



Adakitic magmatism, a window to evolution on tectonic and mineralization in eastern Iran

Saeed Saadat ^{1*}

¹ Associate Professor, Department of Petroleum Engineering and Geology, Mashhad Branch, Islamic Azad University, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History

Received: 31 December 2022
Revised: 29 January 2023
Accepted: 01 February 2023

Keywords

adakite
subduction
mineralization
Lut
eastern Iran

*Corresponding author

Saeed Saadat
✉ saeed.saadat@colorado.edu

In this research, geochemical data from 314 samples of volcanic and intrusive rocks with adakitic or adakite-like affinity reported from eastern Iran have been studied, these rocks are often known with $Sr > 400$ g/ton and $Y < 18$ g/ton. By comparing and analyzing the characteristics of these adakites, it is concluded that: (1) The adakite rocks of eastern Iran are mainly high silica adakites; (2) High-silica adakitic rocks in northeastern Iran have lower MgO, Th, and Th/Ce and relatively higher Cr, Ni, and SiO_2 contents than other adakites in eastern Iran, indicating their connection with the subduction zone and melting of the oceanic crust, while the adakitic rocks of southeastern Iran with lower SiO_2 content and higher MgO, Sr, and Th/Ce are categorized as post-collision adakites mainly formed from melting of the thickened lower crust; (3) Most of the adakites in the central parts (eastern Iran) were formed from the melting of the thickened lower crust after the collision, from an amphibolite garnet source, and the ratios of Sr/Nb, Ba/Nb and La/Nb of adakites decreases towards the northeast in this section; 4) The analyzed data and the results presented in this research show that the adakites of eastern Iran have characteristics associated with mineralization and often have the necessary potential to play a role in the formation of valuable reserves.

How to cite this article

Saadat, S., 2023. Adakitic magmatism, a window to evolution on tectonic and mineralization in eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 15(1): 87–113. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2023.80308.1062>



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The term adakite refers to volcanic and intrusive rocks that have more than 56% SiO₂, more than 15% Al₂O₃, and usually less than 3% MgO by weight, high Na₂O content (3.5-7.5 %), and low ratio of K_2O/Na_2O (<0.5) (Defant and Drummond, 1990; Martin, 1999; Martin et al., 2005; Condie, 2005; Castillo, 2012). Adakites are divided into (1) a high-SiO₂ adakite (HSA) and (2) a low-SiO₂ adakite (LSA). The HAS have >60 wt.% SiO₂, low MgO (0.5–4 wt.%), CaO + Na₂O contents <11 wt.% and Sr abundances <1100 ppm. In contrast, the LSA have <60 wt.% SiO₂, higher MgO (4–9 wt.%), CaO + Na₂O contents >10 wt.% and Sr contents 1000–3000 ppm (Martin et al., 2005).

The studied area in the eastern part of Iran (Figure 1-A) includes a large part of the structural zones in the south and east, including the Lut block, Makran arc, the Sistan suture and Binaloud. This region is a part of the extensive magmatism that has spread from Turkey to Pakistan and had numerous magmatic activities over time, especially from the Cretaceous to the Quaternary.

Adakitic series have received special attention in recent years in Iran and some articles have been published by various researchers. The main goal of this research is to review the published articles and documents related to the geochemical and isotopic characteristics of adakites in eastern Iran, in order to open a window for a better understanding of the relationship between adakite magmatism and magmatic-tectonic evolution and porphyry copper ± gold mineralization in the east of Iran.

Materials and methods

Geochemical data of 314 samples of volcanic and intrusive rocks with adakitic nature were collected from eastern Iran. The location of the studied areas and a summary of data and references is presented in Figure 1 and Table 1. In this study, acidic and intermediate rocks (volcanic and intrusive) with adakitic characteristics were studied and mafic rocks such as basalt and samples with high LOI (above 3) were not considered in the database (Figure 2-A, B).

Result

Volcanic and sub-volcanic adakitic rocks have been reported from Sabzevar, Neishabur and Quchan

regions (Table 1, Figure 1-B). These rocks are mainly dacite to trachyandesite and andesite with calc-alkaline to high K- calc-alkaline affinity. Rocks with adakitic nature in central part of eastern Iran are reported from the areas of Garjagan, Khosuf, Shurab, Fadashk, Pironj, Gurung, Shah Suleiman Ali, Sang-Rahuzag, Shadan, and Tighnab (Figure 1-C and Table 1). According to the chemical classification diagram (Middlemost, 1994), the composition of volcanic rocks is mainly dacite, rhyodacite, andesite and trachyandesite and intrusive rocks are mainly diorite, granodiorite and granite (Figure 2-A, B). They are mostly calc-alkaline to high-K calc-alkaline, sometimes shoshonite (Figure 5-A) and meta-aluminous affinity.

Southern part include adakitic rocks from Lar, Malek Siah Kuh, Lakhshak, Chah Serbi, Shaheswaran, Taftan and Karvander areas (Table 1 and Figure 1-D). The volcanic rocks of the southern part are mainly dacite to andesite (Figure 2-A) and the intrusive rocks are mainly diorite and gabbrodiorite (Figure 2-B). These rocks have the characteristics of calc-alkaline with high-K to and meta-aluminous affinity.

Discussion

Based on the data presented in this study, it is clear that the adakite rocks of eastern Iran are mainly high silica adakites. These rocks in northeastern Iran have lower MgO, Th, Th/Ce and relatively higher Cr, Ni, and SiO₂ contents than other adakites in eastern Iran, which indicate their connection with the subduction zone and melting of the oceanic crust.

The adakitic rocks of southeastern Iran with lower SiO₂ content and more MgO, Sr, and Th/Ce are in the range of post-collision adakites, which are mainly formed from melting of the thickened lower crust.

Most of the adakites in the central parts (eastern Iran) were formed from the melting of the thickened lower crust after the collision, from an amphibolite garnet source.

Temporal-spatial relationship between adakites and porphyry copper deposits and/or epithermal gold-copper deposits is studied in many researches (e.g., Thiéblemont et al., 1997; Sajona and Maury, 1998; Li et al., 2011; Richards et al., 2012; Zhang et al., 2021). Porphyry mineralization in Iran mainly took place during the evolution of the branches of the Neo-Tethys Ocean and its final closure. The results

presented in this research illustrate the adakites of eastern Iran have characteristics associated with mineralization and often have the necessary potential to play a role in the formation of valuable reserves. Changes in La/Sm and Dy/Yb ratios in adakites are considered as a geochemical sign for mineralization potential. The ratios of (La_N/Sm_N) and (Dy_N/Yb_N) help to determine the fertile magmatism (with the participation of amphibole) from the barren (without amphibole) (Richards et al., 2012). Amphibole-dominated adakites are clearly associated with economic porphyry copper mineralization (e.g., Kheirkhah et al., 2020). In the studied adakites, the changes of La_N/Sm_N and Dy_N/Yb_N ratios are 1.7 to 10.7 (average 4.5) and 0.7 to 2.5 (average 1.2),

respectively. Based on these ratios, most of the studied adakites, except for some adakites that show changes in La_N/Sm_N ratios of less than 4 and Dy_N/Yb_N less than 1.1, have mineralization potential. The analyzed data and the results presented in this research yields that the adakites of eastern Iran have characteristics associated with mineralization and often have the necessary potential to play a role in the formation of valuable deposits. The distribution of copper-gold indices, and the outcrops of adakites along with magnetic anomalies (Figure 10-A), and crust thickness variations in eastern Iran (Figure 10-B), emphasize the importance of focusing on future prospecting, drilling and isotopic studies in this area.



ماگماتیسیم آداکیتی، پنجره‌ای بر تحولات زمین‌ساختی و کانی‌سازی در شرق ایران

سعید سعادت^{۱*} ^۱ دانشیار، گروه مهندسی نفت و زمین‌شناسی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی، مشهد، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۰	<p>در این پژوهش، داده‌های زمین‌شیمیایی ۳۱۴ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی با ماهیت آداکیتی یا شبه آداکیت گزارش شده از شرق ایران مورد بررسی قرار گرفته است، این سنگ‌ها اغلب با محتوای Sr بیشتر از ۴۰۰ گرم در تن و Y کمتر از ۱۸ گرم در تن شناخته می‌شوند. با مقایسه و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های این آداکیت‌ها، مشخص می‌شود که: (۱) سنگ‌های آداکیتی شرق ایران اغلب از نوع آداکیت‌های سیلیس بالا هستند. (۲) سنگ‌های آداکیتی سیلیس بالا در شمال شرق ایران در مقایسه با سایر آداکیت‌های شرق ایران، دارای محتوای Th/Ce، Th، MgO کمتر و Cr، Ni و SiO₂ نسبتاً بالاتری هستند که بیانگر ارتباط آنها با زون فرورانش و ذوب پوسته اقیانوسی است؛ در حالی که سنگ‌های آداکیتی جنوب شرق ایران با محتوای SiO₂ کمتر و Sr، MgO و Th/Ce بیشتر در محدوده آداکیت‌های پس از برخورد قرار می‌گیرند که اغلب از ذوب پوسته زیرین ضخیم شده، ایجاد شده‌اند. (۳) اغلب آداکیت‌ها در بخش‌های مرکزی (شرق ایران) از ذوب پوسته زیرین ضخیم شده پس از برخورد، از یک منبع گارنت آمفیبولیت شکل گرفته‌اند و نسبت‌های Sr/Nb، Ba/Nb و La/Nb آداکیت‌ها در این بخش به سمت شمال شرق کاهش می‌یابد. (۴) داده‌های مورد بررسی و نتایج ارائه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که آداکیت‌های شرق ایران دارای ویژگی‌های همراهی با کانه‌زایی و اغلب توانایی لازم را برای نقش‌آفرینی در تشکیل ذخایر ارزشمند دارند.</p>
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۰۹	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۲	
واژه‌های کلیدی	
آداکیت	
فرورانش	
کانی‌سازی	
لوت	
شرق ایران	
نویسنده مسئول	
سعید سعادت	
saeed.saadat@colorado.edu	

استناد به این مقاله

سعادت، سعید، ۱۴۰۲. ماگماتیسیم آداکیتی، پنجره‌ای بر تحولات زمین‌ساختی و کانی‌سازی در شرق ایران. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۱): ۸۷-۱۱۳.

<https://doi.org/10.22067/econg.2023.80308.1062>

مقدمه

واژه آداکیت به سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی اطلاق می‌شود که از نظر ترکیب اسیدی تا حدواسط، دارای بیش از ۵۶ درصد وزنی SiO_2 ، بیش از ۱۵ درصد وزنی Al_2O_3 ، معمولاً کمتر از ۳ درصد وزنی MgO ، محتوای Na_2O زیاد ($7/3$ تا $5/5$ درصد وزنی) و نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ کم ($>0/5$) هستند. محتوای Y کمتر از ۱۸ گرم در تن و عناصر خاکی کمیاب سنگین^۱ کم، Yb کمتر از $1/8$ گرم در تن، Sr بالا (بیش از ۴۰۰ گرم در تن)، عناصر با قدرت میدان بالا^۲ نسبتاً کم و $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ معمولاً کمتر از $0/7040$ است (Defant and Drummond, 1990; Drummond et al., 1996; Martin, 1999; Martin et al., 2005; Condie, 2005; Castillo, 2012).

موقعیت مکانی بسیاری از آداکیت‌ها در محیط‌های فرورانش از سراسر جهان، منشأ فرورانشی آنها را پشتیبانی می‌کند. اهمیت آداکیت‌ها به دلیل ارتباط آنها با کانی‌سازی‌های مس-طلاست (Castillo, 2012). آداکیت‌ها به انواع آداکیت‌های سیلیس بالا^۳ و آداکیت‌های کم سیلیس^۴ تقسیم می‌شوند (Martin et al., 2005). نوع HSA دارای بیش از ۶۰ درصد وزنی SiO_2 ، میزان MgO ($0/5$ تا 4 درصد وزنی)، محتوای $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}$ (~ 11 درصد وزنی)، Sr کمتر از ۱۱۰۰ گرم در تن و $\text{TiO}_2 > 0/9$ درصد وزنی هستند. در مقایسه نوع LSA که آداکیت‌های با Mg بالا نیز نامیده می‌شوند، با کمتر از ۶۰ درصد وزنی SiO_2 ، میزان MgO بالا (9 تا 4 درصد وزنی)، $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O} > 10$ درصد وزنی، Sr بیشتر از ۱۱۰۰ گرم در تن و TiO_2 بیش از ۳ درصد وزنی مشخص می‌شوند (Martin et al., 2005). طبقه‌بندی‌های دیگری مانند آداکیت‌های نوع جامائیکایی^۵ وجود دارد که با ویژگی $\text{SiO}_2 \leq 68/$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 15/$ ، Na_2O حدود $5/9$ درصد؛ ولی با Sr کمتر (≤ 400 گرم در تن) هستند (Hastie et al., 2010). منبع آمفیبولیت کم عمق‌تر برای تولید ماگمای نوع JTA پیشنهاد شده است (Hastie et al., 2016).

منطقه مورد بررسی در پهنه شرقی ایران (شکل ۱- A) بخش بزرگی از زون‌های ساختاری جنوب و شرق شامل بلوک لوت،

کمان مکران، زمین‌درز سیستان و بینالود را در برمی‌گیرد. این منطقه بخشی از ماگماتیسیم گسترده‌ای است که از ترکیه تا پاکستان گسترش یافته و شاهد فعالیت‌های ماگمایی متعددی در طول زمان به ویژه از کرتاسه تا کواترنر بوده است. سری‌های آداکیتی در سال‌های اخیر در ایران مورد توجه ویژه قرار گرفته و مقاله‌های با ارزشی توسط پژوهشگران مختلف منتشر شده است. هدف اصلی این پژوهش، مروری بر مقاله‌ها و مستندهای منتشر شده در رابطه با ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و ایزوتوپی آداکیت‌های شرق ایران، به منظور گشودن پنجره‌ای برای درک بهتر از ارتباط ماگماتیسیم آداکیتی با تحولات ماگمایی- زمین‌ساختی و فرایندهای کانی‌سازی مس \pm طلای پورفیری در شرق ایران است.

زمین‌شناسی

سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی مافیک تا اسیدی واقع در شمال شرق ایران از قوچان تا نیشابور و سبزوار متعلق به رشته‌کوه البرز شرقی و بخشی از زون ساختاری بینالود و سبزوار است (شکل ۱- B). سنگ‌های آتشفشانی اسیدی- حدواسط این ناحیه اغلب ریولیت، داسیت، آندزیت و تراکی آندزیت هستند. بر اساس سن‌سنجی به روش K-Ar ماگماتیسیم اسیدی در این مناطق در چندین مرحله رخ داده که از $1/6 \pm 31/7$ تا $0/08 \pm 2/29$ میلیون سال قبل متغیر است (Ghasemi et al., 2010) و به طور قابل توجهی جوان‌تر از بیشتر ماگماتیسیم‌های برخوردی در سایر مناطق فلات ترکیه- ایران هستند (Pang et al., 2013).

