Petrology, geochemistry, and tectonomagmatic setting of volcanic rocks of the Hormuz and the Gachin salt domes (Hormozgan Province, Iran)

Ali Rostami, Samad Alipour and Ali Abedini*
Department of Geology, Urmia University, 57153-165 Urmia, Iran

Abstract
The Hormuz and the Gachin salt domes are located in the south of Bandar Abbas, the Hormozgan Province, in Zagros Structure Zone. The domes are dominated by andesite, trachy-andesite, basalt, dacite, and rhyolite belonging to Permian to Triassic age. Based on geochemical evidence, these rocks are calc-alkaline originated in orogenic setting related to subduction environment. The presence of oxide minerals (hematite and magnetite) in the volcanic rocks of the domes reflect oxidization conditions and high oxygen activity during their formation. Negative TNT and high LREE/HREE anomalies along with positive Pb anomalies and low Nb/U ratios (0.48 to 14.6), as well as tectonomagmatic diagrams indicate that the studied rocks are magmatic products of primary mantle origin, which has been metasomatized by continental crustal rocks. High Ba/Nb values, low Sr and Zr/Y>3 ratio along with geochemical diagrams, confirm the characteristics of arc magmas related to the formation of the rocks under study in a subduction environment.

Key words: Iran, Bandar Abbas, Hormuz, Gachin, salt dome, volcanic rocks, geochemistry

* a.abedini@urmia.ac.ir

DOI: https://doi.org/10.22108/ijp.2020.121790.1162

پتـــــرولوژی، سال یازدهم، شماره چهل و دوم، تابستان ۱۳۹۹، صفحه ۸۱- ۱۰۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۷ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۵/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۱۰

سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و جایگاه تکتونوماگمایی سنگ‌های آتشفشانی در گنبدهای نمکی هرمز و گچین (استان هرمزگان، ایران)

علی رستمی، صمد علیپور و علی عابدینی *
گروه زمین‌شناسی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ۱۶۵-۵۷۱۵۳، ایران

چکیده

گنبدهای نمکی هرمز و گچین در جنوب بندرعباس، استان هرمزگان، در پهنهٔ ساختاری زاگرس جای دارند. سنگ‌های آتشفشانی در این گنبدها از نوع آندزیت، تراکی‌آندزیت، بازالت، داسیت و ریولیت به سن پرمین تا تریاس هستند. برپایهٔ شواهد زمین‌شیمیایی، این سنگ‌های آتشفشانی سرشت کالک‌آلکالن دارند و در محیط‌های کمان وابسته به فرورانش پدید آمده‌اند. حضور کانی‌های اکسیدی (هماتیت و مگنتیت) در سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین نشان‌دهندهٔ شرایط اکسیدان و فعالیت بالای اکسیژن هنگام پیدایش آنهاست. بی‌هنجاری منفی TNT و نسبت بالای LREE/HREE همراه با بی‌هنجاری مثبت Pb و نسبت پایین Nb/U (از ۰/۴۸ تا ۱۴/۶) همراه با نمودارهای تکتونوماگمایی نشان می‌دهند این سنگ‌ها محصول ماگمایی با خاستگاه اولیهٔ گوشته‌ای هستند که توسط پوستهٔ قاره‌ای متاسوماتیزه شده است. مقدارهای بالای Ba/Nb، کاهش میزان Sr و نسبت Zr/Y>۳، نسبت‌های بالای La_N/Yb_N همراه با نمودارهای زمین‌شیمیایی ویژگی‌های ماگماهای محیط کمانی وابسته به محیط فرورانش این سنگ‌ها را نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: ایران، بندرعباس، هرمز، گچین، گنبدنمکی، سنگ‌های آتشفشانی، زمین‌شیمی

مقدمه

گنبدهای نمک در بسیاری از نقاط جهان مانند خلیج مکزیک، دریای شمال، دریای مدیترانه و خلیج‌فارس پدید آمده‌اند (Nairn and Alsharhan, 1997). به‌علت شناوربودن روی رسوب‌های پوشانندهٔ سطح زمین، این گنبدها از میان رسوب‌ها پخش می‌شوند. عوامل زمین‌ساختی مانند کشیدگی منطقه‌ای یا کوتاه‌شدگی پوسته زمین و همچنین، نیروی جاذبه پیدایش آنها را کنترل می‌کنند (Hudec and Jackson, 2007; Mohamadi, 2011). گنبدهای نمکی بزرگ

