemi Siani et al. (2020)	68.6	0.68	14.43	2.99	0.18	0.91	2.13	3.93	5.25	0.27	1.3	100.67
118	Zaker-Zanjan	Nabatian et al. (2014)	61.00	0.94	15.02	7.09	0.17	2.42	5.60	2.96	4.47	0.31	0.02	99.98
119			62.41	1.06	15.40	6.10	0.13	1.86	5.27	3.30	4.25	0.20	0.02	99.98
120			60.63	0.94	16.00	4.76	0.10	2.29	6.31	3.72	3.44	0.37	1.44	98.56
121			62.47	0.71	15.63	6.35	0.11	1.88	5.50	2.72	3.94	0.21	0.48	99.52
122			65.28	0.76	15.00	6.31	0.10	1.27	2.51	4.09	3.92	0.46	0.30	99.70
123			61.05	0.56	18.35	4.76	0.10	1.54	5.50	3.53	3.76	0.24	0.61	99.39
124			59.72	0.64	16.86	5.95	0.09	2.73	5.67	3.25	3.49	0.31	1.29	98.71
125			57.12	0.80	16.49	7.84	0.13	3.05	6.26	3.18	3.13	0.31	1.69	98.31
126			68.30	0.56	14.96	1.97	0.06	2.02	3.77	6.08	2.22	0.05	0.01	99.99
127			69.36	0.69	14.25	2.39	0.06	0.81	2.41	4.96	3.36	0.03	1.68	98.32
128			69.68	0.59	14.53	3.60	0.06	0.44	2.25	3.97	3.98	0.12	1.78	99.22
129			70.88	0.53	14.16	3.22	0.50	0.37	1.31	3.03	5.92	0.12	0.04	100.04
130			63.58	0.74	16.36	5.45	0.06	0.94	3.07	2.77	5.29	0.23	1.51	98.49
131	61.69	0.81	16.13	5.68	0.18	1.88	4.81	2.76	4.36	0.27	1.43	98.57		
132	62.31	0.84	15.96	5.57	0.12	1.96	4.49	2.86	4.35	0.26	1.28	98.72		
133	60.98	0.71	15.50	6.60	0.11	2.66	5.01	2.96	3.75	0.21	1.51	98.49		
134	Golestan Abad	Kordian et al. (2020)	55.09	0.89	18.68	7.45	0.17	2.88	7.25	2.99	3.15	0.34	0.98	99.87
135			56.29	0.86	18.62	6.97	0.14	2.63	6.74	3.16	3.16	0.33	0.93	99.83
136			55.83	0.85	18.48	7.12	0.17	2.70	7.13	3.05	3.20	0.29	1.02	99.84
137			62.77	0.60	16.93	5.68	0.05	1.71	3.58	3.31	3.76	0.22	1.20	99.81
138	Tarom	Nazari Nia et al. (2014)	54.00	0.99	17.00	9.07	0.19	4.17	7.04	3.04	4.02	0.41	0.81	100.00
139			55.30	0.96	17.30	8.39	0.15	3.71	6.60	3.14	4.05	0.35	0.52	100.00
140			56.76	0.91	16.66	7.98	0.15	3.47	6.18	3.12	4.33	0.37	0.44	100.00
141			57.50	0.88	17.00	7.04	0.10	3.22	6.15	3.20	4.51	0.34	0.84	100.00
142			57.90	0.89	17.10	7.18	0.14	2.91	5.55	3.22	4.73	0.30	0.56	100.00
143			58.10	0.95	16.30	7.71	0.11	3.17	5.68	3.13	4.46	0.33	0.55	100.00
144			59.70	0.69	16.30	6.49	0.17	3.17	5.68	3.54	3.96	0.28	0.98	100.00
145			60.05	0.86	17.09	4.19	0.15	2.48	6.42	3.85	4.79	0.07	1.04	100.00
146			62.00	0.61	15.12	5.50	0.14	2.85	5.36	2.94	5.17	0.26	0.75	100.00
147			63.60	0.58	15.70	5.07	0.13	1.93	3.84	3.38	5.52	0.22	0.16	100.00
148			63.60	0.52	16.50	4.78	0.11	1.83	3.77	3.56	5.08	0.20	0.63	100.00
149			66.60	0.47	16.00	3.76	0.07	0.94	2.76	3.43	5.78	0.16	0.45	100.00
150			67.70	0.41	15.80	3.14	0.07	0.89	2.77	3.49	5.57	0.14	0.45	100.00
151	69.20	0.38	15.20	3.02	0.10	0.87	2.21	3.73	5.09	0.13	0.58	100.00		
152	Roudbar-Abbar	Aghazadeh et al. (2015)	53.30	0.77	17.60	7.70	0.14	3.68	7.43	2.77	2.95	0.50	1.34	98.18
153			55.90	0.80	17.60	6.78	0.15	3.31	6.50	2.65	4.10	0.33	0.37	98.49
154			54.40	0.89	17.50	7.72	0.17	3.75	6.92	2.57	3.71	0.39	0.42	98.44
155			59.70	0.82	16.90	3.92	0.16	2.52	6.29	3.11	4.94	0.07	0.46	98.89
156			56.40	0.84	16.90	7.11	0.15	3.36	6.23	2.61	4.48	0.34	0.34	98.76
157			57.50	0.83	17.00	6.47	0.14	2.93	5.47	2.65	4.91	0.31	0.53	98.74
158			57.00	0.86	16.50	6.62	0.11	3.31	6.18	2.49	4.75	0.34	0.52	98.68
159			57.90	0.86	16.40	4.84	0.11	3.04	5.62	2.63	4.65	0.32	0.49	96.86
160			63.20	0.53	16.10	4.68	0.12	1.88	3.65	2.88	5.14	0.21	0.59	98.98
161			63.70	0.53	16.20	4.14	0.13	1.80	3.83	2.96	5.49	0.20	0.11	99.09
162			59.70	0.69	16.30	5.84	0.17	3.17	5.68	3.54	3.96	0.28	0.98	100.31
163			62.00	0.61	15.10	4.95	0.14	2.85	5.36	2.94	5.17	0.26	0.75	100.13