بلوک لوت در شرق ایران، در بین صفحه‌های عربستان، اوراسیا و هند قرار دارد و از شمال، جنوب و شرق توسط افیولیت‌ها و آمیزه‌های رنگی افیولیتی احاطه شده است (شکل ۱- C). ماگماتیسیم گسترده این منطقه اغلب شامل داسیت، آندزیت، دیوریت، گرانیت و دیوریت است و از نظر سنی محدوده ژوراسیک پسین تا نئوژن/ کواترنر را در برمی‌گیرد (Karimpour et al., 2011). زمین‌درز سیستان^۶ در شرق تا جنوب شرق ایران بخشی از سامانه کوه‌زایی نئوتتیس است که بین بلوک لوت (در غرب) و بلوک افغان (در شرق) واقع شده و از جنوب به رشته‌کوه‌های مکران

(Taylor, 1976) ترکیب کالک آلکالن (نیشابور، قوچان و چکنه) تا کالک آلکالن با پتاسیم بالا (سبزوار) نشان می‌دهند (شکل ۳-A و جدول ۱). بر اساس نمودار طبقه‌بندی شیمیایی (Shand, 1943)، ماهیت متاآلومینوس تا پرآلومینوس دارند (شکل ۳-B). سنگ‌های آداکیتی شمال شرق ایران در دو بخش عمده قوچان و سبزوار گزارش شده‌اند (شکل ۱-B). در ناحیه قوچان تا نیشابور این سنگ‌ها معمولاً بین ۶۰ تا ۷۳ درصد وزنی SiO_2 دارند. محتوای Al_2O_3 به طور گسترده از ۱۵/۷ تا ۱۹/۸ درصد وزنی (~۱۷ درصد وزنی) متفاوت است. MgO معمولاً کمتر از ۲ درصد وزنی (~۱/۷ درصد وزنی) است. مقدار Y حدود ۶ تا ۱۸/۷ (~۱۱/۷)، نسبت Sr/Y حدود ۲۳ تا ۹۰ (~۴۷/۵) و محتوای TiO_2 آنها معمولاً کمتر از ۰/۶۸ درصد وزنی است. این تغییرات نشان‌دهنده موقعیت نمونه‌ها در آداکیت‌های سیلیس بالاست (شکل ۴-A). همه نمونه‌ها مقادیر کم Nb/Y (~۰/۹)، La/Nb (~۲)، Ba/La (~۲۰)، و تهی‌شدگی متمایز Nb و Ti را در مقایسه با سایر HFSE (مانند Ta و Y) در الگوی نمودار چند عنصری بهنجار شده به گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند (شکل ۴-B).

در منطقه سبزوار آداکیت‌ها بین ۶۱/۲ تا ۷۳/۲ درصد وزنی SiO_2 دارند. مقدار Al_2O_3 از ۱۵/۳ تا ۱۸/۷ درصد وزنی (~۱۷/۲ درصد وزنی) متفاوت است. محتوای MgO در اغلب نمونه‌ها پایین و معمولاً کمتر از یک درصد وزنی (~۱/۵ درصد وزنی) و در تعدادی از نمونه‌ها بالاتر از ۵ درصد وزنی است. نسبت Sr/Y حدود ۶۴ تا ۲۸۰ (~۱۴۶)، مقدار Y حدود ۲/۲ تا ۶/۴ (~۴) و محتوای TiO_2 آنها معمولاً کمتر از ۰/۴ درصد وزنی است که نشان‌دهنده آداکیت‌های سیلیس بالاست (شکل ۴-A). مقادیر کم Nb/Y (~۱/۶)، La/Nb (~۰/۵)، Ba/La (~۱۳۶) و تهی‌شدگی Nb را در مقایسه با سایر HFSE (به عنوان مثال، Ta و Y) در الگوی نمودار چند عنصری نرمال شده به گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند (شکل ۴-B).

محدود می‌شود (شکل ۱-D). این ناحیه در راستای شمالی-جنوبی، بیش از ۷۰۰ کیلومتر طول دارد. ماگماتیسیم این منطقه شامل سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی کرتاسه پسین تا ترشیاری است (Camp and Griffis, 1982; Tirrul et al., 1983). زمین‌درز سیستان از اوایل کرتاسه تاریخ پیچیده‌ای داشته که با ریفت، فرورانش، جای‌گیری افیولیت، بالاآمدگی و چندین دوره ماگمایی مشخص شده است (شکل ۱-D) (Camp and Griffis, 1982). کمان فعال مکران در جنوب شرق ایران در شمال دریای عمان واقع شده و از هرمز در غرب تا خلیج سون میانی^۷ در نزدیکی کراچی در جنوب پاکستان به طول ۱۰۰۰ کیلومتر امتداد دارد (Saadat and Stern, 2011).

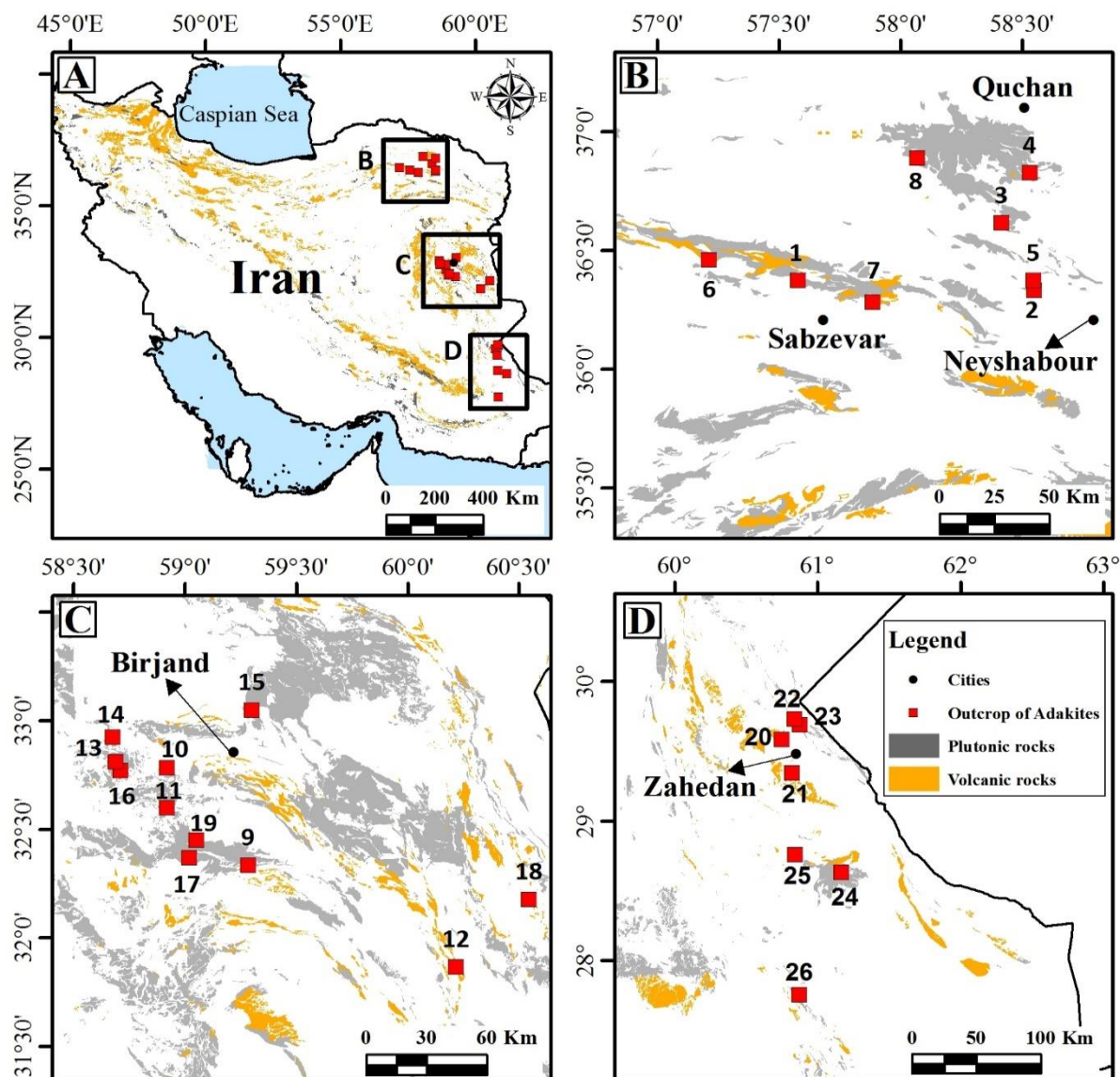
روش مطالعه

داده‌های زمین‌شیمیایی ۳۱۴ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی با ماهیت آداکیتی در شرق ایران گردآوری شد. در شکل ۱ موقعیت مکانی محدوده‌های مورد بررسی و در جدول ۱ خلاصه‌ای از نوع داده‌ها و منابع مورد استفاده ارائه شده است. در این پژوهش سنگ‌های اسیدی و حدواسط (درونی و بیرونی) با ویژگی آداکیتی مدنظر قرار گرفته و سنگ‌های مافیک مانند بازالت در بانک اطلاعات لحاظ نشده‌اند (شکل ۲-A و B). همچنین نمونه‌های با افت حرارتی^۸ بالا (بیشتر از ۳) حذف شدند و بقیه نمونه‌ها بر اساس ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، سنگ‌نگاری و موقعیت زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱).

نتایج

آداکیت‌های بخش شمالی (شمال شرق ایران)

سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی آداکیتی از مناطق سبزوار، نیشابور و قوچان گزارش شده‌اند (جدول ۱ و شکل ۱-B) (Nanvabashi, 2011; Aghabazaz, 2012; Rossetti et al., 2014; Taheri-Sarteshnizi, 2018; Fazelvalipour, 2021). این سنگ‌ها اغلب داسیت تا تراکی آندزیت و آندزیت بوده (شکل ۲-A) و در نمودار $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ (Peccerillo and



شکل ۱. موقعیت آداکیت‌ها در A: بخش شرقی ایران، B: بخش شمالی، C: بخش مرکزی و D: بخش جنوبی (شماره‌های روی شکل در جدول ۱ توصیف شده‌اند).

Fig. 1. Location of adakites, A: in eastern part of Iran, B: Northern part, C: Central part, and D: Southern part (The numbers on the figure are described in Table 1).

گزارش شده‌اند (شکل ۱-C و جدول ۱). بر اساس نمودار طبقه‌بندی شیمیایی (Middlemost, 1994)، ترکیب سنگ‌های آتشفشانی اغلب داسیت، ریوداسیت، آندزیت و تراکی آندزیت و سنگ‌های نیمه عمیق و نفوذی اغلب دیوریت، گرانودیوریت و

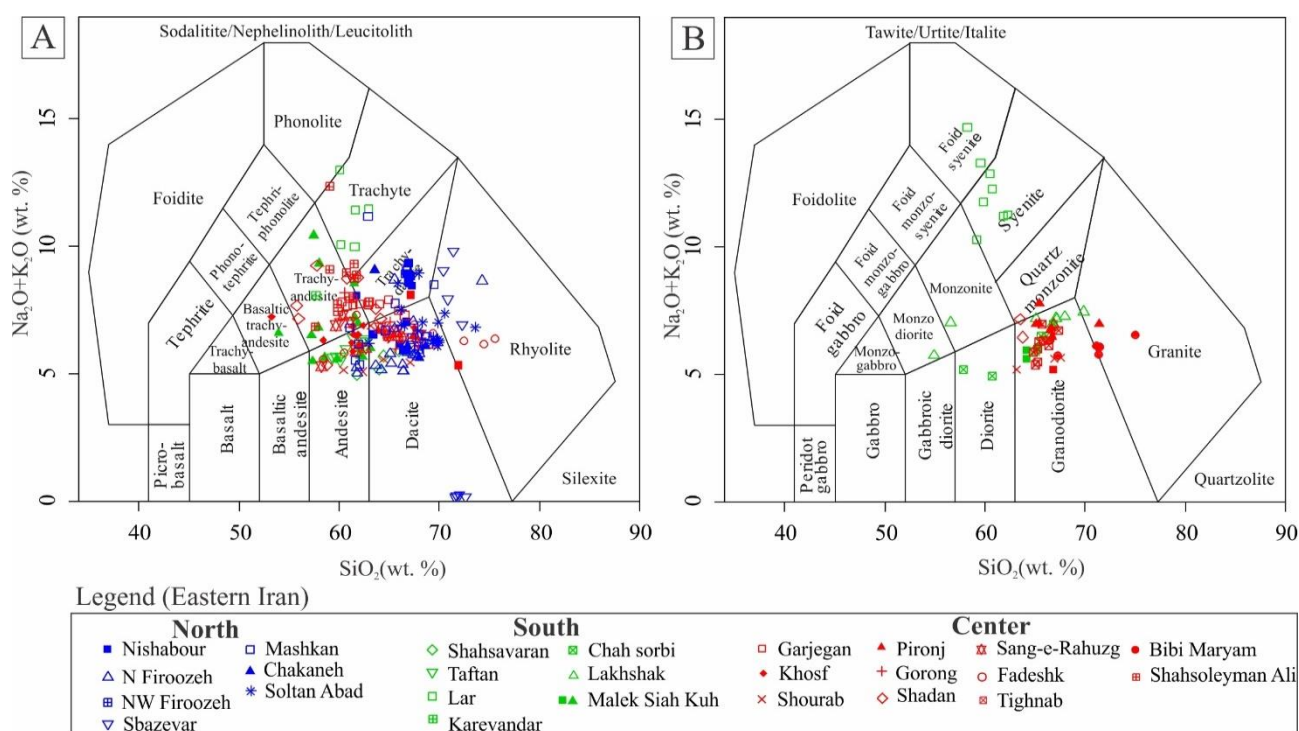
آداکیت‌های بخش مرکزی (شرق ایران)
سنگ‌های با ماهیت آداکیتی در شرق ایران (اوسن - الیگوسن) از مناطقی گارجگان، خوسف، شوراب، فدشک، پیرونج، گورونگ، شاه سلیمان علی، سنگ‌رهوزگ، شادان، تیغاب و بی‌بی مریم

درصد وزنی ($\sim 16/8$ درصد وزنی)، MgO ($0/3$ تا $4/1$ درصد وزنی)، K_2O کم ($0/69$ تا $2/3$ درصد وزنی)، مقادیر پایین Cr (20 تا 112 گرم در تن)، Co ($0/8$ تا $19/6$ گرم در تن)، Ni (10 تا 59 گرم در تن) و Th ($10/7$ تا $4/3$ گرم در تن) نشان می‌دهند. نسبت Sr/Y حدود 29 تا 75 (~ 54)، مقدار Y حدود $6/5$ تا 18 (~ 12) و محتوای TiO_2 آنها معمولاً کمتر از $0/5$ درصد وزنی است که نشان‌دهنده آداکیت‌های سیلیس بالاست است (شکل ۴-۱). نسبت عناصری مانند Th/Sm بالا ($1/5$ تا $6/65$)، Th/Yb ($2/5$ تا $16/7$) و Nb/La کم ($0/25$ تا $0/56$) است. مقادیر La/Nb ($2/4$) و تهی‌شدگی Nb را در مقایسه با سایر HFSE در الگوی نمودار چند عنصری بهنجارشده به گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند (شکل ۶-۱).