* a.abedini@urmia.ac.ir

DOI: https:// doi.org/10.22108/ijp.2020.121790.1162

مقیاس در جنوب استان‌های فارس، بوشهر و هرمزگان دیده می‌شوند. سری هرمز مهم‌ترین گنبدهای نمکی خاورمیانه و به سن پرکامبرین است. سری هرمز آمیزه‌ای رنگی از نمک، انیدریت، دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌های آتشفشانی است (Jahani *et al.*, 2007; Khodabakhshnezhad and Arian, 2016). بررسی‌های بسیاری روی گنبدهای نمکی سری هرمز انجام شده‌اند؛ مانند: بررسی‌های زمین‌شناسی و زمان جایگیری آنها (Talbot *et al.*, 1998)، تأثیر فرایندهای دیاژنتیک (Talbot *et al.*, 2009; Ghazban and Al-Aasm, 2010)، کانه‌زایی آهن (Hassanlouei and Rajabzadeh, 2019) و سنگ‌زایی سنگ‌های آذرین مرتبط با این گنبدها (Faramarzi *et al.*, 2015). با این حال، تا کنون هیچ بررسیِ جامع و کاملی روی سنگ‌های آتشفشانی گنبدنمکی هرمز برپایهٔ داده‌های عنصرهای خاکی کمیاب و مقایسهٔ آن با گنبدنمکی گچین انجام نشده است.

بررسی‌های انجام‌شده نشان داده‌اند غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی عنصرها در این واحدهای سنگی ردیابی در تعیین فرایندهای حاکم بر پیدایش سنگ‌های میزبان کانسارهای سولفیدی کاربرد دارند (Sasmaz *et al.*, 2005; Schwinn and Markl, 2005). کانه‌سازی سولفیدی و تمرکز عنصرهای خاکی کمیاب از ویژگی‌های زمین‌شناسی این منطقه هستند. در این پژوهش، برپایهٔ ویژگی‌های سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی عنصرهای کمیاب و خاکی کمیاب در سنگ‌های آتشفشانی گنبدهای نمکی هرمز و گچین، جایگاه تکتونوماگمایی و شرایط پیدایش آنها بررسی و تعیین شده است.

زمین‌شناسی منطقهٔ هرمز و گچین

برپایهٔ پهنه‌بندی زمین‌ساختاری ایران، گنبدهای نمکی هرمز و گچین بخشی از پهنهٔ زاگرس چین‌خوردهٔ سنوزوییک هستند که در بخش میانی رشته‌کوه‌های آلپ هیمالیا و مرز شمال‌خاوری صفحهٔ عربی جای دارند. زاگرس چین‌خورده که این دو منطقه در آن جای دارند، پیامد باز و بسته‌شدن پوستهٔ اقیانوس نئوتتیس و همگرایی میان صفحهٔ عربی و اوراسیا است (Agard *et al.*, 2005). از دیدگاه زمین‌ساختی، پهنهٔ یاد شده در ۵ مرحله پدید آمده است که عبارتند از: ۱) پیدایش فلات قاره در پالئوزوییک؛ ۲) کافت‌زایی در پرمین و تریاس؛ ۳) پیدایش مرز قاره‌ای غیرفعال اقیانوس نئوتتیس در ژوراسیک و کرتاسه آغازین؛ ۴) جایگیری افیولیت در کرتاسه پایانی؛ ۵) برخورد صفحهٔ عربی با صفحهٔ اوراسیا و کوتاه‌شدگی پوسته در نئوژن (Abdollahie Fard *et al.*, 2006).

سری هرمز (نئوپروتروزوییک تا پرکامبرین پیشین؛ Stöcklin، ۱۹۶۸)، مارن‌های میشان (میوسن)، ماسه‌سنگ آغاجاری (پلیوسن) و کنگلومرای بختیاری (الیگوسن) از واحدهای مهم منطقه به‌شمار می‌روند (شکل ۱). سری اول (*h1*) گنبدهای نمکی تبخیری هرمز در پرکامبرین و کامبرین پیشین، در شمال و جنوب‌خاوری خلیج فارس، از بندرعباس تا سروستان و کازرون، سری هرمز دانسته می‌شوند. گنبدهای نمکی بررسی‌شده (گچین و هرمز) به سری هرمز تعلق دارند. از پایین به بالا واحدهای رسوبی زیر از سنگ‌های رسوبی سازندهٔ سازند هرمز هستند (Blanford, 1872; Alian and Bazamad, 2014):