164			69.70	0.38	14.80	2.72	0.11	0.83	1.98	2.99	5.20	0.15	0.47	99.33
165			66.20	0.45	15.90	3.46	0.08	0.92	2.83	2.80	5.91	0.17	0.48	99.20
166			67.30	0.42	15.80	2.89	0.07	0.86	2.72	2.90	5.66	0.14	0.44	99.20
167			59.40	0.81	16.70	5.87	0.13	2.37	4.88	3.27	4.54	0.37	0.27	98.61
168			61.00	0.74	16.70	5.50	0.15	1.86	4.14	3.33	4.82	0.31	0.35	98.90
169			63.40	0.60	16.70	3.83	0.10	0.78	2.85	3.25	6.70	0.22	0.49	98.92
170			63.30	0.64	16.60	4.10	0.08	0.85	2.91	3.18	6.81	0.25	0.28	99.00
171	64.00	0.61	16.40	3.98	0.13	0.70	2.65	3.11	6.65	0.20	0.55	98.98		
172	63.40	0.64	16.80	4.08	0.12	0.78	2.68	3.29	6.72	0.22	0.36	99.09		
173														
174			60.80	0.74	16.80	5.42	0.10	1.90	4.30	3.32	5.12	0.31	0.11	98.92
175			60.70	0.74	17.00	5.27	0.10	1.88	4.44	3.37	4.93	0.31	0.24	98.98
176			61.30	0.72	16.30	4.89	0.10	1.54	3.70	2.87	6.58	0.29	0.70	98.99

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Rb	Sr	Co	Y	Zr	Nb	Ba	Ta	Th	U	Hf	K (wt.%)	Ti (wt.%)
115	86.00			16.10		11.10						2.70	0.29
116	160.00			25.00		23.60						5.42	0.38
117	300	120	4.7	28.1	8	47.8	201	3.12	46	9.15	0.95	4.35	0.4
118	98.00	320.00	7.70	34.10	217.00	13.80	968.00	0.80	10.10	2.60	6.00	3.71	0.56
119	95.00	341.00	8.50	33.80	254.00	16.20	996.00	1.10	13.40	2.40	7.10	3.52	0.63
120	66.40	395.00	8.30	38.50	247.00	13.30	854.00	0.80	9.70	1.60	6.20	2.85	0.56
121	99.50	315.00	8.30	29.40	236.00	13.50	923.00	0.90	9.60	2.40	6.40	3.27	0.42
122	139.00	238.00	9.70	45.00	355.00	20.20	1060.00	1.30	16.60	3.50	9.60	3.25	0.45
123	109.00	496.00	9.60	25.40	175.00	11.60	723.00	0.80	9.70	2.60	4.40	3.12	0.33
124	103.00	436.00	16.80	28.50	176.00	12.20	806.00	0.80	10.10	2.40	4.50	2.89	0.38
125	88.60	448.00	19.30	26.80	186.00	11.70	612.00	0.70	8.20	2.10	4.60	2.59	0.47
126	50.90	318.00	3.30	17.70	130.00	9.70	448.00	0.60	9.40	1.30	3.70	1.84	0.33
127	62.00	329.00	3.80	19.20	235.00	9.20	928.00	1.00	7.90	1.30	5.90	2.78	0.41
128	72.70	365.00	3.60	28.60	248.00	19.90	1029.00	1.50	19.30	1.90	6.90	3.30	0.35
129	139.00	266.00	3.30	26.50	247.00	18.40	1211.00	1.20	16.40	2.30	6.80	4.91	0.31
130	137.00	477.00	1.20	31.00	259.00	20.20	1221.00	1.30	11.50	3.30	6.20	4.39	0.44
131	123.00	383.00	11.30	32.20	253.00	19.50	855.00	1.30	11.30	3.20	6.20	3.61	0.48
132	127.00	328.00	11.30	32.20	256.00	20.40	810.00	1.30	11.40	3.20	6.30	3.61	0.50
133	111.00	375.00	16.10	30.10	192.00	13.20	787.00	0.90	11.50	3.20	5.00	3.11	0.42
134	66.00	557.80	19.50	25.70	144.00	15.40	799.00	1.02	8.70	1.80	3.55	2.61	0.53
135	74.00	566.00	18.10	24.80	140.00	13.70	791.00	0.97	8.24	1.80	3.44	2.62	0.51
136	63.00	568.90	18.10	25.20	145.00	10.30	821.00	0.73	8.54	1.90	3.38	2.65	0.50
137	71.00	768.10	13.90	16.70	92.00	13.20	1344.00	0.85	11.26	2.10	2.77	3.12	0.35
138	126.00	550.00	16.00	23.30	220.00	13.00	810.00	0.50	7.00	2.22	5.00	3.33	0.59
139	134.00	560.00	21.90	24.10	150.00	19.00	680.00	0.90	7.00	2.28	4.00	3.36	0.57
140	149.00	470.00	21.20	25.00	280.00	21.00	560.00	1.20	14.70	4.68	7.00	3.59	0.54
141	153.00	470.00	14.90	24.00	260.00	22.00	560.00	1.30	15.50	4.13	7.00	3.74	0.52
142	180.00	470.00	16.50	25.20	220.00	24.00	540.00	1.40	19.20	5.46	6.00	3.92	0.53
143	176.00	440.00	17.80	26.70	280.00	24.00	540.00	1.70	19.90	6.45	8.00	3.70	0.56
144	130.00	500.00	15.60	21.80	160.00	14.00	580.00	0.80	13.40	5.06	4.00	3.28	0.41
145	142.00	700.00	12.30	31.70	230.00	20.00	580.00	1.70	14.60	3.00	7.00	3.97	0.51
146	183.00	430.00	9.30	22.50	240.00	16.00	700.00	1.20	17.50	3.82	6.00	4.29	0.36