گرانیت است (شکل ۲-۱ و B). نمودار تفکیک‌کننده موقعیت زمین‌ساختی گرانیت‌ها (Pearce et al., 1984)، محیط کمان آتشفشانی را نشان می‌دهد (شکل ۵-۱) که اغلب متاآلومینوس و به طور محدود پراآلومینوس هستند (شکل ۵-۲) (Shand, 1943).

این سنگ‌ها بر اساس نبود ناهنجاری منفی Eu ، HREE پایین (به عنوان مثال، $Yb=0/5-2/2$ و $Y=5/2-20$)، محتوای Sr (1580 تا 1580 گرم در تن)، نسبت Sr/Y (~ 47)، محتوای SiO_2 ($52/2$ تا $75/4$ درصد وزنی) به عنوان آداکیت‌های سیلیس بالا طبقه‌بندی می‌شوند (شکل ۴-۱).

نمونه‌های مورد بررسی از گورونگ، شوراب و فدشک SiO_2 نسبتاً بالا ($58/2$ تا $75/4$ درصد وزنی)، Al_2O_3 از $13/2$ تا $18/9$



شکل ۲. نمودارهای زمین‌شیمیایی طبقه‌بندی آداکیت‌های شرق ایران، A: سنگ‌های آتشفشانی در نمودار مجموع آلکالی‌ها در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1994) و B: سنگ‌های نفوذی در نمودار مجموع آلکالی‌ها در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1994).

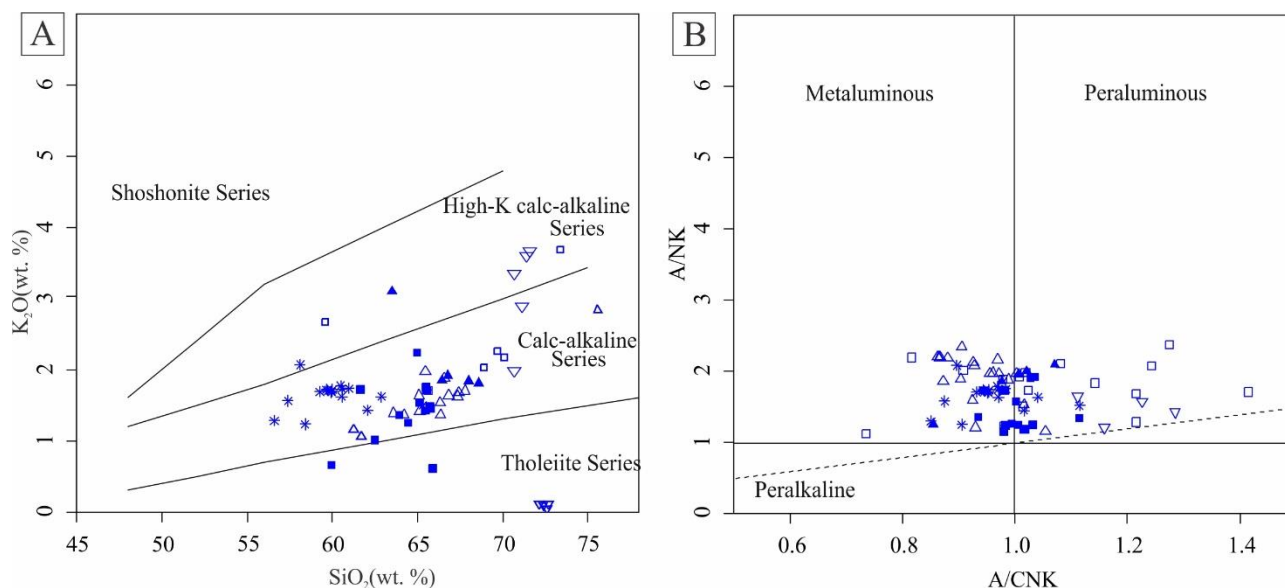
Fig. 2. Geochemical diagrams for classification of eastern Iran adakites, A: Volcanic rocks in total alkalies vs silica (TAS) diagram (Middlemost, 1994), and B: Intrusive rocks in total alkalies vs silica (TAS) diagram (Middlemost, 1994).

جدول ۱. مقایسه ترکیب میانگین آداکیت‌های شرق ایران با میانگین آداکیت‌ها

Table 1. Comparison of the average geochemical of the eastern Iran adakites with adakite

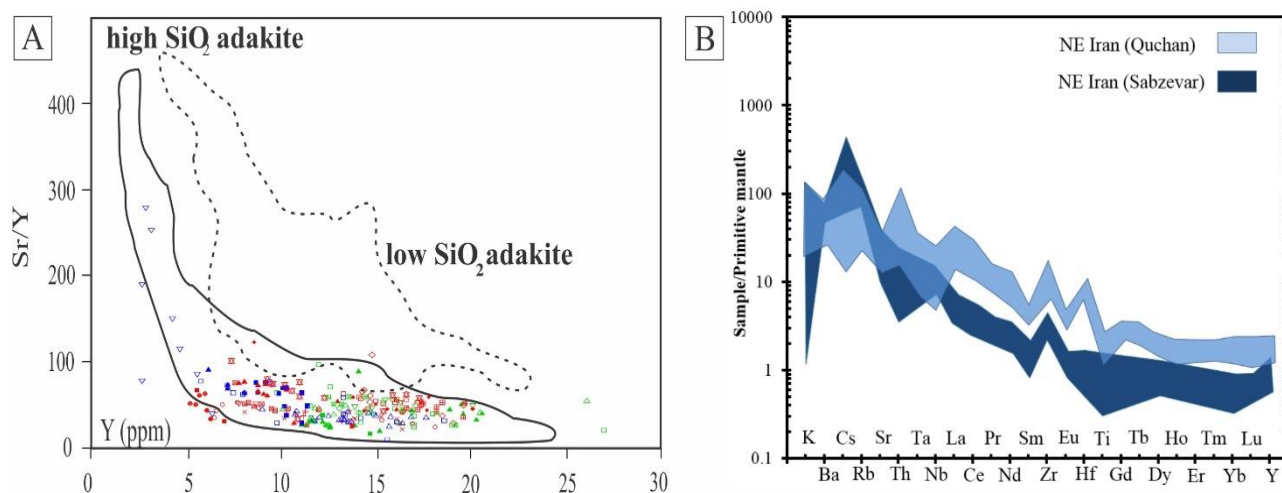
Location	Area	Series	SiO ₂ (wt.%)	Al ₂ O ₃ (wt.%)	MgO (wt.%)	Na ₂ O (wt.%)	Sr (ppm)	Y (ppm)	Sr/Y	Yb (ppm)	La/Yb	Number	Ref.
North (Iran)	Sabzevar	CA	71.60	15.15	0.34	4.96	488	5.55	88.72	0.42	23.21	17	1
	Neyshabour	CA-Th	64.34	16.51	1.81	6.18	563	10.19	55.24	1.06	12.21	16	2
	North Firuzeh	CA	65.99	16.56	1.01	4.17	437	13.41	32.03	0.85	20.2	22	3
	Chakaneh	CA	66.67	17.11	1.65	4.44	483	8.06	64.30	0.82	25.03	5	4
	NW Firozeh	CA	65.0	15.5	2.55	4.55	310	11.4	23.50	1.1	12.05	16	5
	Sabzevar	CA	72.01	17.38	3.67	2.12	465	3.95	124	0.21	21.03	14	6
	Soltan Abad	CA	67.32	17.01	0.44	5.42	556	2.48	260	0.14	29.74	18	7
	Mashkan	CA	61.3	16.38	3.55	4.55	481	11.5	46.9	1.10	26.4	17	8
Center (Iran)	Sang-e-Rahuzg	CA	61.36	16.13	2.27	3.7	347	7.42	31.84	0.67	30.49	15	9
	Khosf	CA-Sh	58.65	16.88	2.43	3.82	826	15.52	57.97	1.61	21.95	10	10
	Garjegan	Sh-CA	62.61	16.29	1.25	3.6	806	15.27	52.65	1.70	18.0	10	11
	Bibi maryam	Th- CA	72.02	15.29	1.33	4.85	245	6.81	35.99	0.73	16.08	6	12
	Fadeshk	CA	67.09	17.64	1.43	4.64	392	10.78	36.37	1.16	15.33	10	13
	Gorong	CA	62.16	17.31	-	4.93	456	13.89	33.99	1.4	12.67	10	14
	Pironj	CA	64.31	15.5	2.34	4.23	580	<9.51	-	<0.83	-	10	15
	Shurab	CA	62.79	16.86	2.29	4.22	393	13.36	29.66	1.36	13.61	10	16
	Shadan	CA-Sh	58.68	16.21	2.41	3.52	776	17.6	44.1	1.91	16.01	10	17
	Tighanab	Th- CA	64.48	16.68	2.53	5.12	470	8.91	55.58	0.89	6.18	11	18
South (Iran)	ShahSoleyman Ali	CA- Sh	60.28	16.96	1.62	4.25	821	17.3	47.82	1.80	14.07	12	19
	Lakhshak	CA- Sh	62.39	16.09	2.78	4.06	661	15.13	43.70	1.21	31.98	10	20
	Chah Sorbi	CA	60.30	16.49	3.19	3.37	641	14.47	44.29	1.29	20.22	7	21
	Lar	Sh	58.61	16.76	1.93	4.49	612	15.71	39.17	1.63	17.63	14	22
	MalekSiah Kuh	Sh-CA	58.67	15.40	4.66	3.05	465	13.18	66.0	2.10	11.0	10	23
	Taftan	CA	62.05	16.55	2.9	3.1	645	14.0	40.0	1.42	14.0	10	24
	Shahsavaran	CA	63.11	15.21	2.25	2.67	600	15.02	39.93	1.56	19.86	5	25
	Karevandar	Sh	56.29	15.35	3.56	2.33	720	12.53	57.65	1.25	23.33	9	26
World	Adakite	CA	≥ 56	≥ 15	< 3	≥ 3	> 300	< 10	> 20	< 1	> 20	-	27

References: 1- Mohammadi et al., 2015; 2- Fazelvalipour (2021); 3-Aghabazaz (2012); 4- Taheri-Sarteshnizi (2018); 5- Nanvabashi (2011); 6- Jamshidi et al. (2018); 7- Omrani (2018); 8- Tanha (2009); 9- Mohammadi et al. (2017); 10- Yousefzadeh et al. (2019); 11- Aboutalebi et al. (2016); 12- Delavari et al. (2014); 13- Torshizi et al. (2016); 14- Labbaf et al. (2014); 15- Ramezani et al. (2013); 16- Gholami et al. (2016); 17- Richards et al. (2012); 18- Nakhaei and Mohammadi (2021); 19- Ketabi et al. (2015); 20- Kananian et al., (2007); 21- Boomeri et al. (2020b); 22-Boomeri et al. (2020a); 23- Javan Khosh Kholgh et al. (2017); 24- Delavari and Shakeri (2016); 25- Tavakoli rad (2013); 26- Daryapeyma Hormozi et al. (2016); 27- Castillo (2012); CA: calc-alkaline; Th: tholeite, Sh: shoshonite.



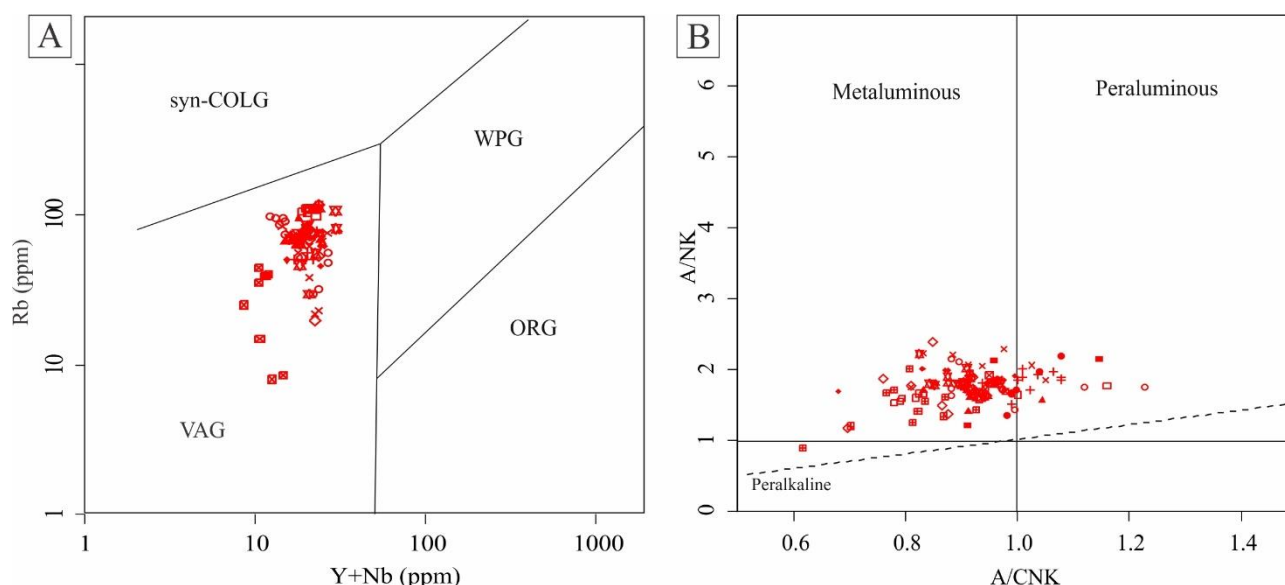
شکل ۳. نمودار زمین‌شیمیایی شناسایی نوع سری ماگمایی و ماهیت سنگ‌های آتشفشانی بخش شمالی (شمال شرق ایران)، A: نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) و B: نمودار A/CNK در مقابل A/NK (Shand, 1943). راهنما مشابه شکل ۲ است. [A: Al_2O_3 , C: CaO , N: Na_2O , K: K_2O]

Fig. 3. Geochemical diagrams to identify the magmatic series and nature of volcanic rocks from northern part (Northeastern Iran), A: SiO_2 vs K_2O plot (Peccerillo and Taylor, 1976), and B: A/CNK vs A/NK plot (Shand, 1943). Legends as figure 2. [A: Al_2O_3 , C: CaO , N: Na_2O , K: K_2O]



شکل ۴. A: مقایسه آداکیت‌های شرق ایران با آداکیت‌های سیلیس بالا و کم سیلیس در نمودار Y در مقابل Sr/Y (Martin et al., 2005) و B: نمودار عنکبوتی بهنجار سازی چند عنصری نسبت به گوشته اولیه برای آداکیت‌های شمال شرق ایران (Sun and McDonough, 1989). راهنما مشابه شکل ۲ است.