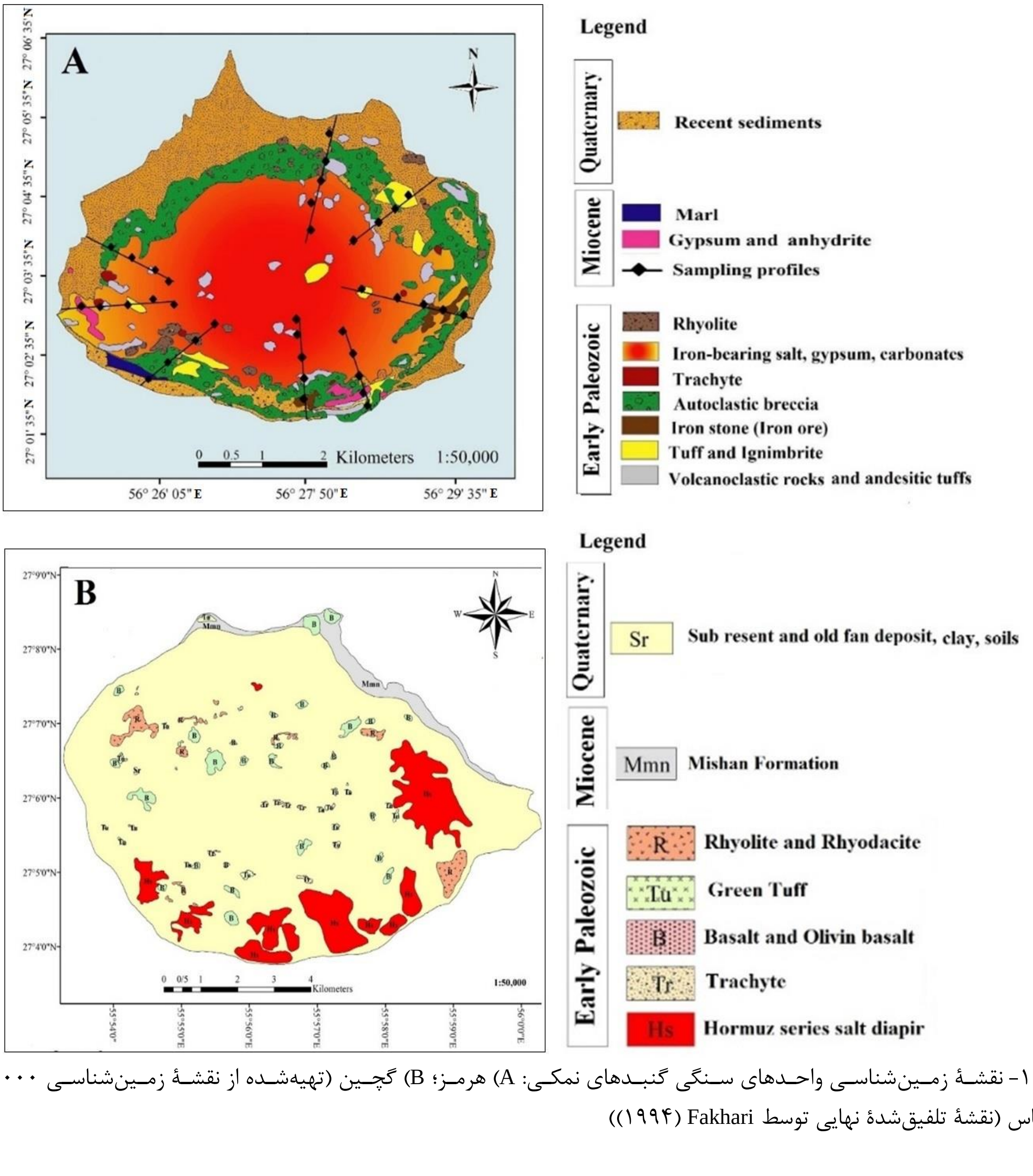
۱) *سازند نمکی هرمز:* این سازند دربردارندهٔ لایه‌های نمکی همراه با میان‌لایه‌های نازکی از توف، مارن، آهک، اکسیدها و سولفورهای آهن است؛