147	157.00	450.00	7.10	20.10	230.00	18.00	760.00	1.10	17.50	3.92	6.00	4.58	0.34
148	135.00	490.00	7.50	20.70	230.00	17.00	800.00	1.00	15.20	3.82	6.00	4.21	0.31
149	171.00	370.00	5.10	23.30	250.00	21.00	700.00	1.50	25.70	4.95	7.00	4.79	0.28
150	178.00	330.00	5.30	21.90	250.00	16.00	760.00	1.00	18.20	4.32	7.00	4.62	0.24
151	167.00	300.00	4.90	22.50	300.00	15.00	580.00	1.00	17.50	3.89	6.00	4.22	0.22
152	79.60	822.00	20.20	24.40	133.00	9.10	762.00	0.74	4.10	1.11	1.35	2.44	0.46
153	138.00	583.00	19.80	24.50	182.00	16.30	681.00	1.21	8.54	2.26	0.43	4.10	0.47
154	121.00	568.00	21.30	25.30	160.00	12.10	743.00	1.09	27.00	6.63	0.53	3.07	0.53
155	126.00	733.00	11.10	29.80	228.00	22.70	1113.00	1.64	13.40	1.88	1.01	4.10	0.49
156	161.00	523.00	20.90	26.90	241.00	18.90	654.00	1.42	16.50	4.65	1.11	3.71	0.50
157	179.00	441.00	16.30	26.50	231.00	21.10	561.00	1.46	17.80	4.20	0.56	4.07	0.49
158	168.00	469.00	15.60	28.60	268.00	20.70	607.00	1.61	18.80	3.74	1.40	3.94	0.51
159	187.00	456.00	19.60	30.20	285.00	24.20	552.00	1.85	21.50	5.50	0.89	3.86	0.51
160	135.00	444.00	8.47	22.60	212.00	15.90	694.00	1.21	16.20	3.23	0.38	4.26	0.31
161	165.00	484.00	8.25	21.70	245.00	17.40	776.00	1.39	19.80	3.35	0.57	4.55	0.31
162	130.00	500.00	15.60	21.80	160.00	14.00	580.00	1.80	13.40	5.06	4.00	3.28	0.41
163	183.00	430.00	9.30	22.50	240.00	16.00	700.00	1.20	17.50	3.82	6.00	4.29	0.36
164	169.00	246.00	5.48	24.80	197.00	15.40	416.00	1.29	20.10	3.65	1.47	4.31	0.22
165	186.00	362.00	5.78	24.60	240.00	19.00	791.00	1.43	24.70	3.58	0.75	4.90	0.26
166	192.00	329.00	5.66	23.40	233.00	16.20	643.00	1.27	20.50	4.21	0.52	4.69	0.25
167	174.00	603.00	14.70	26.70	210.00	18.30	689.00	1.22	19.70	5.57	0.91	3.76	0.48
168	207.00	532.00	11.80	27.50	287.00	20.60	585.00	1.41	21.20	4.03	0.87	4.00	0.44
169	270.00	315.00	9.70	31.10	334.00	25.40	699.00	1.74	26.70	9.26	1.35	5.56	0.35
170	270.00	298.00	7.06	33.20	326.00	26.50	518.00	1.73	30.10	10.90	1.22	5.65	0.38
171	292.00	300.00	6.54	33.60	390.00	26.90	521.00	1.94	25.90	6.44	1.02	5.52	0.36
172	288.00	292.00	5.30	33.50	347.00	26.30	466.00	1.76	27.80	6.80	0.86	5.57	0.38
173	280.00	312.00	5.23	30.80		25.20	641.00	1.77	25.70	7.49	0.90	0.00	0.00
174	194.00	572.00	12.50	27.20	268.00	18.80	694.00	1.46	32.20	6.59	0.38	4.25	0.44
175	184.00	571.00	12.10	28.00	262.00	19.60	666.00	1.40	18.20	4.52	0.41	4.09	0.44
176	256.00	405.00	10.10	27.60	249.00	22.40	424.00	1.52	22.50	6.15	0.58	5.46	0.43

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
115	41.00	73.00	7.79	27.00	5.34	0.93	4.52	0.53	3.46		3.34	0.37	2.00	0.52
116	33.00	65.00	7.61	29.00	5.72	1.14	5.57	0.80	4.88		2.97	0.41	3.10	0.46
117	48	90	9.6	33.12	5.62	0.6	4.4	0.85	4.45	1	2.8	0.4	3	0.42
118	24.40	49.70	6.50	27.20	6.40	1.50	6.70	1.10	6.20	1.30	3.80	0.60	3.70	0.60
119	19.10	40.60	5.60	23.90	5.80	1.50	6.40	1.10	6.40	1.40	4.00	0.60	4.00	0.60
120	26.50	56.90	7.00	30.60	7.10	1.60	7.20	1.10	6.60	1.40	3.90	0.60	3.90	0.60
121	18.40	38.00	4.70	20.60	5.10	1.30	5.30	0.80	5.30	1.10	3.20	0.50	3.50	0.50
122	40.40	82.60	9.80	40.40	8.80	1.70	9.00	1.40	8.40	1.70	5.00	0.70	4.90	0.70
123	26.60	51.00	5.80	23.10	4.90	1.30	4.70	0.70	0.20	0.90	2.50	0.40	2.60	0.40
124	27.40	53.20	6.10	25.20	5.50	1.30	5.30	0.80	4.70	1.90	2.80	0.40	2.80	0.40
125	23.40	46.20	5.40	22.70	5.00	1.30	5.00	0.70	4.50	0.90	2.70	0.40	2.70	0.40
126	10.60	20.40	2.70	11.20	2.80	0.90	3.00	0.50	3.20	0.70	2.00	0.30	2.10	0.40
127	10.43	18.20	2.10	9.30	2.60	1.20	2.90	0.50	3.10	0.70	2.00	0.30	2.30	0.40