Fig. 4. A: Comparing eastern Iran adakites with high- SiO_2 adakites and low- SiO_2 adakites in Y versus Sr/Y diagram (Martin et al., 2005), and B: Primitive mantle-normalized multi-element spider diagram for northeastern Iran adakites (Sun and McDonough, 1989). Legends as figure 2.



شکل ۵. نمودار زمین‌شیمیایی شناسایی نوع سری ماگمایی و ماهیت نمونه‌های بخش مرکزی (شرق ایران)، A: نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) و B: نمودار تفکیک‌کننده موقعیت زمین‌ساختی گرانیت‌ها (Pearce et al., 1984)، محیط کمان آتشفشانی را نشان می‌دهد. ORG: گرانیت پشته میان اقیانوسی، wpg: گرانیت درون صفحه‌ای، VAG: گرانیت کمان آتشفشانی، syn-COLG: گرانیت هم‌زمان با برخورد. راهنما مشابه شکل ۲ است.

Fig. 5. Geochemical diagrams to identify the magmatic series and nature of samples from central part (Eastern Iran), A: SiO_2 vs K_2O plot (Peccerillo and Taylor, 1976), and B: Discriminant granite tectonic setting diagram (Pearce et al., 1984) shows volcanic arc setting. ORG=ocean ridge granite, WPG: within-plate granite, VAG: volcanic arc granite, syn-COLG: syn-collisional granite. Legends as figure 2.

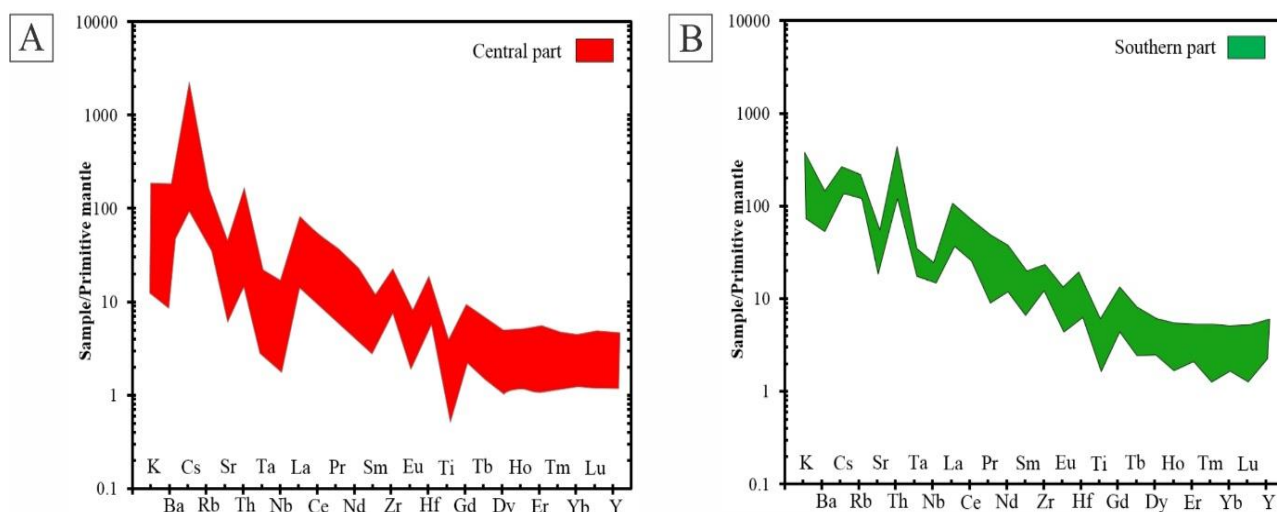
گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند (شکل ۶-۱).

سنگ‌های نیمه عمیق تیغناپ (الیگو-میوسن) و گرانیتوئیدهای بی‌بی مریم (پالئوسن) از لحاظ ساختاری در بخش شمالی زمین‌دراز سیستان واقع شده‌اند (Delavari et al., 2014). مقادیر SiO_2 نسبتاً بالا (۶۳/۵ تا ۷۴/۲ درصد وزنی)، Al_2O_3 از ۱۳/۵ تا ۱۸/۹ درصد وزنی (۱۶/۴ درصد وزنی)، MgO (۱/۲ تا ۳/۵ درصد وزنی)، K_2O (۰/۲۸ تا ۱/۵ درصد وزنی)، Th (۰/۴ تا ۵/۵ گرم در تن)، Ni (۲ تا ۱۳/۵ گرم در تن) و Co (۰/۳ تا ۱۴ گرم در تن) نشان می‌دهند. این سنگ‌ها با دارا بودن Na_2O/K_2O (۲/۸۴ تا ۷/۳۳)، Sr/Y (۳۲ تا ۷۴/۷)، La/Yb (۴/۲ تا ۲/۲۲)، مقدار Y حدود ۵ تا ۱۲ (۷/۹) و محتوای TiO_2 معمولاً کمتر از ۰/۵ درصد

آداکیت‌های شادان، شاه سلیمان علی، پیرونج، سنگ رهوزگ، گارجگان و خوسف با SiO_2 نسبتاً بالا (۵۵/۷ تا ۷۰/۲ درصد وزنی)، Al_2O_3 از ۱۴/۹ تا ۱۸/۳ درصد وزنی (۱۶/۵ درصد وزنی)، MgO (۰/۴ تا ۴/۳ درصد وزنی)، محتوای K_2O (۱/۰۷ تا ۴/۸۹ درصد وزنی)، Th (۵/۲۲ تا ۸ گرم در تن)، Ni (۹ تا ۷۶ گرم در تن) و Co (۳ تا ۳۲ گرم در تن) نشان می‌دهند. نسبت Sr/Y حدود ۲۷ تا ۱۲۲ (۵۶)، مقدار Y حدود ۷/۴ تا ۲۰ (۱۴/۳) و محتوای TiO_2 آنها معمولاً کمتر از ۰/۶ درصد وزنی است که نشان‌دهنده آداکیت‌های سیلیس بالاست (شکل ۴-۱). نسبت عناصری مانند Th/Sm (۱/۲ تا ۴/۶)، Th/Yb (۳ تا ۱۷/۸) و Nb/La (۰/۱۵ تا ۰/۴۲) است و تهی‌شدگی Nb را در مقایسه با سایر HFSE در الگوی نمودار چند عنصری به‌نکار شده به

(شکل ۶-۱). الگوی نمودار چند عنصری بهنجارشده به گوشته (شکل ۴-۱). همچنین تهی‌شدگی Nb در مقایسه با سایر HFSE در الگوی نمودار چند عنصری بهنجارشده به گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند برای مقایسه در شکل ۶-۱ ارائه شده است.

وزنی و بدون ناهنجاری‌های Eu قابل توجه، مشابه آداکیت‌های سیلیس بالا هستند (شکل ۴-۱). همچنین تهی‌شدگی Nb در مقایسه با سایر HFSE در الگوی نمودار چند عنصری بهنجارشده به گوشته (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند

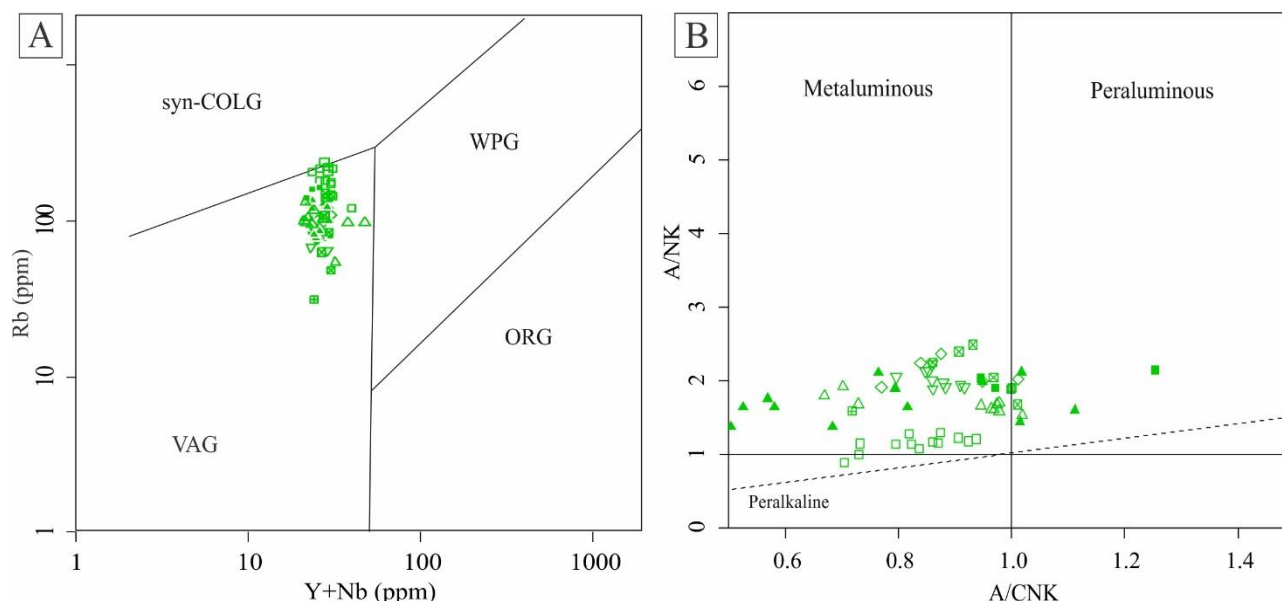


شکل ۶. نمودار عنکبوتی بهنجارشده چند عنصری نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) آداکیت‌های مورد بررسی، A: نمونه‌های بخش مرکزی (شرق ایران) و B: نمونه‌های بخش جنوبی (جنوب شرق ایران)

Fig. 6. Primitive mantle-normalized multi-element spider diagram (Sun and McDonough, 1989) for studied adakites, A: samples from central part (eastern Iran), and B: samples from southern part (southeastern Iran).

تا ۶۹/۱ درصد وزنی)، MgO (~۳ درصد وزنی)، K₂O (~۳/۷ درصد وزنی)، Ni (۷ تا ۱۰۱ گرم در تن)، Th (۳/۷ تا ۳۱/۶ گرم در تن)، Y (۹/۸ تا ۲۷ گرم در تن)، نسبت Sr/Y (۱۸ تا ۹۶ گرم در تن) و Sm/Yb (۱/۱ تا ۶/۲) هستند؛ اگرچه برخی از نمونه‌ها دارای مقادیر بالایی از MgO (تا ۹/۲۵ درصد وزنی)، یا K₂O (تا ۹/۹۴ درصد وزنی) هستند (جدول ۱). در مقایسه با سایر آداکیت‌های شرق ایران، این سنگ‌ها محتوای SiO₂ کمتر؛ اما MgO بالاتر و مقادیر بالاتر Th و Th/Ce (۰/۱ تا ۰/۶۴) را نشان می‌دهند. محتوای MgO در برخی نمونه‌های ملک سیاه‌کوه به طور کلی بالاتر از آن چیزی است که برای HSA تعریف شده است.

آداکیت‌های بخش جنوبی (جنوب شرق ایران)
سنگ‌های با ماهیت آداکیتی از مناطق لار (ائوسن - الیگوسن)، ملک سیاه‌کوه (الیگومیوسن)، لخشک (الیگومیوسن) و چاه سربی (الیگوسن)، شهبوران، تفتان و کارواندر گزارش شده‌اند (جدول ۱ و شکل ۱-۱). بر اساس نمودار طبقه‌بندی شیمیایی (Middlemost, 1994)، سنگ‌های آتشفشانی بخش جنوبی اغلب داسیت تا آندزیت (شکل ۲-۱) و سنگ‌های نفوذی اغلب دیوریت و گابرو دیوریت هستند (شکل ۲-۲). نمودار تفکیک‌کننده موقعیت زمین‌ساختی گرانیته‌ها (Pearce et al., 1984)، محیط کمان آتشفشانی را نشان می‌دهد (شکل ۷-۱). اغلب متاآلومینوس و به طور محدود پرآلومینوس هستند (شکل ۷-۲) (Shand, 1943). این سنگ‌ها حاوی SiO₂ نسبتاً زیاد (۵۳/۱۵



شکل ۷. نمودار زمین‌شیمیایی شناسایی نوع سری ماگمایی و ماهیت نمونه‌های بخش مرکزی (شرق ایران)، A: نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Peccerillo and Taylor, 1976) و B: نمودار تفکیک‌کننده موقعیت زمین‌ساختی گرانیت‌ها (Pearce et al., 1984)، محیط کمان آتشفشانی را نشان می‌دهد. ORG: گرانیت پشته میان اقیانوسی، WPG: گرانیت درون صفحه‌ای، VAG: گرانیت کمان آتشفشانی، syn-COLG: گرانیت هم‌زمان با برخورد. راهنما مشابه شکل ۲ است.

Fig. 7. Geochemical diagrams to identify the magmatic series and nature of samples from central part (Eastern Iran), A: SiO_2 vs K_2O plot (Peccerillo and Taylor, 1976), and B: Discriminant granite tectonic setting diagram (Pearce et al., 1984) shows volcanic arc setting. ORG: ocean ridge granute, WPG: within-plate granite, VAG: volcanic arc granite, syn-COLG: syn-collisional granite. Legends as figure 2.

غنی‌شدگی LREE و LILE به ترتیب نسبت به HREE و HFSE، ناهنجاری منفی Ti، Ba و Nb و ناهنجاری مثبت Rb و Th مشابه سنگ‌های آذرین از نوع کمانی است (شکل ۶-B). ناهنجاری منفی Zr در برخی از نمونه‌ها ممکن است نشان‌دهنده شروع اشباع Zr باشد (Boomeri et al., 2020a). برخی از نمونه‌های ملک سیاه‌کوه ناهنجاری مثبت Eu را در الگوی نمودار چند عنصری به‌نچار شده به‌گوشه نشان می‌دهند (شکل ۶-B). نمونه‌های مربوط به شهسواران، کارواندر و تفتان (کوآترنر)، در انتهای زون ساختاری فلیش نه‌بندان-خاش و کمربند زمین‌ساختی فعال مکران قرار دارند. ترکیب بیشتر سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و داسیتی است. این سنگ‌ها شبیه به سری‌های کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا هستند. این سنگ‌ها SiO_2 نسبتاً بالا

وزنی (۵۶/۳ تا ۶۵/۷ درصد وزنی)، Al_2O_3 از ۱۴/۷ تا ۱۷/۴ درصد وزنی (~۱۶/۴ درصد وزنی)، MgO (۱/۷ تا ۴ درصد وزنی)، محتوای K_2O (۱/۱۸ تا ۵/۵ درصد وزنی)، Th (۸/۹ تا ۱۶ گرم در تن)، Ni (۲۱ تا ۶۱ گرم در تن) و Co (۸ تا ۲۶ گرم در تن) نشان می‌دهند. نسبت Sr/Y حدود ۴۰ تا ۶۳ (~۴۸)، مقدار Y حدود ۱۲/۵ تا ۲۰ (~۱۵) و محتوای TiO_2 آنها معمولاً کمتر از ۰/۷ درصد وزنی و مشابه آداکت‌های سیلیس بالاست (شکل ۴-A). این سنگ‌ها از نظر محتوای Rb کمی متفاوت با آداکت‌ها هستند (Biabangard and Moradian, 2009). نسبت عناصری مانند Th/Sm (۱/۵ تا ۴)، Th/Yb (۴ تا ۱۰/۷) و تهی‌شدگی Nb را در مقایسه با سایر HFSE در الگوی نمودار چند عنصری به‌نچار شده به‌گوشه (Sun and McDonough, 1989) نشان می‌دهند

DOI: 10.22067/econg.2023.80308.1062

(شکل ۶-B).