۲) *سازند هرمز (h2)*: این سازند دربردارندهٔ تناوبی از مارن‌های سفید تا زرد کم‌رنگ، انیدریت، توف، ایگنمبریت، آهک‌های نازک‌لایهٔ سیاه‌رنگ و نوارهای نازک سنگ آهن است؛

۳) *سازند آهکی سیاه رنگ جلبکی (h3)*: این سازند دربردارندهٔ طبقات نازک‌لایهٔ آهکی سیاه سرشار از فسیل جلبک‌های گوناگون است؛

۴) *سازند آواری- آتشفشانی (h4)*: این سازند دربردارندهٔ ماسه‌سنگ‌های قرمز و سبز رنگ با میان‌لایه‌هایی از توفیت است.

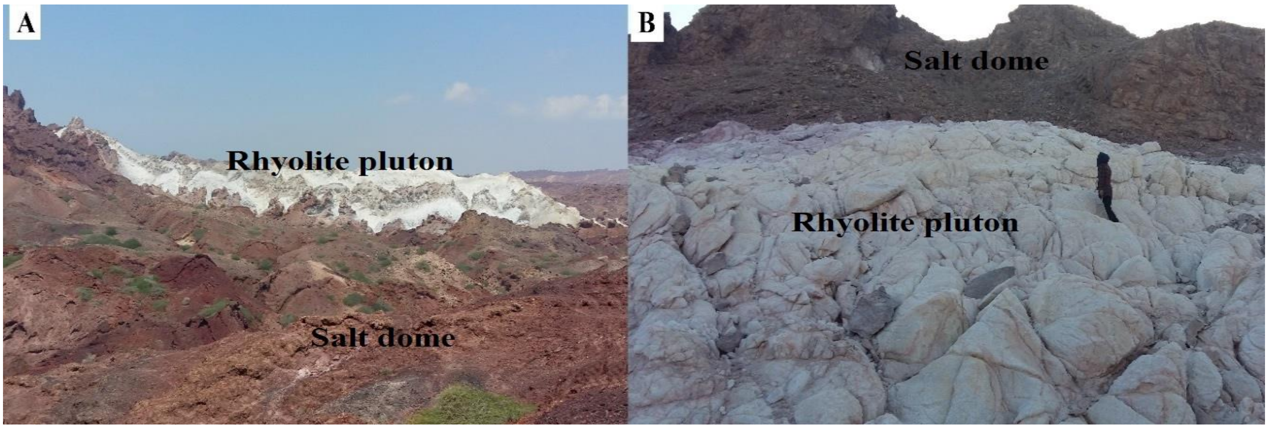
سنگ‌های آتشفشانی سازند هرمز دو دسته هستند: دسته نخست، سرشت اسیدی تا حد واسط دارند و از ریولیت، داسیت و تراکیت ساخته شده‌اند. دسته دوم دربردارندهٔ دایک‌های دیابازی و گرانوفیری با سن ۱۴±۲۲۷ میلیون سال پیش (Richardson, 1972) هستند. همچنین، روند خاوری- باختری دارند و سازند هرمز را قطع کرده‌اند (Rostami *et al*., 2014).



شکل ۱- نقشهٔ زمین‌شناسی واحدهای سنگی گنبدهای نمکی: A) هرمز؛ B) گچین (تهیه‌شده از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بندرعباس (نقشهٔ تلفیق‌شدهٔ نهایی توسط Fakhari (۱۹۹۴))

گنبـــدنمکی هرمـــز از ســـازندهای تبخیـــری و لایـــه‌هـــای نمکـــی ســـتبر ســـاخته شـــده اســـت. از ویژگـــی‌هـــای خـــاص گنبـــدنمکی هرمـــز حضـــور ســـنگ‌هـــای آذریـــن و بیشـــتر آتشفشـــانی گونـــاگون به‌همراه سـنگ‌هـای رسـوبی بـه انـدازه‌هـای مختلـف روی یـا درون نمـک‌هاسـت. تقریبـاً همـهٔ سـنگ‌هـای آذریـن (ریولیـت و تـوف ریـولیتی، گـابرو و گرانیـت) در ایـــن گنبـــد دچـــار متاسوماتیســـم شـــده‌انـــد (Taghipour *et al.*, 2008). بررســـی‌هـــای ســـنی انجام‌شـــده بـــه روش ســـن‌ســـنجی $^{206}Pb/^{238}U$ روی واحـدهای ماگمـایی گنبـدنمکی هرمـز، سـن آنهـا را پـرمین پایـانی تـا تریـاس آغـازین نشـان داده‌انـد (Richardson, 1972; Faramarzi *et al.*, 2015). در این گنبـد، تـوده‌هـای آذریـن بـه شـکل اسـتوک و دایـک هم‌رونـد بـا گسـل‌هـای زمین‌سـاختی بـا مـرز مشـخص نسـبت بـه دیگـر واحـدهای اطـراف خـود جـــای گرفتـــه‌انـــد (شـــکل ۲- A). از دیـــدگاه زمین‌ســـاختی، منطقـــهٔ هرمـــز بیشـــتر تحت‌تـــأثیر کـــوهزایی عمـــان و کمـــی تحت‌تـــأثیر کـــوهزایی زاگرس قرار گرفته است (Haghshenas, 2015).