128	17.60	30.60	3.50	15.50	4.00	1.20	4.40	0.70	4.50	0.90	2.80	0.40	2.90	0.40
129	20.40	37.00	4.30	17.60	4.10	1.20	4.40	0.70	4.30	0.90	2.70	0.40	2.80	0.40
130	31.50	59.90	6.70	27.10	5.70	1.50	5.60	0.80	5.10	1.10	3.10	0.50	3.10	0.50
131	34.20	66.70	7.50	29.80	6.20	1.50	6.10	0.90	5.50	1.10	3.20	0.50	3.20	0.50
132	35.20	68.30	7.70	30.90	6.50	1.50	6.20	0.90	5.50	1.10	3.20	0.50	3.30	0.50
133	27.00	53.10	6.10	24.80	5.40	1.30	5.40	0.80	5.10	1.10	3.00	0.50	3.10	0.50
134	26.00	56.00	6.59	26.70	5.54	1.47	4.82	0.75	5.20		2.92	0.43	3.40	0.39
135	25.00	55.00	6.18	25.60	5.29	1.42	4.56	0.72	4.86		2.73	0.41	3.20	0.36
136	25.00	56.00	6.25	25.40	5.34	1.45	4.65	0.72	4.84		2.68	0.40	3.20	0.34
137	28.00	56.00	6.21	23.50	4.34	1.14	3.24	0.52	3.18		1.72	0.27	1.90	0.24
138	25.40	49.80	6.06	24.80	5.30	1.39	5.69	0.84	4.46	0.87	2.49	0.38	2.40	0.32
139	26.70	53.60	6.62	26.20	5.30	1.24	5.73	0.86	4.34	0.89	0.03	0.37	2.60	0.31
140	27.30	56.30	6.83	26.70	5.70	1.19	5.59	0.82	4.63	0.95	2.78	0.41	2.60	0.36
141	32.00	62.30	7.59	27.70	5.40	1.23	5.91	0.91	4.62	0.94	2.76	0.43	2.80	0.35
142	34.10	68.00	8.01	29.70	5.90	1.21	5.90	0.89	4.63	0.97	2.86	0.39	2.80	0.36
143	36.60	73.20	8.50	31.50	6.30	1.12	6.35	0.93	5.23	0.98	2.76	0.44	2.90	0.44
144	27.90	54.00	6.09	24.00	4.80	1.14	5.04	0.77	4.10	0.82	2.56	0.38	2.60	0.34
145	20.60	43.10	5.80	23.90	5.90	1.37	6.18	1.03	5.64	1.20	3.63	0.59	4.00	0.62
146	26.80	45.70	5.27	20.10	4.40	0.91	4.02	0.60	3.76	0.82	2.31	0.33	2.40	0.31
147	32.00	58.90	6.49	24.60	4.50	0.90	4.53	0.68	3.56	0.73	2.11	0.35	2.50	0.33
148	20.80	42.80	5.24	20.60	4.00	1.08	4.39	0.67	3.67	0.72	2.16	0.36	2.40	0.32
149	38.10	68.90	7.45	26.20	5.00	0.91	4.84	0.74	4.19	0.83	2.58	0.42	3.10	0.37
150	30.40	56.50	6.49	23.10	4.50	1.00	4.51	0.67	3.73	0.78	2.37	0.38	2.70	0.39
151	28.60	56.30	6.46	22.50	4.20	0.84	4.28	0.66	3.69	0.75	2.38	0.40	2.70	0.40
152	27.00	54.30	6.74	27.10	5.74	1.54	5.43	0.81	4.58	0.96	2.41	0.38	2.32	0.34
153	28.00	55.70	6.59	25.40	5.27	1.32	5.02	0.76	4.36	0.92	2.46	0.38	2.44	0.35
154	29.40	57.70	6.86	26.50	5.56	1.51	5.36	0.80	4.62	0.96	2.51	0.39	2.44	0.36
155	17.60	37.50	4.91	20.30	5.17	1.25	5.37	0.86	5.31	1.16	3.20	0.54	3.45	0.51
156	26.80	54.50	6.57	25.90	5.70	1.30	5.54	0.85	4.97	1.07	2.77	0.44	2.81	0.41
157	30.80	63.20	7.30	27.50	5.67	1.22	5.39	0.81	4.69	1.01	2.66	0.43	2.72	0.39
158	34.20	68.40	8.06	30.10	6.23	1.30	5.89	0.89	5.13	1.10	2.92	0.46	2.95	0.43
159	36.50	72.80	8.40	31.30	6.42	1.23	6.00	0.92	5.27	1.12	2.98	0.47	2.97	0.43
160	20.80	44.50	5.43	20.80	4.36	1.07	4.16	0.65	3.84	0.83	2.23	0.36	2.36	0.35
161	31.10	57.30	6.58	24.10	4.68	0.97	4.34	0.67	3.77	0.80	2.11	0.35	2.29	0.33
162	27.90	54.00	6.09	24.00	4.80	1.14	5.04	0.77	4.10	0.82	2.56	0.38	2.60	0.34
163	26.80	45.70	5.27	20.10	4.40	0.91	4.02	0.60	3.76	0.82	2.31	0.33	2.40	0.31
164	24.70	58.60	5.73	20.80	4.32	0.79	4.21	0.68	4.10	0.90	2.53	0.43	2.85	0.41
165	36.00	67.70	7.46	26.50	5.00	0.93	4.61	0.70	4.12	0.89	2.43	0.40	2.70	0.40
166	29.30	56.60	6.37	22.40	4.45	0.92	4.18	0.65	3.84	0.83	2.29	0.37	2.46	0.36
167	36.50	73.10	8.57	32.00	6.38	1.27	5.70	0.85	4.78	1.03	2.71	0.44	2.88	0.42
168	35.90	72.30	8.20	30.50	5.96	1.15	5.48	0.81	4.74	1.02	2.74	0.45	2.95	0.43
169	50.70	90.40	10.10	36.10	6.86	1.00	6.29	0.97	5.49	1.21	3.20	0.53	3.53	0.52
170	40.80	80.20	9.22	34.00	6.84	0.98	6.04	0.96	5.52	1.21	3.31	0.54	3.49	0.51
171	45.40	89.80	10.10	36.50	7.13	0.98	6.42	1.00	5.79	1.28	3.48	0.58	3.80	0.55