نظر سن قدیمی‌تر (حدود ۴۰ میلیون سال قبل) و شامل آداکیت‌های با میزان MgO کم تا زیاد هستند. هستی و همکاران (Hastie et al., 2016) و مویین (Moyen, 2009) اشاره کرده‌اند که ناهنجاری‌های منفی و محتوای کم Nb-Ti در این سنگ‌ها (شکل ۴-B) را می‌توان با باقی‌مانده روتیل، آمفیبول، تیتانیت، ایلمنیت و یا اسفن در ناحیه منشأ و یا ناشی از غنی‌سازی عناصر لیتوفیل با شعاع یونی بزرگ (مانند Cs) و REE سبک (به عنوان مثال، La، Ce، Pr) نسبت به Nb و Ta به دلیل اختلاط مذاب‌های ورقه اقیانوسی با سیالات آبدار توضیح داد. این ویژگی‌های زمین‌شیمیایی با شواهد ماگماهای متناسب به مناطق فرورانش همخوانی دارد.

دیگر داده‌های زمین‌شیمیایی مانند مقادیر Th ، $\text{SiO}_2\text{-MgO}$ ، Th/Ce کم و کروم، نیکل نسبتاً بالا نیز می‌تواند در ارتباط با ذوب ورقه اقیانوسی باشد (شکل ۸-A). بررسی‌های زمین‌شیمیایی (شکل ۸-B) و ترکیب‌های ایزوتوپی $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i=0.7041-$ ، $\epsilon\text{Nd}_i=5.60-6.10$ ، $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.536-15.538$ بیانگر آن است که ماگمای سازنده گنبد‌های ریولیتی در منطقه سبزووار از ذوب‌بخشی ورقه اقیانوسی فرورانده شده (ترکیب گارنت آمفیبولیت) ایجاد شده و سپس از راه تبلور تفریقی تحول یافته است (Mohammadi et al., 2015). نسبت‌های اولیه ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (۰/۷۰۴۳ تا ۰/۷۰۳۹) و $\epsilon\text{Nd}_{10\text{Ma}}$ (۲/۹ تا ۴/۹۸) نیز منشأ ذوب‌بخشی لیتوسفر اقیانوسی طی فرورانش شاخه شمالی نئوتیس در تولید سنگ‌های آداکیتی جنوب‌غرب قوچان (چکنه) را تأیید می‌کند (Gardideh et al., 2018; Rezaei-). (Kahkhaei et al., 2021).

آداکیت‌های بخش مرکزی (شکل ۱-C) بر خلاف آداکیت‌های بخش شمالی (شکل ۱-B)، بیشتر ترکیب آندزیت-داسیت داشته و ویژگی آداکیت‌های پس از برخورد را نشان می‌دهند (شکل ۸). در نمونه‌های مورد بررسی از گورونگ، شوراب و فدشک چنان که قبلاً اشاره شد، نسبت عناصری مانند Th/Sm بالا (۱/۵ تا ۶/۶۵)، Th/Yb (۲/۵ تا ۱۶/۷) و Nb/La کم (۰/۲۵ تا ۰/۶۵) منبع گوشته لیتوسفری را نشان می‌دهد (Smith et al., 1999).

بحث و بررسی

ارتباط ماگماتیسیم آداکیتی با تحولات ماگمایی-زمین‌ساختی

منشأ آداکیت‌ها از ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی فرورانش شده (آمفیبولیت-اکلوژیت)، ذوب‌بخشی پوسته زیرین ضخیم‌شده در میدان پایداری کلینوپروکسن، آمفیبول، \pm گارنت و در یک محیط پس از برخورد، ذوب‌بخشی پوسته زیرین در پهنه‌های کششی درون قاره‌ها، ذوب گوه گوشته‌ای و سپس تفریق ماگما در فشار بالا و اختلاط ماگما بیان شده است (Wang et al., 2006).

سنگ‌های آداکیتی گزارش شده در ایران از ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی فرورانش شده (مانند آداکیت‌های اواخر میوسن در شمال‌غرب ایران؛ آداکیت ائوسن تا میوسن در مرکز کمربند ارومیه-دختر؛ آداکیت پالئوسن بی‌بی مریم در سیستان)، ذوب‌بخشی پوسته زیرین ضخیم‌شده و لیتوسفر گوشته‌ای (مانند آداکیت‌های میوسن ایران مرکزی)، ذوب لیتوسفر قاره‌ای متاسوماتیزه شده (مانند آداکیت میوسن در شمال‌غرب ایران)، ذوب‌بخشی پریدوتیت یا گارنت آمفیبولیت در پوسته پایینی (شبه آداکیت‌های سنوزوئیک کمربند ارسباران) منشأ گرفته‌اند (Jahangiri, 2007; Omrani et al., 2008; Ghorbani and Bezenjani, 2011; Delavari et al., 2014; Rossetti et al., 2014; Jamali and Mehrabi, 2015; Alirezaei et al., 2017; Omrani, 2018; Jamshidi et al., 2018; Torkian et al., 2019).

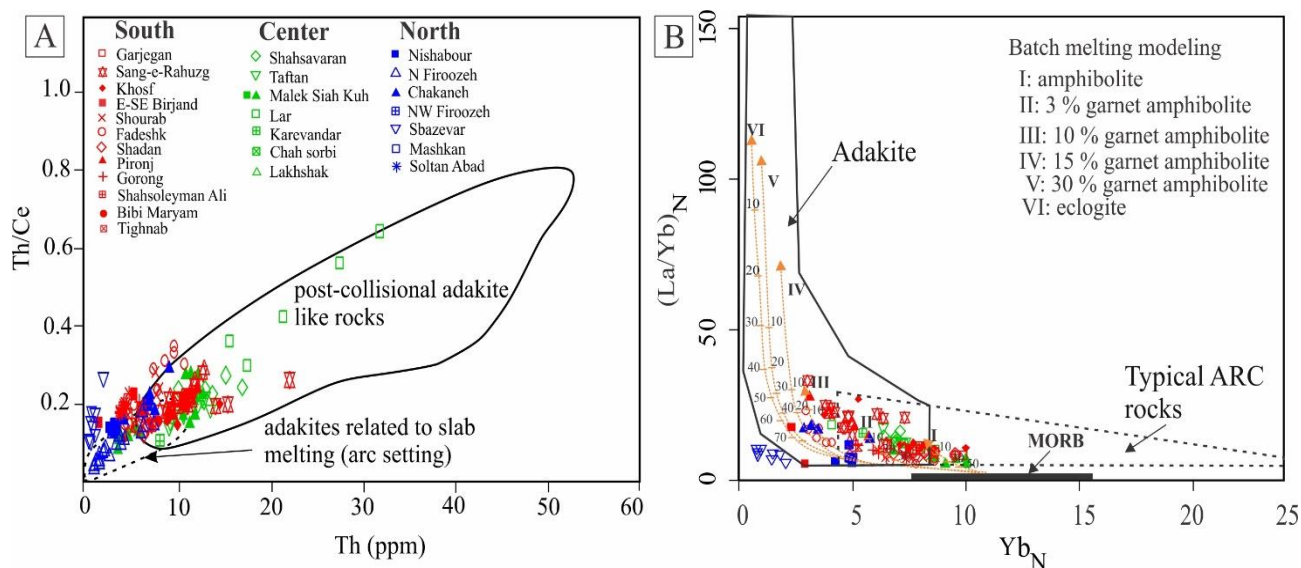
سنگ‌های آداکیتی پهنه شرقی ایران (از شمال‌شرق تا جنوب‌شرق)، نیز ویژگی‌های زمین‌شیمیایی متفاوتی را نشان می‌دهند که بیانگر جایگاه‌های زمین‌ساختی و منشأ متفاوت این واحدهای سنگی است. ماگماتیسیم آداکیتی به ویژه در سبزووار اغلب ترکیب ریولیت-داسیت-آندزیت است. در بخش شمال‌شرق (شکل ۱-B)، در منطقه نیشابور تا قوچان این سنگ‌ها از نظر سنی جوان (حدود ۳۰ میلیون سال قبل و جوان‌تر) بوده و همگی دارای MgO پایین هستند؛ در حالی که در منطقه سبزووار، سنگ‌های آداکیتی از

آدکیت‌های یک فاز باقی‌مانده اصلی در طول ذوب به خصوص در بیشتر نمونه‌ها دارای نسبت $Ce/Yb < 30$ هستند که نشان‌دهنده فرورانش مرتبط با کمان قاره‌ای غنی‌شده است، به جز برخی از نمونه‌های خوسف و سنگ‌رهوزگ که حاوی Ce/Yb تا ۷۳ هستند. سنگ‌هایی که پیامد ذوب‌بخشی پوسته زیرین ضخیم‌شده هستند، معمولاً MgO و یا $Mg\#$ کم (معمولاً کمتر از ۴۵) دارند (Rapp et al., 1991). آدکیت‌های تشکیل‌شده از ذوب‌بخشی پوسته پایینی مانند سنگ‌رهوزگ حاوی K_2O نسبتاً بالایی (۳~ درصد وزنی) و Th (۱۰ تا ۲۰ گرم در تن) هستند (Wang et al., 2006).

آدکیت‌های پیرونج در مرز مشترک بین لبه شمال‌غربی زون سیستان و مرز بلوک لوت قرار دارند. این واحدهای سنگی نیز با توجه به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی از ذوب‌بخشی پوسته زیرین تشکیل شده‌اند که پس از برخورد صفحه‌های افغان و لوت اتفاق افتاده است (Pang et al., 2013). برخی از آدکیت‌های تیغناپ (الیگو-میوسن) و گرانیتوئیدهای بی‌بی مریم (پالئوسن) نسبت K_2O/Na_2O بین (۰/۱ تا ۰/۴) و MgO (۰/۹ تا ۳/۵) درصد وزنی، Th (۰/۹ تا ۴/۵) گرم در تن) و Th/Ce (۰/۰۹ تا ۰/۱۹) مشابه آدکیت‌های ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی و محیط زمین‌ساختی پیش از برخورد صفحه را نشان می‌دهند (شکل ۸-۸). نمونه‌های تیغناپ حاوی $Rb/Ba < 0.1$ و $Nb/U \sim 4$ است که مشابه ماگمایی است که از پوسته زیرین منشأ می‌گیرد و ترکیب خاستگاه شبیه به هورنبلند اکلوزیت یا گارنت آمفیبولیت است (شکل ۸-۸). بر اساس نظر دلاوری و همکاران (Delavari et al., 2014)، آدکیت بی‌بی مریم در یک کمان اقیانوسی قبل از ضخیم‌شدن پوسته ناشی از برخورد قاره‌ای ناحیه زمین‌درز سیستان تشکیل شده است. همبستگی منفی بین نسبت‌های Dy/Yb و SiO_2 نشان می‌دهد که آمفیبول نقش مهم‌تری نسبت به گارنت در مذاب تولیدکننده HSA در بیشتر آدکیت‌های بخش‌های مرکزی شرق ایران ایفا می‌کند (Davidson et al. 2013). لذا

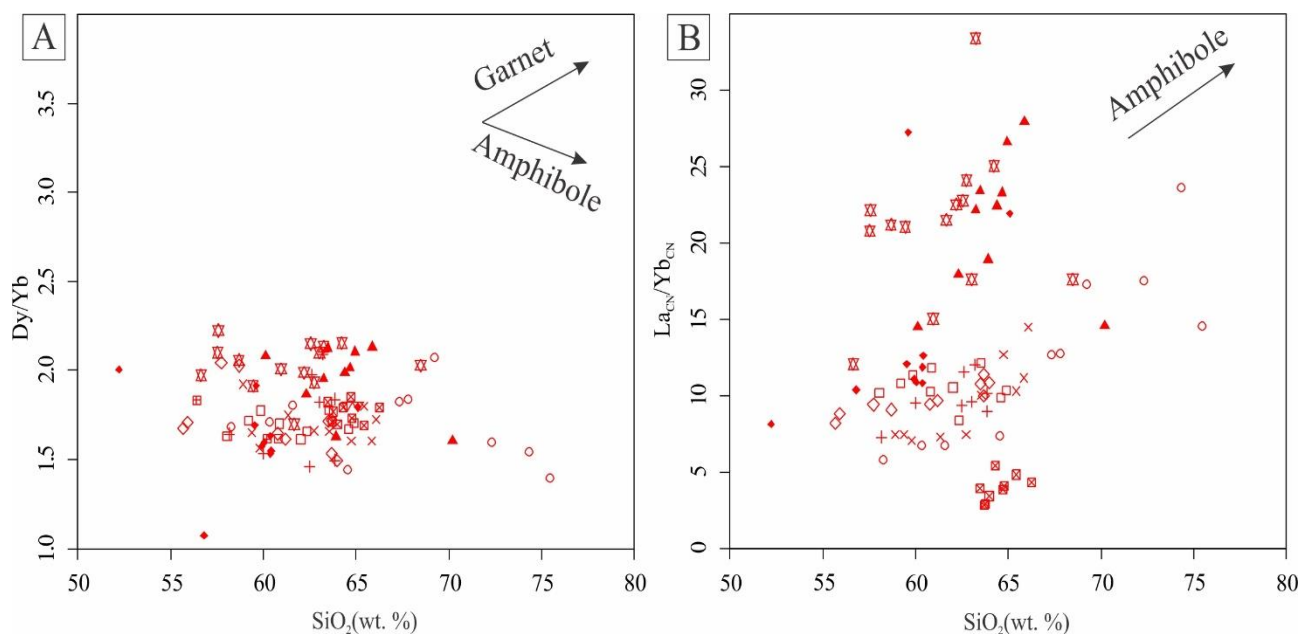
آدکیت‌های یک فاز باقی‌مانده اصلی در طول ذوب به خصوص در بیشتر نمونه‌ها دارای نسبت $Ce/Yb < 30$ هستند که نشان‌دهنده فرورانش مرتبط با کمان قاره‌ای غنی‌شده است، به جز برخی از نمونه‌های خوسف و سنگ‌رهوزگ که حاوی Ce/Yb تا ۷۳ هستند. سنگ‌هایی که پیامد ذوب‌بخشی پوسته زیرین ضخیم‌شده هستند، معمولاً MgO و یا $Mg\#$ کم (معمولاً کمتر از ۴۵) دارند (Rapp et al., 1991). آدکیت‌های تشکیل‌شده از ذوب‌بخشی پوسته پایینی مانند سنگ‌رهوزگ حاوی K_2O نسبتاً بالایی (۳~ درصد وزنی) و Th (۱۰ تا ۲۰ گرم در تن) هستند (Wang et al., 2006).