کهـــن‌تـــرین واحـــدهـــای ســـنگی در گنبـــدنمکی گچـــین، ســـنگ‌هـــای تبخیـــری، رســـوبی و آتشفشـــانیِ سازند هرمز بـا سـن کـامبرین زیـرین در هسـتهٔ گنبـد هسـتند کـه اطـراف آنهـا را رسـوب‌های سـازندهای جـوان (میشـان و آغاجـاری) فـرا گرفته‌انـد. در میـان رسوب‌ها، سـنگ‌هـای آذریـن اسـیدی و بازیـک درونـی و بیرونی دیـده می‌شـوند کـه مـرز آنهـا بـا رسـوب‌های سـازندهای جـوان آشـکار و روشـن اسـت (شـکل ۲- B). ســـنگ‌هـــای آذریـــن گچـــین دو نـــوعِ بازیـــک و اســـیدی هســـتند. ســـنگ‌هـــای بازیـــک دربردارنـــدهٔ بازالـت، گـابرو و دیابـاز به‌شـدت دگرسان‌شـده هسـتند. سـنگ‌هـای اسـیدی دربردارنـدهٔ تـوف‌هـا و گنبـدهای ریـــولیتی و گرانیتـــی کم‌ژرفـــا هســـتند. بـــه احتمـــال بســـیار، ایـــن ســـنگ‌هـــا در پایـــان میوســـن و آغـــاز پلیوســـن در گنبـــدنمکی گچـــین رخنمـــون یافتـــه‌انـــد (Jafari Sadr, 2001). در ایـــــن گنبـــــدها، ســـنگ‌هـــای آتشفشـــانی به‌صـــورت دایـــک و اســـتوک تزریقـــی بـــه درازای بیشـــتر از ۲ کیلـــومتر بـــا حاشـــیهٔ انجمـــاد ســـریع در ارتبـــاط بـــا برخـــی ســـنگ‌هـــای پیرامون دیده می‌شوند. دایـک‌هـا در بخـش‌هـایی بـا گســـل‌هـــای راســـت‌گـــرد به‌صـــورت افقـــی جابجـــا شده‌اند. ایـن سـنگ‌هـا دانـه‌ریز هسـتند و در نمونـهٔ دستی بـه رنـگ سـفید، خاکسـتری، سـبز روشـن تـا تیره دیده می‌شوند.



شکل ۲- تصـویرهای صـحرایی از تـوده‌هـای آتشفشـانی و مـرز آشـکار و روشـن آنهـا بـا واحـدهای سـنگی اطـراف در گنبـدهای نمکـی: A) هرمز (دید رو به جنوب‌باختری)؛ B) گچین (دید رو به جنوب)