172	41.00	82.60	9.53	34.60	6.89	1.01	6.43	1.00	5.79	1.27	3.40	0.57	3.70	0.53
173	39.30	78.20	8.98	32.60	6.45	1.03	5.81	0.89	5.23	1.16	3.15	0.52	3.38	0.50
174	30.10	61.50	7.39	28.00	5.76	1.11	5.39	0.82	4.64	1.02	2.75	0.45	2.92	0.42
175	31.90	65.40	7.83	29.90	6.13	1.14	5.70	0.85	4.95	1.05	2.80	0.46	3.05	0.45
176	34.60	66.30	7.57	27.80	5.66	0.95	5.08	0.78	4.54	0.97	2.66	0.44	2.90	0.42

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Σ REE	Σ LREE	Σ HREE	Σ LREE/ Σ HREE	(La/Yb) _n	(Tb/Yb) _n	(Gd/Yb) _n	(La/Sm) _n	Eu/Eu*	Ce/Ce*	Sm/Yb
115	185.9	155.06	30.84	5.02	14.7	1.17	1.87	4.96	0.58	1.5	2.67
116	184.66	141.47	43.19	3.27	7.64	1.29	1.49	3.72	0.62	1.69	1.84
117	232.36	186.94	45.42	4.11	11.48	1.1	1.21	5.51	0.37	1.22	1.87
118	173.8	115.7	58.1	1.99	4.73	1.14	1.5	2.46	0.7	2.21	1.72
119	154.8	96.5	58.3	1.65	3.43	1.05	1.32	2.13	0.75	2.7	1.45
120	193.5	129.7	63.8	2.03	4.87	1.04	1.53	2.41	0.68	1.93	1.82
121	137.7	88.1	49.6	1.77	3.77	1.36	1.25	2.33	0.76	2.89	1.45
122	260.5	183.7	76.8	2.39	5.91	1.22	1.52	2.96	0.58	1.33	1.79
123	150.5	112.7	37.8	2.98	7.34	1.3	1.5	3.5	0.83	2.15	1.88
124	166.3	118.7	47.6	2.49	7.02	1.18	1.57	3.22	0.74	2.06	1.96
125	148.1	104	44.1	2.35	6.22	1.2	1.53	3.02	0.79	2.38	1.85
126	78.5	48.6	29.9	1.62	3.62	0.99	1.18	2.44	0.95	5.39	1.33
127	75.5	44.1	31.4	1.4	3.34	1.1	1.04	2.66	1.34	6.04	1.13
128	118	72.4	45.6	1.58	4.35	1.14	1.26	2.84	0.87	3.59	1.37
129	127.7	84.6	44.3	1.9	5.23	1.17	1.3	3.21	0.86	2.97	1.46
130	183.2	132.4	52.3	2.53	7.29	1.28	1.49	3.57	0.81	1.83	1.83
131	199.1	145.9	54.7	2.66	7.67	1.24	1.58	3.56	0.75	1.64	1.93
132	203.5	150.1	54.9	2.73	7.65	1.17	1.55	3.5	0.72	1.61	1.96
133	167.3	117.7	50.9	2.31	6.25	1.14	1.44	3.23	0.74	2.07	1.74
134	139.03	122.3	43.61	6.64	5.49	1.02	1.17	3.03	0.87	1.96	1.62
135	134.2	118.49	41.64	6.83	5.6	1.02	1.18	3.05	0.88	2	1.65
136	135.15	119.44	42.03	6.88	5.6	1.14	1.2	3.02	0.89	1.96	1.66
137	129.47	119.19	27.77	10.34	10.57	1.59	1.41	4.16	0.93	1.96	2.28
138	153.5	112.75	40.75	2.76	7.59	1.5	1.96	3.09	0.77	2.2	2.2
139	161.47	119.66	41.81	2.86	7.37	1.43	1.82	3.25	0.69	2.05	2.03
140	167.16	124.02	43.14	2.87	7.53	1.48	1.78	3.09	0.64	1.95	2.19
141	178.94	134.22	42.72	3.14	8.2	1.44	1.75	3.83	0.67	1.76	1.92
142	190.92	146.92	44	3.33	8.74	1.46	1.74	3.73	0.63	1.61	2.1
143	203.95	157.22	46.73	3.36	9.05	1.35	1.81	3.75	0.54	1.5	2.17
144	156.34	117.93	38.41	3.07	7.7	1.17	1.6	3.75	0.71	2.03	1.84
145	155.26	100.67	54.59	1.84	3.69	1.14	1.28	2.25	0.69	2.55	1.47
146	140.23	103.18	37.05	2.78	8.01	1.24	1.39	3.93	0.66	2.4	1.83
147	162.28	127.39	34.89	3.65	9.18	1.27	1.5	4.59	0.61	1.86	1.8
148	129.91	94.52	35.39	2.67	6.22	1.09	1.51	3.36	0.79	2.57	1.66
149	186.93	146.56	40.37	3.63	8.82	1.13	1.29	4.92	0.57	1.59	1.61
150	159.42	121.99	37.43	3.25	8.08	1.11	1.38	4.36	0.68	1.94	1.66
151	156.66	118.9	37.76	3.14	7.6	1.59	1.31	4.4	0.61	1.95	1.55
152	164.05	122.42	41.63	2.94	8.35	1.42	1.29	3.04	0.73	2.02	2.47
153	163.47	122.28	41.19	2.96	8.23	1.49	1.63	3.43	0.71	1.97	2.15
154	170.27	127.53	42.19	2.98	8.64	1.49	1.64	3.41	0.67	1.9	2.27
155	136.93	86.73	50.2	1.72	3.66	1.13	1.65	2.2	0.66	2.93	1.49
156	166.53	120.77	45.76	2.63	6.84	1.37	1.67	3.04	0.61	2.01	2.02
157	180.29	135.69	44.6	3.04	8.12	1.35	1.46	3.51	0.77	1.74	2.08
158	196.66	148.29	48.37	3.06	8.32	1.37	1.57	3.54	0.66	1.6	2.11
159	207.01	156.65	50.36	3.11	8.82	1.41	1.6	3.67	0.71	1.51	2.16
160	134.34	96.96	37.38	2.59	6.32	1.25	1.39	3.08	0.66	2.47	1.84
161	161.09	124.73	36.36	3.43	9.74	1.33	1.22	4.29	0.57	1.91	2.04