آدکیت‌های پیرونج در مرز مشترک بین لبه شمال‌غربی زون سیستان و مرز بلوک لوت قرار دارند. این واحدهای سنگی نیز با توجه به ویژگی‌های زمین‌شیمیایی از ذوب‌بخشی پوسته زیرین تشکیل شده‌اند که پس از برخورد صفحه‌های افغان و لوت اتفاق افتاده است (Pang et al., 2013). برخی از آدکیت‌های تیغناپ (الیگو-میوسن) و گرانیتوئیدهای بی‌بی مریم (پالئوسن) نسبت K_2O/Na_2O بین (۰/۱ تا ۰/۴) و MgO (۰/۹ تا ۳/۵) درصد وزنی، Th (۰/۹ تا ۴/۵) گرم در تن) و Th/Ce (۰/۰۹ تا ۰/۱۹) مشابه آدکیت‌های ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی و محیط زمین‌ساختی پیش از برخورد صفحه را نشان می‌دهند (شکل ۸-۸). نمونه‌های تیغناپ حاوی $Rb/Ba < 0.1$ و $Nb/U \sim 4$ است که مشابه ماگمایی است که از پوسته زیرین منشأ می‌گیرد و ترکیب خاستگاه شبیه به هورنبلند اکلوزیت یا گارنت آمفیبولیت است (شکل ۸-۸). بر اساس نظر دلاوری و همکاران (Delavari et al., 2014)، آدکیت بی‌بی مریم در یک کمان اقیانوسی قبل از ضخیم‌شدن پوسته ناشی از برخورد قاره‌ای ناحیه زمین‌درز سیستان تشکیل شده است. همبستگی منفی بین نسبت‌های Dy/Yb و SiO_2 نشان می‌دهد که آمفیبول نقش مهم‌تری نسبت به گارنت در مذاب تولیدکننده HSA در بیشتر آدکیت‌های بخش‌های مرکزی شرق ایران ایفا می‌کند (Davidson et al. 2013). لذا



شکل ۸. A: نمودار نسبت Th/Ce در مقابل Th برای سنگ‌های آداکیتی شرق ایران (Wang et al., 2006) و B: نمودار $(La/Yb)_N$ در مقابل Yb_N (Defant and Drummond, 1990)

Fig. 8. A: Th/Ce versus Th diagram for the Eastern Iran adakite rocks (Wang et al., 2006), and B: $(La/Yb)_N$ versus Yb_N diagram (Defant and Drummond, 1990)



شکل ۹. نمودار توزیع A: SiO_2 در مقابل Dy/Yb و B: SiO_2 در مقابل La_{CN}/Yb_{CN} در سنگ‌های آداکیتی بخش مرکزی. (CN مقادیر بهنجار سازی نسبت به کندریت از بویتون (Boynton, 1984). راهنما مشابه شکل ۲ است.

Fig. 9. Distribution plot of A: SiO_2 vs. Dy/Yb , and B: SiO_2 vs. La_{CN}/Yb_{CN} in adakite rocks of central part (CN Chondrite-normalized values from (Boynton, 1984). Legends as figure 2.

بسته شدن نهایی آنها صورت گرفته است.

بر اساس بررسی‌های اعتمادی و کریم پور (Etemadi and Karimpour, 2022)، بیشتر ذخایر مس پورفیری ایران که می‌تواند در رده جهانی قرار گیرند، در محیط‌های تکتونوماگمایی کمربند ارسباران در شمال‌غرب، بخش‌های مرکزی و جنوبی کمربند ارومیه- دختر در غرب و جنوب‌غرب و بلوک لوت در شرق ایران واقع شده‌اند. واقعیت این است که با وجود پژوهش‌های ارزشمندی که در رابطه با تعیین سن و منشأ کانی‌سازی‌های مختلف در کمربند‌های تکتونوماگمایی شمال‌غرب و ارومیه- دختر انجام شده است، اطلاعات موجود در خصوص قابلیت‌های کانه‌زایی و ذخایر نهفته در شرق ایران بسیار محدود است. در شمال‌غرب ایران سن کانسارهای پورفیری مس اواخر الیگوسن تا اوایل میوسن، در بخش‌های میانی کمربند ارومیه دختر، این نوع کانسارها متعلق به اوایل میوسن و در منطقه کرمان، اغلب از اوایل تا اواخر میوسن گزارش شده است (Aghazadeh et al., 2015)؛ در حالی که بر اساس داده سن‌سنجی و اطلاعات زمین‌شیمیایی موجود کانی‌سازی مس پورفیری در شرق ایران منسوب به ائوسن است که می‌تواند به عنوان قدیمی‌ترین کانی‌سازی مس پورفیری در ایران مطرح شود.

اعتمادی و کریم پور (Etemadi and Karimpour, 2022) و ملکزاده شفارودی و همکاران (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2015) اشاره کرده‌اند، تغییرات زمانی در شکل‌گیری این توده‌ها می‌تواند ناشی از فرایندهای زمین‌ساختی متفاوت و زمان برخورد صفحه‌های لوت و افغان (پالئوسن-ائوسن میانی) در شرق و برخورد صفحه‌های عربستان و ایران مرکزی در ائوسن پایانی و ضخیم شدن پوسته و ماگماتیسیم هم‌زمان و یا پس از برخورد در این مناطق باشد. بود و یا نبود کانی‌سازی در مقیاس‌های مختلف نیز می‌تواند به منشأ ماگما و فرایندهای بعدی که ماگما در حین جایگزینی متحمل می‌شود و همچنین باز یا بسته بودن سامانه ماگمایی مولد کانی‌سازی مرتبط باشد (Shafiei et al., 2009). کانسارها پورفیری گزارش شده شرق ایران، ذخایر شادان، چاه

آداکیت‌های بخش جنوبی (شکل ۱-D)، بر خلاف آداکیت‌های دیگر بخش‌های شرق ایران، محتوای SiO_2 کمتر؛ اما MgO و K_2O بالاتری را نشان می‌دهند. محتوای K_2O بالا در این سنگ‌ها نیاز به فازهای پتاسیم (فدسپات پتاسیم یا فلوگوپیت) در سنگ‌های منشأ دارد (Boomeri et al., 2020b; Javan Khosh Kholgh et al., 2017). محتوای MgO در برخی نمونه‌های ملک سیاه کوه به طور کلی بالاتر از آن چیزی است که برای HSA تعریف شده است. مقدار بیشتر MgO ، Ni و Cr در HSA (در مقایسه با مذاب‌های تجربی) به دلیل برهم کنش مذاب با پریدوتیت گوشته است (Rapp et al., 1991).

نمونه‌های مربوط به شهسواران، کارواندر و تفتان (کواترن) در کمربند زمین‌ساختی فعال مکران قرار دارند. این سنگ‌ها از برخی جهت‌ها شبیه آداکیت‌ها بوده؛ اما از نظر محتوای Rb کمی متفاوت هستند (Biabangard and Moradian, 2009). برخی از نمونه‌ها از ملک سیاه کوه بر روی منطقه مشترک آداکیت‌های مشتق شده از پوسته اقیانوسی فرورانش شده و آداکیت‌های مشتق از پوسته زیرین قرار می‌گیرند. خاستگاه مشابه ۱۰ تا ۱۵ درصد ذوب‌بخشی گارنت آمفیبولیت است. رفتار عناصر کمیاب نشان‌دهنده ادغام مواد مرتبط با فرورانش از فرورانش قبلی در ناحیه منبع گوشته است (Boomeri et al., 2020a).

ارتباط ماگماتیسیم آداکیتی با کانی‌سازی در شرق ایران
توانایی کانی‌سازی و ارتباط ژنتیکی نزدیک برخی از آداکیت‌ها با ذخایر مس-طلا و مس-مولیبدن پورفیری در بسیاری از پژوهش‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Thiéblemont et al., 1997; Sajona and Maury, 1998; Li et al., 2011; Richards et al., 2012; Zhang et al., 2021). بررسی‌ها نشان می‌دهد یک رابطه زمانی-مکانی بین آداکیت‌ها و نهشته‌های مس پورفیری و/یا ذخایر طلا-مس اپی‌ترمال در سطح جهانی وجود دارد (Aghazadeh et al., 2015). کانی‌سازی پورفیری در ایران به طور عمده در طی تکامل شاخه‌های اقیانوس نئوتیس و

(Kheirkhah et al., 2020)، آداکیت‌هایی که آمفیبول در پتروژنز آنها نقش اصلی دارد، به وضوح با کانی‌سازی اقتصادی مس پورفیری مرتبط هستند و آداکیت‌هایی که از نظر شیمیایی توسط گارنت به عنوان منشأ یا فاز تفریقی کنترل می‌شوند، اغلب عقیم هستند. به ندرت نمونه‌های دارای ذخیره اقتصادی با ویژگی گارنت (Sm/Yb بالا) گزارش شده است (Shafiei et al., 2009). در آداکیت‌های مورد بررسی تغییرات نسبت‌های La_N/Sm_N و Dy_N/Yb_N به ترتیب ۱/۷ تا ۱۰/۷ (میانگین ۴/۵) و ۰/۷ تا ۲/۵ (میانگین ۱/۲) است. بر این اساس بیشتر آداکیت‌های مورد بررسی به جز برخی آداکیت‌هایی که تغییرات نسبت‌های La_N/Sm_N کمتر از ۴ و Dy_N/Yb_N کمتر از ۱/۱ نشان می‌دهند، توانایی کانی‌سازی را دارند. بر اساس پژوهش کریم‌پور و صادقی (Karimpour and Sadeghi, 2019)، عواملی همچون گرادیان حرارتی اسلب فرورونده، مقدار آب، عمق دهیدراسیون، سنگ منشأ و درجه ذوب‌بخشی اسلب، در باروری، اندازه و بزرگی ذخایر کانسارهای مس پورفیری مؤثر هستند. بر همین اساس، مقایسه فرایندهای مختلف زمین‌شیمیایی در تشکیل کانی‌سازی از نوع پورفیری نشان می‌دهد که در کنار عوامل ذکر شده، منبع فلزی عاملی مهم در تشکیل ذخایر اقتصادی مس پورفیری در کمرند ارومیه دختر در مقایسه با ناحیه لوت است (Etemadi and Karimpour, 2022).

ذوب‌بخشی در شرایط احیایی به Eu/Eu^* کمتر از ۰/۷ منجر می‌شود (Karimpour et al., 2021). بررسی وضعیت اکسایش آداکیت‌های مورد بررسی در نمودار Eu/Eu^* در مقابل $(La/Yb)_N$ بیانگر آن است که بیشتر نمونه‌های مورد بررسی در شرایط اکسیدان قرار دارند (شکل ۱۰-A). ذوب‌بخشی در شرایط اکسیدان، عامل مثبتی برای ورود مس به ماگماست (Karimpour et al., 2021). چنان‌که اشاره شد، منشأ ماگما در بیشتر آداکیت‌های مورد بررسی از ۱۰ تا ۲۰ درصد ذوب‌بخشی منبع با ترکیب گارنت آمفیبولیت مطابقت دارد.

زاغو و ماهرآباد و نیز چند محدوده اکتشافی با پتانسیل پورفیری از جمله شیخ‌آباد را شامل می‌شوند. بر اساس مطالعات کریم‌پور و همکاران (Karimpour et al., 2011)، ریچاردز و همکاران (Richards et al., 2012) و ملک زاده سفارودی و همکاران (Malekzadeh Shafaroudi et al., 2015) این توده‌های پورفیری ماهیت کالک‌آلکان تا کمی شوشونیتی با ویژگی‌های ماگمایی مرتبط با قوس و تمایل به طبیعت آداکیتی را نشان می‌دهند. توده پورفیری شادان سن Ar-Ar برابر با $۰/۲۶ \pm ۳۷/۲۶$ میلیون سال قبل را نشان می‌دهد (Richards et al., 2012) که مربوط به اواخر ائوسن است، تعیین سن به کمک زیرکن از ذخایر پورفیری کانه‌دار ماهرآباد نیز سن U-Pb برابر با $۰/۸ \pm ۳۹/۰$ سال را بیان می‌کند (Malekzadeh Shafaroudi, 2009).

داده‌های مورد بررسی و نتایج ارائه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که حضور آداکیت‌هایی که واجد ویژگی‌های همراهی با کانه‌زایی هستند، در بخش‌های شمال‌شرق ایران منتسب به ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی طی فرورانش شاخه شمالی نئوتتیس است و واحدهای آداکیتی معرفی شده در بخش‌های مرکزی و جنوبی در شرق ایران نیز اغلب ویژگی آداکیت‌های پس از برخورد را نشان می‌دهند و اغلب توانایی لازم را برای نقش آفرینی در تشکیل ذخایر ارزشمند دارند. به طور کلی، این آداکیت‌ها اغلب نشان‌دهنده تبلور از ماگمای فلسیک بارور، اکسید شده و آبدار هستند که از نظر ترکیبی می‌توانند با مذاب‌های آداکیت غنی از فلز و حوزه‌های اصلی Cu-Au پورفیری و اپی‌ترمال جهان قابل قیاس باشند.