162	156.34	117.93	38.41	3.07	7.7	1.35	1.41	3.75	0.59	2.03	1.84
163	140.23	103.18	37.05	2.78	8.01	1.14	1.41	3.93	0.65	2.4	1.83
164	155.85	114.94	40.91	2.8	6.22	1.08	1.64	3.69	0.64	1.87	1.51
165	184.44	143.59	40.85	3.5	9.56	1.18	1.54	4.65	0.62	1.62	1.85
166	158.42	120.04	38.38	3.12	8.54	1.2	1.47	4.25	0.47	1.94	1.8
167	203.33	157.82	45.51	3.46	9.09	1.34	1.43	3.69	0.47	1.5	2.21
168	200.13	154.01	46.12	3.33	8.73	1.25	1.4	3.89	0.44	1.52	2.02
169	248	195.16	52.84	3.69	10.3	1.25	1.44	4.77	0.46	1.21	1.94
170	226.82	172.04	54.78	3.14	8.39	1.25	1.42	3.85	0.51	1.37	1.95
171	246.41	189.91	56.5	3.36	8.57	1.2	1.53	4.11	0.61	1.22	1.87
172	231.82	175.63	56.19	3.12	7.95	1.23	1.55	3.84	0.59	1.33	1.86
173	218	166.56	51.44	3.23	8.94	1.2	1.45	3.93	0.54	1.4	1.9
174	179.47	133.86	45.61	2.93	7.39	1.28	1.53	3.37	0.84	1.78	1.97
175	189.61	142.3	47.31	3	7.5	1.27	1.55	3.36	0.78	1.68	2
176	188.27	142.88	45.39	3.14	8.56	1.22	1.45	3.95	0.85	1.65	1.95

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	La/Sm	La/Yb	Sr/Y	Nd/Sr	Nb/La	Rb/Y	Nb/Y	Rb/Yb	Th/Yb	Ta/Yb
115	7.68	20.5			0.27	5.34	0.68	43		
116	5.77	10.65			0.72	6.4	0.94	51.61		
117	8.54	16	4.27	0.26	1	10.67	1.7	100	15.33	1.04
118	3.81	6.59	9.38	0.08	0.57	2.87	0.4	26.48	2.72	0.21
119	3.29	4.78	10.09	0.07	0.85	2.81	0.47	23.75	3.35	0.27
120	3.73	6.79	10.26	0.07	0.5	1.72	0.34	17.02	2.48	0.2
121	3.61	5.26	10.71	0.06	0.73	3.38	0.45	28.42	2.74	0.25
122	4.59	8.24	5.29	0.16	0.5	3.08	0.44	28.36	3.38	0.26
123	5.43	10.23	19.53	0.04	0.44	4.29	0.45	41.92	3.73	0.3
124	4.98	9.79	15.3	0.05	0.45	3.61	0.42	36.78	3.6	0.28
125	4.68	8.67	16.72	0.05	0.5	3.3	0.43	32.81	3.03	0.25
126	3.79	5.05	17.97	0.03	0.92	2.87	0.54	24.23	4.47	0.28
127	4.12	4.65	17.14	0.02	0.86	3.22	0.47	26.95	3.43	0.43
128	4.4	6.07	12.76	0.04	1.13	2.54	0.69	25.06	6.65	0.51
129	4.98	7.99	10.04	0.06	0.9	5.24	0.69	49.64	5.85	0.42
130	5.53	10.16	15.39	0.05	0.64	4.41	0.65	44.19	3.7	0.41
131	5.52	10.69	11.89	0.07	0.57	3.81	0.6	38.43	3.53	0.4
132	5.42	10.67	10.19	0.09	0.58	3.94	0.63	38.48	3.45	0.39
133	5	8.71	12.46	0.06	0.49	3.68	0.43	35.8	3.7	0.29
134	4.69	7.65	21.7	0.04	0.59	2.56	0.59	19.41	2.55	0.3
135	4.73	7.81	22.82	0.04	0.54	2.98	0.55	23.12	2.57	0.3
136	4.68	7.81	22.57	0.41	0.41	2.5	0.4	19.68	2.66	0.22
137	6.45	14.74	45.99	0.47	0.47	4.25	0.79	37.36	5.92	0.44
138	4.79	10.58	23.61	0.04	0.51	5.4	0.55	52.5	2.91	0.2
139	5.04	10.27	23.24	0.04	0.71	5.56	0.78	51.53	2.69	0.34
140	4.79	10.5	18.8	0.05	0.77	5.96	0.84	57.3	5.65	0.46
141	5.93	11.43	19.58	0.05	0.69	6.37	0.91	54.64	5.53	0.46
142	5.78	12.18	18.65	0.06	0.7	7.14	0.92	64.28	6.85	0.5
143	5.81	12.62	16.48	0.07	0.66	6.59	0.89	60.68	6.86	0.58
144	5.81	10.73	22.94	0.04	0.5	5.96	0.64	50	5.15	0.3
145	3.49	5.15	22.08	0.03	0.97	4.47	0.63	35.5	3.65	0.42
146	6.09	11.17	19.11	0.04	0.6	8.13	0.71	76.25	7.29	0.5
147	7.11	12.8	22.39	0.05	0.56	7.81	0.89	62.8	7	0.44
148	5.2	8.67	23.67	0.04	0.82	6.52	0.82	56.25	6.33	0.41
149	7.62	12.29	15.88	0.07	0.55	7.33	0.9	55.16	8.29	0.48
150	6.76	11.26	15.07	0.07	0.53	8.12	0.73	65.92	6.74	0.37
151	6.81	10.59	13.33	0.07	0.52	7.42	0.66	61.85	6.48	0.37
152	4.7	11.64	33.69	0.03	0.34	3.26	0.37	34.31	1.76	0.31
153	5.31	11.48	23.8	0.04	0.58	5.63	0.66	56.55	3.5	0.49
154	5.23	12.05	22.45	0.04	0.41	4.78	0.47	49.59	11.06	0.44
155	3.4	5.1	24.45	0.02	1.29	4.22	0.76	36.52	3.88	0.47
156	4.7	9.54	24.6	0.04	0.71	5.98	0.7	57.29	5.87	0.5
157	5.43	11.32	19.44	0.02	0.69	6.75	0.79	65.8	6.54	0.53
158	5.49	11.59	16.64	0.04	0.61	5.87	0.72	56.94	6.37	0.54