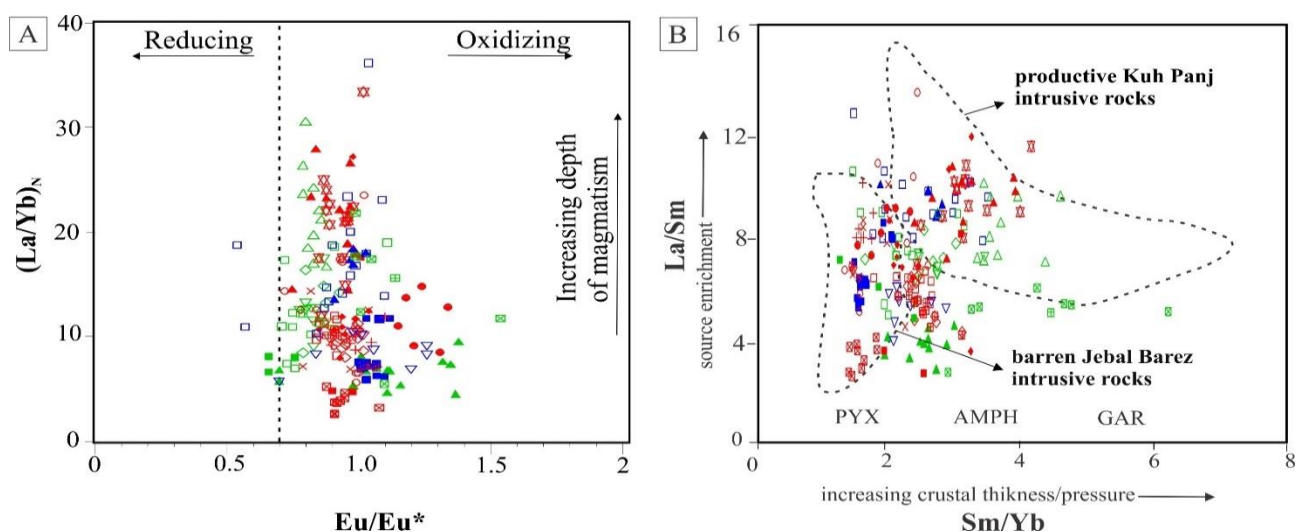
تغییرات نسبت‌های La/Sm و Dy/Yb در آداکیت‌ها به عنوان یک نشانه زمین‌شیمیایی برای توانایی کانی‌سازی در نظر گرفته شده است. چنان‌که به طور مثال ریچاردز و همکاران (Richards et al., 2012)، نسبت‌های معینی از (La_N/Sm_N) و (Dy_N/Yb_N) را برای تعیین ماگماتیسیم مولد (با مشارکت آمفیبول با مقادیر جزئی گارنت) از عقیم (دخالتهای کمی آمفیبول یا بدون آمفیبول) پیشنهاد کرده‌اند. بر اساس پژوهش خیرخواه و همکاران

زمین‌شیمیایی موجود، توجه بیشتر به کانی‌سازی‌های احتمالی همراه با این آداکیت‌ها ضروری است. پراکندگی موقعیت آداکیت‌های مورد بررسی، نسبت به نشانه‌های کانی‌سازی مس-طلا در شرق کشور که بر اساس شواهد صحرایی و یا نقشه‌های زمین‌شناسی شرق ایران تهیه شده، در شکل ۱۱-A ارائه شده است. موقعیت کانی‌سازی‌های مس-طلا به همراه ناهنجاری‌های مغناطیسی (شکل ۱۱-A) و تغییرات ضخامت پوسته (شکل ۱۱-B)، اهمیت این بررسی‌ها را با تأکید بر بررسی‌های ایزوتوپی برای تعیین سن، منشأ و اکتشافات دقیق و هدفمند در شرق ایران، بیش از پیش آشکار می‌سازد.

در صورتی که فوگاسیته اکسیژن نیز بالا باشد، این میزان ذوب‌بخشی اسلب توانایی تولید کانی‌سازی مس پورفیری را دارد (Karimpour et al., 2021).

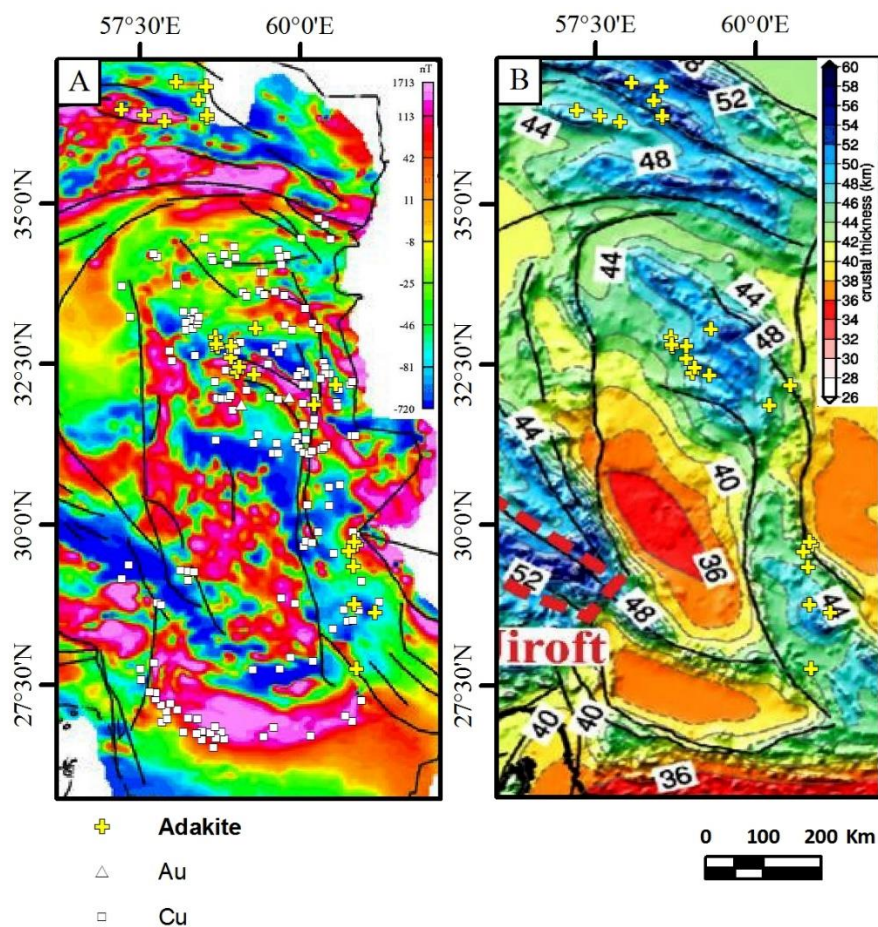
موقعیت نمونه‌های آداکیتی شرق ایران در شکل ۱۰-B که نسبت Sm/Yb در مقابل La/Sm را نشان می‌دهد، همراه با موقعیت توده‌های نفوذی مولد کانی‌سازی مس پورفیری کوه پنج و توده‌های غیرمولد از جبال بارز (Shafiei et al., 2009) ارائه شده است. چنان‌که در این شکل مشاهده می‌شود، برخی از نمونه‌های شرق ایران نیز نسبت‌های بالایی از La/Sm و Sm/Yb را نشان می‌دهند که با محدوده توده‌های مولد همخوانی دارد.

از آنجایی که بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده بر این آداکیت‌ها، بر جنبه‌های پترولوژیکی آنها اشاره دارد؛ لذا بر اساس شواهد



شکل ۱۰. A: نمودار Eu/Eu^* در مقابل $(La/Yb)_N$ کندریت به‌نجار شده نشان‌دهنده وضعیت اکسایش آداکیت‌های مورد بررسی است. خط تقسیم بین ماگمای احیایی و اکسیدان و روند افزایش عمق ماگماتیسیم از کریم پور و صادقی (Karimpour and Sadeghi, 2019) و B: نمودار نسبت‌های Sm/Yb در مقابل La/Sm متمایز کننده تغییر فشار در کانی‌شناسی و غنی‌سازی منشأ. نمودار پایه و مرزهای کانی‌های باقی‌مانده از کوه پنج و مپودوزیس (Kay and Mpodozis, 2001) و محدوده‌های خط‌چین از شفیع و همکاران (Shafiei et al., 2009). PYX: پیروکسن، AMPH: آمفیبول، GAR: گارنت. راهنما مشابه شکل ۸ است.

Fig. 10. A: Chondrite normalized $(La/Yb)_N$ vs. Eu/Eu^* diagram, demonstrating the oxidation state of studied adakites. Dividing line between reducing and oxidizing magma, and trend of increasing the depth of magmatism from Karimpour and Sadeghi (2019), and B: Plot of Sm/Yb vs. La/Sm ratios as discriminants for changing pressure in the source mineralogy and source enrichment. Base diagram and boundaries of residual minerals from Kay and Mpodozis (2001) and dashed lines from Shafiei et al. (2009). PYX: pyroxene, AMPH: amphibole, GAR: garnet. Legends as figure 8.



شکل ۱۱. پراکندگی آداکیت‌های شرق ایران در نقشه‌های A: پراکندگی کانی‌سازی‌های مس-طلا به همراه ناهنجاری‌های مغناطیس هوایی، برگرفته از صالح (Saleh, 2006) و B: تغییرات ضخامت پوسته در زون‌های ساختاری ایران با ترکیب داده‌های ارتفاعی و هندسی (Jiménez-Munt et al., 2012).

Fig. 11. Distribution of Eastern Iran adakities in the maps of A: distribution of copper-gold mineralizations along with aeromagnetic anomalies (after Saleh, 2006), and B: changes of crustal thickness in structural zones of Iran determined by the combining of elevation and geoid data (Jiménez-Munt et al., 2012).

نتیجه‌گیری

دارای SiO_2 ، Th ، MgO ، Th/Ce کمتر و محتوای کروم، نیکل و SiO_2 نسبتاً بالاتری بوده و متناسب به ذوب‌بخشی پوسته اقیانوسی شاخه‌هایی از نئوتتیس است.

بیشتر سنگ‌های آداکیتی در بخش‌های مرکزی و جنوبی در شرق ایران اغلب ویژگی آداکیت‌های پس از برخورد را نشان می‌دهند. بیشتر نمونه‌ها $\text{Ce/Yb} < 30$ دارند که فرورانش مرتبط با کمان قاره‌ای غنی شده پس از برخورد از منبع حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد

سنگ‌های آداکیتی گزارش شده از شمال شرقی تا جنوب شرقی ایران از نوع آداکیت‌های سیلیس بالا هستند. غالب ترکیب سنگ‌های آتشفشانی آداکیتی در سبزواری، ریولیت-داسیت-آندزیت و در بخش مرکزی از نوع آندزیت است. نتایج بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که آداکیت‌های HSA بخش شمالی (شمال شرق ایران) در مقایسه با سایر آداکیت‌ها

کانی‌سازی‌های مس-طلا هستند و اغلب توانایی لازم را برای نقش آفرینی در تشکیل ذخایر متنوع و ارزشمند دارند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسنده بیان نشده است.

قدردانی

از سردبیر و داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی که با نظرهای ارزشمند خود در ارتقای محتوای علمی این مقاله یاری نمودند، قدردانی می‌شود.

گارت آمفیبولیت را نشان می‌دهند. نسبت‌های Ba/Nb ، Sr/Nb و La/Nb در جهت شمال‌شرق کاهش می‌یابد که می‌تواند نشانه‌ای از کاهش اثرهای فرورانش از سمت جنوب-جنوب‌غرب به سمت شمال-شمال‌شرق در بلوک لوت باشد. سنگ‌های آداکیتی بخش جنوبی (جنوب‌شرق ایران) در مقایسه با سایر آداکیت‌های مورد بررسی، SiO_2 کمتری دارند؛ اما مقدار Sr ، MgO و Th/Ce بیشتری نشان می‌دهند. سنگ‌های مورد بررسی در گروه آداکیت‌های پس از برخورد قرار می‌گیرند که اغلب از ذوب پوسته ضخیم شده زیرین ایجاد شده‌اند. داده‌های مورد بررسی و نتایج ارائه شده در این پژوهش نشان می‌دهد که آداکیت‌های شرق ایران دارای ویژگی‌های همراهی با

1. Heavy Rare Earth Elements (HREEs)
2. High Field Strength Elements (HFSE)
3. High- SiO_2 Adakites (HSA)
4. Low- SiO_2 Adakites (LSA)
5. Jamaican-Type Adakites (JTA)
6. Sistan suture zone
7. Sonmiani
8. Loss on ignition (LOI)

References

- Aboutalebi, A., Mohammadi, S.S. and Zarrinkoub, M.H., 2016. Geochemistry and tectonic setting of Tertiary volcanic rocks from Garjgan area (southwest of Birjand). *Iranian Journal of Petrology*, 7(25): 139–156. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22108/ijp.2016.20837>
- Aghabazaz, F., 2012. Petrogenesis of the calc-alkaline and Adakitic volcanic rocks of North Firuzeh, West Neyshabur. M.Sc. Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 103 pp. (in Persian with English abstract)
- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z. and Zhou, L., 2015. Temporal–spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: constraints from zircon U–Pb and molybdenite Re–Os geochronology. *Ore Geology Reviews*, 70: 385–406.
<http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.oregeorev.2015.03.003>
- Alirezaei, A., Arvin, M. and Dargahi, S., 2017. Adakite-like signature of porphyry granitoid stocks in the Meiduk and Parkam porphyry copper deposits NE of Shahr-e-Babak Kerman Iran: constrains on geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 88: 370–83.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.04.023>
- Biabangard, H. and Moradian, A., 2009. Geochemical and petrographic study of common minerals in the Taftan volcanic Rocks. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 17(2): 187–202. (in Persian with English abstract) Retrieved September 19, 2021 from <http://ijcm.ir/article-1-580-en.html>
- Boomeri, M., Moradi, R. and Bagheri, S., 2020a. Petrology and origin of the Lar igneous complex of the Sistan suture zone, Iran. *Geologos*, 26(1): 51–64.
<https://doi.org/10.2478/logos-2020-0004>
- Boomeri, M., Naruyi, S. and Ghodsi, M., 2020b. Petrography and geochemistry of igneous rocks and Pb mineralization in Chasorbi area, south of Zahedan, southeastern Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29(116): 3–14.
<https://doi.org/10.22071/gsj.2019.135671.1490>
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: P. Henderson (Editor), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 63–114.
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Camp, V.E. and Griffis, R.J., 1982. Character, Genesis and Tectonic Setting of Igneous Rocks in the Sistan Suture Zone, Eastern Iran. *Lithos*, 15(3): 221–329.
[https://doi.org/10.1016/0024-4937\(82\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0024-4937(82)90014-7)
- Castillo, P.R., 2012. Adakite Petrogenesis. *Lithos*, 134–135: 304–316.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.09.013>
- Condie, K., 2005. TTGs and adakites: Are they both slab melts? *Lithos*, 80(1–4): 33–44.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2003.11.001>
- Daryapeyma Hormozi, M., Biabangard, H., Bagheri, S. and Bakhshi Mohebi, M.R., 2016. Petrology and geochemistry of Dasht Kuh volcanic rocks in North of Iranshahr, East of Iran flysches terrain. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 25 (99):227–238. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2016.40914>
- Davidson, J., Turner, S. and Plank, T., 2013. Dy/Dy*: Variations Arising from Mantle Sources and Petrogenetic Processes. *Journal of Petrology*, 54(3): 525–537.
<https://doi.org/10.1093/petrology/egs076>
- 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.
<https://doi.org/10.1038/347662a0>
- Delavari, M., Amini, S., Schmitt, A.K., McKeegan, K.D. and Harrison, T.M., 2014. U–Pb geochronology and geochemistry of Bibi-Maryam pluton, eastern Iran: Implication for the late stage of the tectonic evolution of the Sistan Ocean. *Lithos*, 200–201: 197–211.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.04.015>
- Delavari, M. and Shakeri, A. 2016. Taftan volcanic rocks: implication for adakitic magmatism of Makran magmatic arc. *Quaternary Journal of Iran*, 2(1):1–14. (in Persian with English abstract) Retrieved September 19, 2021 from <http://journal.iranqua.ir/article-1-49-en.html>
- Drummond, M.S., Defant, M.J. and Kepezhinskis, P.K., 1996. Petrogenesis of slab-derived trondjemite-tonalite-dacite/adakite magmas. *Earth and Environmental Science Transactions of The Royal Society of Edinburgh*, 87(1–2): 205–215.

- <https://doi.org/10.1017/s0263593300006611>
Etemadi, A. and Karimpour, M.H., 2022. Geological constraints on magmatic evolution in subduction zones and cumulative factors effective on the fertility of Cenozoic host porphyritic rocks associated with major porphyry copper deposits in the Lut Block and Kerman porphyry copper belt, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, X, 7: 100081.
<https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2022.100081>
- Fazelvalipour, M.E. 2021. Petrography, geochemistry and petrogenesis of high-silica Adakitic rocks from Bayram Abad area in the northwest Neyshabour (Northeast of Iran). *Petrological Journal*, 12(1):113–134. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22108/ijp.2021.124930.1200>
- Gardideh, S., Ghasemi, H. and Sadeghian, M., 2018. U-Pb age dating on zircon crystals, Sr-Nd isotope ratios and geochemistry of Neogene adakitic domes of Quchan-Esfarayen magmatic belt, NE Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 26(2): 455–478. (in Persian with English abstract) Retrieved September 19, 2021 from
<http://ijcm.ir/article-1-1110-en.html>
- Ghasemi, H., Sadeghian, M., Khanalizadeh, A. and Tanha, A., 2010. Petrology, geochemistry and radiometric ages of high silica adakitic domes of Neogene continental arc, south of Quchan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 18(3): 347–370. (in Persian with English abstract) Retrieved September 19, 2021 from
<http://ijcm.ir/article-1-505-en.html>
- Gholami, A.A., Mohammadi, S.S. and Zarrinkoub, M.H., 2016. Petrography, mineral chemistry of tourmaline, geochemistry and tectonic setting of Tertiary igneous rocks in Shurab area (west of Khusf), Southern Khorasan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24(1):189–204. (in Persian with English abstract) Retrieved September 19, 2021 from
<http://ijcm.ir/article-1-127-fa.html>
- Ghorbani, M.R. and Bezenjani, R.N., 2011. Slab partial melts from the metasomatizing agent to adakite Tafresh Eocene volcanic rocks Iran. *Island Arc*, 20(2): 188–202.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1738.2010.00757.x>
- Hastie, A.R., Fitton, J.G., Bromiley, G.D., Butler, I.B. and Odling, N.W.A., 2016. The origin of Earth's first continents and the onset of plate tectonics. *Geology*, 44(10): 855–858.
<https://doi.org/10.1130/g38226.1>
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., McDonald, I., Mitchell, S.F., Pearce, J.A., Millar, I.L., Barfod, D. and Mark, D.F., 2010. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of rhyodacite lavas in eastern Jamaica: A new adakite subgroup analogous to early Archaean continental crust. *Chemical Geology*, 276(3–4): 344–359.
<http://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2010.07.002>
- Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3–4): 433–47.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2006.11.008>
- 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(Part 2): 481–501.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.06.017>
- Jamshidi, K., Ghasemi, H., Laicheng, M. and Sadeghian, M., 2018. Adakite magmatism within the Sabzevar ophiolite zone NE Iran: U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopic evidences. *Geopersia*, 8(1): 111–30.
<https://doi.org/10.22059/geope.2017.242944.648352>
- Javan Khosh Kholgh, M., Razmara, M. and Arian, M.A., 2017. Petrogenesis and Metallogenesis of Malek Siah Kuh Adakite-Like Rocks and Associated Hydrothermal Mineralization (Sistan Area, Iran). *Open Journal of Geology*, 7(11): 1670–1689.
<https://doi.org/10.4236/ojg.2017.711112>
- Jiménez-Munt, I., Fernàndez, M., Saura, E., Vergés, J. and Garcia-Castellanos, D., 2012. 3-D lithospheric structure and regional/residual Bouguer anomalies in the Arabia–Eurasia collision (Iran). *Geophysical Journal International*, 190(3): 1311–1324.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05580.x>
- Kananian, A., Rezaei-Kahkhaei, M. and Esmaeili, D., 2007. Petrology and tectonic setting of

- Lakhsak granodiorite, NW of Zahedan, Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 17(65): 126–143. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2008.58199>
- 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 with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/econg.v13i3.1034>
- Karimpour, M.H. and Sadeghi M., 2019. A new hypothesis on parameters controlling the formation and size of porphyry copper deposits: Implications on thermal gradient of subducted oceanic slab, depth of dehydration and partial melting along the Kerman copper belt in Iran. *Ore Geology Reviews*, 104: 522–539.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.11.022>
- Karimpour, M.H., Stern, C., Farmer, L. and Saadat, S., 2011. Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1): 19–54.
<https://doi.org/10.22059/jgeope.2011.22162>
- Kay, S.M. and Mpodozis, C., 2001. Central Andes ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA TODAY*, 11(3):4–9. Retrieved September 19, 2022
from <https://www.geosociety.org/gsatoday/archive/11/3/pdf/i1052-5173-11-3-4.pdf>
- Ketabi, P., Mohammadi, S. and Zarrinkoub, M., 2015. Geochemistry and Petrogenesis of Tertiary High Silica Adakitic Rocks, Shah Soleymán Ali Area (Southwest of Birjand, East of Iran), *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95): 373–382.
<https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42486>
- Kheirkhah, M., Neill, I., Allen, M.B., Emami, M.H. and Ghadimi, A.S., 2020. Distinct sources for high-K and adakitic magmatism in SE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 196: 104355.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104355>
- Labbaaf, H. Mohammadi, S.S. Zarrinkoub, M.H., 2014. Petrology of volcanic rocks in south of Gorong (Northwest of Khouf), Southern Khorasan province. 6th Symposium of Iranian Society of Economic Geology, University of Zahedan, Zahedan, Iran. Retrieved September 19, 2020 from
<https://civilica.com/doc/746761>
- Li, J.X., Qin, K.Z., Li, G.M., Xiao, B., Chen, L. and Zhao, J.X., 2011. Post-collisional orebearing adakitic porphyries from Gangdese porphyry copper belt, southern Tibet: Melting of thickened juvenile arc lower crust. *Lithos*, 126(3–4):265–277.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.07.018>
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 2009. Geology, mineralization, alteration, geochemistry, microthermometry, radiogenic isotopes, petrogenesis of intrusive rocks and determination of source of mineralization in Maherabad and Khopik prospect areas, South Khorasan province. Ph.D. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, 536 pp. (in Persian with English abstract)
- Malekzadeh Shafaroudi, A.M., Karimpour, M.H. and Stern, C.R., 2015. The Khopik porphyry copper prospect, Lut Block, Eastern Iran: geology, alteration and mineralization, fluid inclusion, and oxygen isotope studies. *Ore Geology Reviews*, 65(Part 2): 522–544.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.04.015>
- Martin, H., 1999. Adakitic magmas: Modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46(3): 411–429.
[https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(98\)00076-0](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00076-0)
- Martin, H., Smithies, R.H., Rapp, R., Moyen, J.F. and Champion, D., 2005. An Overview of Adakite, Tonalite-Rondhjemite-Granodiorite (TTG), and Sanukitoid: Relationships and Some Implications for Crustal Evolution. *Lithos*, 79(1–2): 1–24.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2004.04.048>
- Middlemost, E.A.K., 1994. Naming materials in the magma/igneous rock system. *Earth Science Review*, 37(3–4): 215–224.
[https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Mohammadi, E., Ghorbani, G. and Shafaii Moghadam, H., 2015. Geochemistry and Petrogenesis of the Adakites in the Southern Domains of the Northern Sabzevar Ophiolites;

- With Emphasis on Sr-Nd-Pb Isotopes Results. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 24(95): 5162. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42381>
- Mohammadi, H.R., Mohammadi, S.S., Nakhaei, M. and Zarrinkoub, M.H., 2017. Petrography and Geochemistry of post-collisional adakites and Nb-enriched basalts association in the Sang-e-Rahuzg area (south of Birjand). *Petrological Journal*, 8(30): 55–80. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22108/ijp.2017.81987>
- Moyen, J.F., 2009. High Sr/Y and La/Yb ratios: The meaning of the adakite signature. *Lithos*, 112(3–4): 556–574.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2009.04.001>
- Nakhaei, M. and Mohammadi, S.S., 2021. Petrography, geochemistry and tectonic setting of adakitic bodies in the Tighanab area and their relationship with iron skarn mineralization (southeast of Sarbisheh-east of Iran). *Journal of Economic Geology*, 12(4): 449–470. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/econg.v12i4.81783>
- Nanvabashi, M., 2011. Petrology of volcanic rocks in the Northwest of Shahr-e Firozeh Neishabour. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Shahrood, Shahrood, Iran, 222 pp. (in Persian with English abstract)
- Omrani, H., 2018. Island-arc and active continental margin adakites from the Sabzevar zone Iran. *Petrology*, 26(1): 96–113.
<https://doi.org/10.1134/s0869591118010058>
- Omrani, J., Agard, P., Witechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3–4): 380–98.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>
- 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*, 180–181: 234–251.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lithos.2013.05.009>
- 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.
<https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- 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.
<https://doi.org/10.1007/bf00384745>
- Ramezani, F., Mohammadi, S.S., and Zarrinkoub, M.H., 2013. Petrography, Geochemistry and tectonic setting of Tertiary Volcanic subvolcanic rocks in Pironj area (North of Birand). 21st Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran, University of Zahedan, Zahedan, Iran. Retrieved September 19, 2020 from <https://civilica.com/doc/746543>
- Rapp, R.P., Watson, E.B. and Miller, C.F., 1991. Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities. *Precambrian Research*, 51(1–4): 1–25.
[https://doi.org/10.1016/0301-9268\(91\)90092-o](https://doi.org/10.1016/0301-9268(91)90092-o)
- Rezaei-Kahkhaei, M., Corfu, F., Sheykhi, M., Ghasemi, H. and Shi, Y., 2021. Mineral chemistry and ages of the Eocene Gapdan granitoid pluton and related dykes (Sistan suture zone, eastern Iran): multi-stage emplacement of a zoned pluton during progressive deformation and exhumation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 216: 104813.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2021.104813>
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Raziq, A., 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.
<https://doi.org/10.2113/econgeo.107.2.295>
- Rossetti, F., Nasrabad, M., Theye, T., Gerdes, A., Monié, P., Lucci, F. and Vignaroli, G., 2014. Adakite differentiation and emplacement in a subduction channel: The late Paleocene Sabzevar magmatism (NE Iran). *Geological Society of America Bulletin*, 126(3–4): 317–43.
<https://doi.org/10.1130/b30913.1>
- Saadat, S. and Stern, C.R., 2011. Petrochemistry and genesis of olivine basalts from small monogenetic

- parasitic cones of Bazman stratovolcano, Makran arc, southeastern Iran. *Lithos*, 125(1–2): 607–619.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2011.03.014>
- Saadat, S. and Stern, C., 2016. Distribution and geochemical variations among paleogene volcanic rocks from the north-central Lut block, eastern Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 8(1): 1–24. Retrieved September 19, 2021 from
https://ijes.mashhad.iau.ir/article_528684.html
- Sajona, F.G. and Maury, R.C., 1998. Association of adakites with gold and copper mineralization in the Philippines. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 326(1): 27–34.
[https://doi.org/10.1016/s1251-8050\(97\)83200-4](https://doi.org/10.1016/s1251-8050(97)83200-4)
- Saleh, R., 2006. Reprocessing of aeromagnetic map of Iran. M.Sc. Thesis, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran, 169 pp. (in Persian with English abstract)
- Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(3): 265–283.
<http://doi.org/10.1007/s00126-008-0216-0>
- Shand, S.J., 1943. *Eruptive Rocks*, John Wiley: New York, NY, USA, 444 pp.
<http://doi.org/10.1126/science.99.2562.101.b>
- Smith, E.I., Sanchez, A., Walker, J.D., Wang, K., 1999. Geochemistry of mafic magmas in the Hurricane Volcanic field, Utah: implications for small-and large-scale chemical variability of the lithospheric mantle. *The Journal of geology*, 107(4): 433–448.
<https://doi.org/10.1086/314355>
- 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.
<http://dx.doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Taheri-Sarteshnizi, A., 2018. Geochemistry and Isotopic Geology of Dacite Domes of Chakaneh Area. M.Sc. Thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, 98 pp. (in Persian with English abstract)
- Tanha, A. 2009. Petrogenesis of Neogene Igneous Rocks in the North Anbarabad (Mashkan). M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Shahrood, Shahrood, Iran, 180 pp. (in Persian with English abstract)
- Tavakoli rad. A., 2013. Petrology and geochemistry of volcanic igneous rocks of Shabsavar Mountain. M.Sc. Thesis, Islamic Azad University of Shahrood, Shahrood, Iran, 164 pp. (in Persian with English abstract)
- Thiéblemont, D., Stein, G. and Lescuyer, J.L., 1997. Epithermal and porphyry deposits: The adakite connection. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 325(2): 103–109.
[https://doi.org/10.1016/S1251-8050\(97\)83970-5](https://doi.org/10.1016/S1251-8050(97)83970-5)
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The Sistan Suture Zone of Eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134–150.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1983\)94%3C134:tsszoe%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1983)94%3C134:tsszoe%3E2.0.co;2)
- Torkian, A., Furman, T., Salehi, N. and Veloski, K., 2019. Petrogenesis of adakites from the Sheyda volcano NW Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 150: 194–204.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2018.11.014>
- Torshizi, M., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S. and Rajabi, A.R., 2016. Geochemical study of volcanic rocks in West of Fadeshk (South West of khoosf), East of Iran. 23rd Symposium of Crystallography & Mineralogy of Iran, University of Damghan, Damghan, Iran. Retrieved September 19, 2020 from
<https://www.sid.ir/paper/853535/fa>
- 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.
<https://doi.org/10.1093/petrology/egi070>
- Yousefzadeh, M.H., Rahmani, A. and Mohammadi, S., 2019. Petrology and tectonomagmatic setting of volcanic and subvolcanic rocks in the east of Khouf (Southwest of Birjand). *Petrological Journal*, 10(1): 1–22. (in Persian with English abstract)

<https://doi.org/10.22108/ijp.2018.107138.1058>

Zhang, L., Li, S. and Zhao, Q., 2021. A review of research on adakites. *International Geology*

Review, 63(1): 47–64.

<https://doi.org/10.1080/00206814.2019.1702592>