159	5.69	12.29	16.4	0.06	0.66	6.19	0.8	62.96	7.23	0.62
160	4.77	8.81	15.1	0.06	0.76	5.97	0.7	57.2	6.86	0.51
161	6.65	13.58	19.65	0.06	0.56	7.6	0.8	72.05	8.64	0.6
162	5.81	10.73	22.3	0.04	0.5	5.96	0.64	50	5.15	0.69
163	6.09	11.17	19.11	0.04	0.6	8.13	0.71	76.25	7.29	0.5
164	5.72	8.67	9.92	0.04	0.62	6.13	0.62	59.29	7.05	0.45
165	7.2	13.33	14.72	0.04	0.53	7.56	0.77	68.88	9.14	0.52
166	6.02	11.91	14.06	0.08	0.55	8.2	0.69	78.04	8.33	0.51
167	7.39	12.67	22.58	0.07	0.5	6.51	0.68	60.41	6.84	0.42
168	5.96	12.17	19.35	0.06	0.57	7.52	0.74	70.16	7.18	0.47
169	6.37	14.36	10.13	0.05	0.5	8.68	0.81	76.48	7.56	0.49
170	5.95	11.69	8.98	0.05	0.65	8.13	0.79	77.36	8.62	0.49
171	6.09	11.95	8.72	0.05	0.59	8.69	0.8	76.84	6.81	0.51
172	5.23	11.08	10.13	0.11	0.64	8.59	0.78	77.83	7.51	0.47
173	5.2	11.63	21.03	0.11	0.64	9.09	0.81	82.84	7.6	0.52
174	6.11	10.31	20.39	0.12	0.62	7.13	0.69	66.43	11.02	0.5
175	5.2	10.46	14.67	0.11	0.61	6.57	0.7	60.32	5.96	0.45
176	6.11	11.93	14.65	0.04	0.65	9.27	0.81	88.27	7.75	0.52

پیوست ۱. ادامه.

Appendix 1. Continued.

No.	Zr/Y	Nb/U	Ta/U	Rb/Sr	Ba/Rb	Nb/La	rO ₂ Zr/Al	Ba/Nb	Ba/Zr
115						0.27			
116						0.71			
117	0.28	5.22	0.34	2.5	0.67	0.99	0.55	4.2	25.12
118	6.36	5.3	0.3	0.3	9.87	0.56	14.44	70.14	4.46
119	7.51	6.75	0.45	0.27	10.48	0.84	16.47	61.48	3.92
120	6.41	8.31	0.5	0.16	12.86	0.5	15.43	64.21	3.45
121	8.02	5.62	0.37	0.31	9.27	0.73	15.09	68.37	3.91
122	7.88	5.77	0.37	0.58	7.62	0.5	23.66	52.47	2.98
123	6.88	4.46	0.3	0.21	6.63	0.43	9.53	62.32	4.13
124	6.17	5.08	0.33	0.23	7.82	0.44	10.43	66.06	4.57
125	6.94	5.57	0.33	0.19	6.9	0.5	11.27	52.3	3.29
126	7.34	7.46	0.46	0.16	8.8	0.91	8.68	46.18	3.44
127	12.23	7.07	0.76	0.18	14.96	0.88	16.49	100.86	3.94
128	8.67	10.47	0.78	0.19	14.15	1.13	17.09	51.7	4.14
129	9.32	8	0.52	0.52	8.71	0.9	17.44	65.81	4.9
130	8.35	6.12	0.39	0.28	8.91	0.64	15.83	60.44	4.71
131	7.85	6.09	0.4	0.32	6.95	0.57	15.68	43.84	3.37
132	7.95	6.37	0.4	0.38	6.37	0.57	16.04	39.7	3.16
133	6.37	4.12	3.2	0.29	7.09	0.48	12.38	59.62	4.09
134	5.76	8.55	0.56	0.11	12.1	0.59	7.7	51.88	5.54
135	5.83	7.61	0.53	0.13	10.68	0.54	7.51	57.73	5.65
136	5.75	5.42	0.38	0.11	13.03	0.41	7.84	79.7	5.66
137	5.5	6.28	0.4	0.09	18.92	0.47	5.43	101.81	14.6
138	9.44	5.85	0.22	0.22	6.42	0.51	12.94	62.3	3.68
139	6.22	8.33	0.39	0.23	5.07	0.71	8.67	35.78	4.53
140	11.2	4.48	0.25	0.31	3.75	0.76	16.8	26.66	2
141	10.83	5.32	0.31	0.32	3.6	0.68	15.29	25.45	2.15
142	8.73	4.39	0.25	0.38	3	0.7	12.86	22.5	2.45
143	10.48	3.72	0.26	0.4	3.06	0.65	17.17	22.5	1.92
144	7.33	2.76	0.15	0.26	4.46	0.5	9.81	41.42	3.62
145	7.25	6.66	0.56	0.2	4.08	0.97	13.45	29	2.52
146	10.66	4.18	0.31	0.42	3.82	0.59	15.87	43.75	2.91
147	11.44	4.59	0.28	0.34	4.84	0.56	14.64	42.22	3.3
148	11.11	4.45	0.26	0.27	5.92	0.81	13.93	47.05	3.47
149	10.72	4.24	0.3	0.46	4.09	0.55	15.62	33.33	2.8
150	11.41	3.7	0.23	0.53	4.26	0.52	15.82	47.5	3.04
151	13.33	3.85	0.25	0.55	3.47	0.52	19.73	38.66	1.93
152	5.45	8.19	0.66	0.09	9.57	0.33	7.55	83.73	5.72
153	7.42	7.21	0.53	0.23	4.93	0.58	10.34	41.77	3.74
154	6.32	1.82	0.16	0.21	6.14	0.41	9.14	61.77	4.64
155	7.65	12.07	0.87	0.17	8.83	1.28	13.49	61.4	4.88
156	8.95	4.06	0.3	0.3	4.06	0.7	14.26	49.03	2.71
157	8.71	5.02	0.34	0.4	3.13	0.68	13.58	34.6	2.42
158	9.37	5.53	0.43	0.35	3.61	0.6	16.24	26.58	2.26
159	9.43	4.4	0.33	0.41	2.95	0.66	17.37	29.32	1.93
160	9.38	4.92	0.37	0.3	5.14	0.76	13.16	22.8	3.27
161	11.29	5.19	0.41	0.34	4.7	0.55	15.12	43.64	3.16
162	7.33	2.76	0.35	0.26	4.46	0.5	9.81	44.59	3.62
163	10.66	4.18	0.31	0.42	3.82	0.59	15.89	41.42	2.91
164	7.94	4.21	0.35	0.68	2.46	0.62	13.31	43.75	2.11
165	9.75	5.3	0.39	0.51	4.25	0.52	15.09	27.01	3.29
166	9.95	3.84	0.3	0.58	3.34	0.55	14.74	41.63	2.75
167	7.86	3.28	0.21	0.28	3.95	0.5	12.57	39.69	3.28
168	10.43	5.11	0.34	0.38	2.82	0.57	17.18	37.65	2.03
169	10.73	2.74	0.18	0.85	2.58	0.5	20	28.39	2.09
170	9.81	2.43	0.15	0.9	1.91	0.64	19.63	27.51	1.58
171	11.6	4.17	0.3	0.97	1.78	0.59	23.78	19.54	1.33
172	10.35	3.86	0.25	0.98	1.61	0.64	20.64	19.36	1.34
173		3.36	0.23	0.89	2.28	0.64		17.71	
174	9.85	2.85	0.22	0.33	3.57	0.62	15.95	25.43	2.58
175	9.35	4.33	0.3	0.32	3.16	0.61	15.41	36.91	2.54
176	9.02	3.66	0.24	0.63	1.65	0.64	15.27	33.97	1.7

پیوست ۲. ترکیب ایزوتوپی Sr-Nd-Pb برای سنگ‌های آذرین ایالت فلرزایی طارم-هشتجین و شمال‌باختری ایران.

Appendix 2. Sr-Nd-Pb isotope composition of the igneous rocks from Tarom-Hashtjin metallogenic province and NW of Iran.

Area	Rock Type	References	ϵNd	Isr	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
Zanjan-Zaker	Morvarid monzogranite	Nabatian et al. (2014)	2.20	0.70458	0.705150	0.512731			
	Morvarid monzogranite		1.60	0.70482	0.705660	0.512690	18.656690	15.591317	38.698190
	Zaker quartz monzonite		3.40	0.70452	0.705400	0.512788			
	Zaker quartz monzonite		-1.00	0.70476	0.705030	0.512558	18.656900	15.604626	38.736900
	Zaker quartz monzonite		2.70	0.70452	0.705330	0.512757			
	Zaker quartz monzonite		2.50	0.70456	0.705260	0.512739			
	Zanjan quartz monzodiorite		2.40	0.70434	0.704920	0.512733			
	Zanjan quartz monzodiorite		-3.60	0.70454	0.704900	0.512424	18.524138	15.570712	38.473100
	Zanjan quartz monzodiorite		1.00	0.70459	0.704910	0.512661	18.861380	15.722934	39.083120
	Zanjan quartz monzodiorite		2.30	0.70450	0.704950	0.512731			
	Kuh-Tabar quartz monzodiorite		-4.30	0.70552	0.706140	0.512389	18.697307	15.607406	38.784390
Quartz diorite (enclave)	-5.70	0.70505	0.705140	0.512313	18.672910	15.634415	38.834370		
Lubin Zardeh	Quartz monzonite	Rahmani et al. (2019)	2.10	0.70500	0.705286	0.512719	18.7924	15.5896	38.791500
	Quartz monzonite		1.86	0.70480	0.704970	0.512711	18.7728	15.596	38.794300
	Quartz monzonite		1.47	0.70490	0.704963	0.512690	18.7377	15.5866	38.776000
	Quartz monzonite		1.62	0.70510	0.705448	0.512699	18.7705	15.5901	38.824500
	Quartz monzonite		1.77	0.70490	0.705062	0.512703	18.736	15.5858	38.789900
	Quartz monzonite		1.07	0.70480	0.704906	0.512671	18.7069	15.5912	38.778800
	Quartz monzonite		1.79	0.70490	0.704985	0.512703	18.7872	15.5918	38.820600
	Quartz monzonite		1.95	0.70510	0.705384	0.512710	18.7687	15.5877	38.803500
	Monzonite		0.89	0.70510	0.705323	0.512655	18.7621	15.5909	38.796300
	Monzonite		1.42	0.70510	0.705320	0.512684	18.8098	15.5952	38.832400
	Monzonite		1.75	0.70480	0.704947	0.512702	18.7082	15.5928	38.722900
	Monzonite		0.39	0.70490	0.704851	0.512693			
	Monzonite		1.62	0.70490	0.704745	0.512648	18.7846	15.5949	38.864800
	Monzonite		0.73	0.70510	0.705037	0.512661	18.7985	15.5939	38.833500
	Monzonite		0.96	0.70500	0.705260	0.512669	18.8083	15.5941	38.821900
	Monzonite		1.21	0.70500	0.704852	0.512714			
	Monzogranite		1.12	0.70500	0.705191	0.512705	18.737	15.5855	38.788400
	Monzogranite		2.03	0.70510	0.705431	0.512713	18.7548	15.5905	38.802600
	Diorite		1.87	0.70480	0.705294	0.512630	18.7875	15.5984	38.905900
Diorite	1.09	0.70470	0.704784	0.512671					
Diorite	2.01	0.70470	0.705445	0.512666	18.7197	15.6173	38.834700		