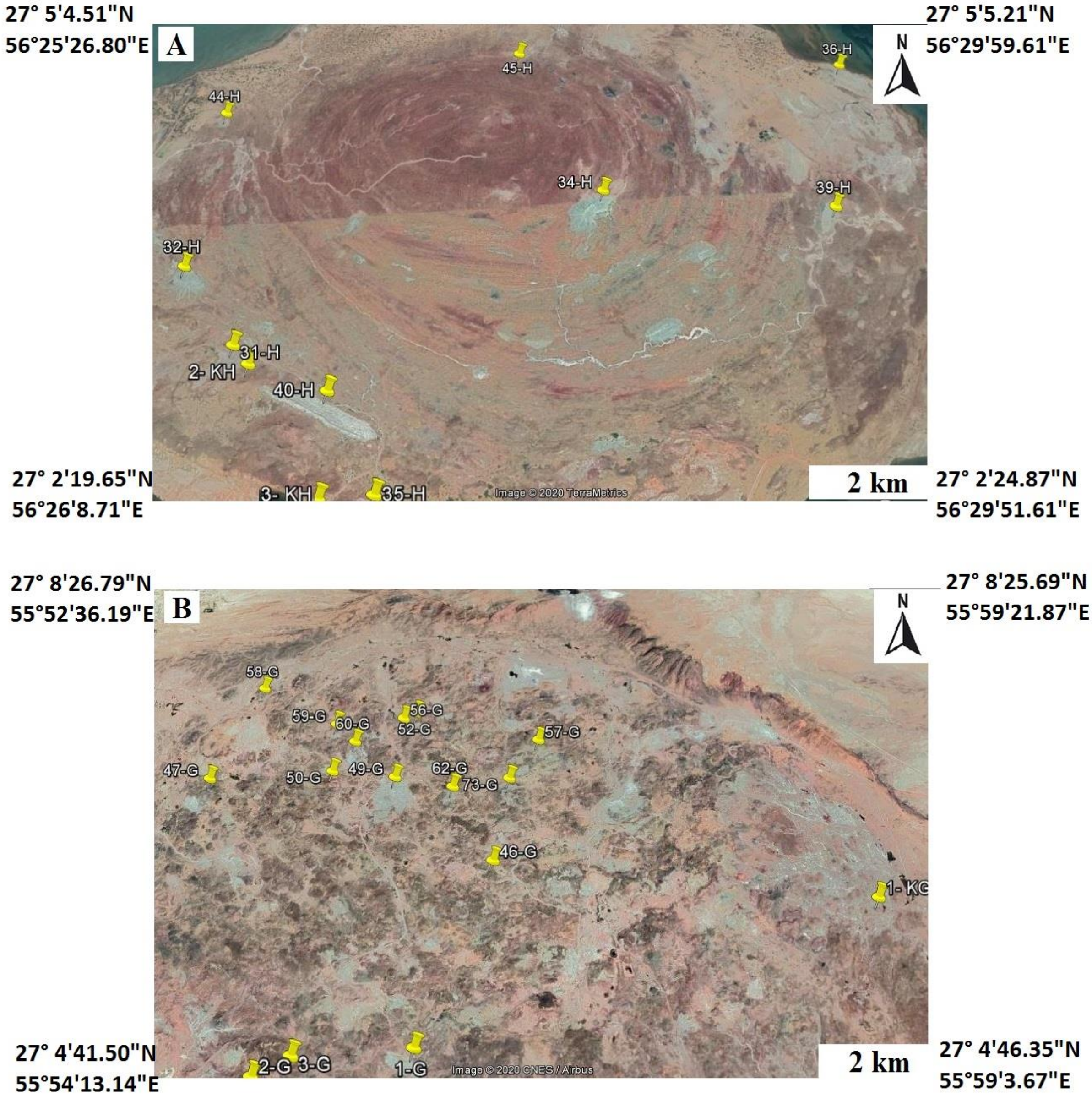
روش انجام پژوهش

در این پژوهش، تفکیک واحدهای سنگی برپایهٔ بررسی‌های پیشینِ Rostami و همکاران (۲۰۱۴) و نیز Alian و Bazamad (۲۰۱۴) و نیز مشاهدات صحرایی انجام شد. سپس، از سنگ‌های آتشفشانیِ گنبدهای نمکی هرمز و گچین، شمار ۵۰ نمونهٔ شاخص سالم و کمتر دگرسان‌شده برگزیده شد. مختصات جغرافیایی و موقعیت نمونه سنگ‌های برداشت‌شده در هر دو گنبد به‌ترتیب در جدول ۱ و شکل ۳ نشان داده شده‌اند. پس از این مرحله، شمار ۲۶ مقطع نازک از سنگ‌های آتشفشانی و شمار ۴ مقطع صیقلی از کانه‌های مرتبط با این سنگ‌ها، برای شناسایی فازهای کانیایی فلزی تهیه و با میکروسکوپ دومنظوره بررسی شدند. همچنین، شمار ۶ نمونه برای شناسایی فازهای کانیایی نامشخص در این سنگ‌ها، در آزمایشگاه زر آزما به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) با دستگاه Asenware مدل Awxdm300 در طول موج ۱/۵۴ آنگسترم، ولتاژ ۴۵ کیلو وات و ۴۰ میلی‌آمپر با زاویه 2θ برابربا ۳ تا ۶۰ درجه تجزیه شدند.

برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی و تعیین مقادیر عنصرهای اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب شمار ۱۲ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی گنبدنمکی هرمز و شمار ۱۵ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی گچین برگزیده و با روش طیف‌سنج جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) و با دستگاه ICP-MS Perkin Elmenr Elan DRC در آزمایشگاه زرآزمای تهران تجزیه شدند. فرایند آماده‌سازی در آزمایشگاه زرآزما بدین‌گونه بوده است که هر نمونه پس از ورود به آزمایشگاه نخست خشک شد. سپس، با سنگ‌شکن‌های فکی (Jaw Crusher) تا ابعاد کمتر از ۴ میلیمتر خردایش و در آسیاب دیسکی تا اندازهٔ ۷۵ میکرون (۲۰۰ مش) نرمایش شد. پس از نرمایش هر نمونه، هاون با مواد ساینده تمیز شد. پودر به‌دست‌آمده برای هر نمونه با روش چهار اسید حل و سپس مقادیر عنصرها با دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. برای راستی‌آزمایی، نمونه‌های استاندارد مرجع گواهی‌شده بین‌المللی CRM (Certified Reference Material) به‌کار برده شدند.

جدول ۱- مختصات نقاط نمونه‌برداری‌شده در گنبدهای نمکی هرمز و گچین

Gachin			Hormuz		
Sample No.	**Latitude**	**Longitude**	**Sample No.**	**Latitude**	**Longitude**
1-G	27° 4' 46.59"N	55° 55' 46.48"E	**31-H**	27° 2'5 5.59"N	56° 26' 24.76"E
2-G	27° 4' 37.16"N	55° 54' 50.04"E	**32-H**	27° 3' 18.75"N	56° 26' 4.57"E
3-G	27° 4' 43.75"N	55° 55' 2.79"E	**34-H**	27° 3' 43.62"N	56° 28' 9.52"E
46-G	27° 5' 55.40"N	55° 56' 13.27"E	**35-H**	27° 2' 18.20"N	56° 27' 9.48"E
47-G	27° 6' 34.72"N	55° 54' 6.56"E	**36-H**	27° 4' 39.10"N	56° 29' 37.59"E
49-G	27° 6' 34.68"N	55° 55' 28.89"E	**39-H**	27° 3' 40.64"N	56° 29' 23.41"E
50-G	27° 6' 38.04"N	55° 55' 0.64"E	**40-H**	27° 2' 43.13"N	56° 26' 53.39"E
52-G	27° 7' 8.50"N	55° 55' 35.68"E	**41-H**	27° 4' 41.04"N	56° 27' 41.51"E
56-G	27° 7' 6.05"N	55° 55' 29.82"E	**44-H**	27° 4' 17.21"N	56°26' 0.87"E
57-G	27° 6' 51.86"N	55° 56' 32.39"E	**2-KH**	27° 2' 49.83"N	56° 26' 30.75"E
58-G	27° 7' 24.10"N	55° 54' 20.71"E	**3-KH**	27° 2' 17.72"N	56° 26' 55.22"E
59-G	27° 7' 2.92"N	55° 54' 58.91"E			
60-G	27° 6' 52.98"N	55° 55' 8.92"E			
62-G	27° 6' 29.19"N	55° 55' 54.80"E			
73-G	27° 6' 32.85"N	55° 56' 19.49"E			
1-KG	27° 5' 43.04"N	55° 58' 49.24"E			



شکل ۳- تصویر Google Earth از موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده از گنبدهای نمکی. A) گنبدنمکی هرمز؛ B) گنبدنمکی گچین

نتایج

کانی‌شناسی

برپایهٔ بررسی‌های مقاطع نازک، بیشتر سنگ‌های آتشفشانی در گنبدنمکی هرمز از نوع ریولیت، توف و تراکی‌آندزیت هستند (جدول ۲). ریولیت‌های این گنبد با بافت پورفیری، ۲۵ درصدحجمی درشت بلورهای کوارتز همراه با ۳۰ درصدحجمی آلکالی‌فلدسپار، ۱۵ درصدحجمی پلاژیوکلاز و ۱۰ درصدحجمی کانی‌های تیره در زمینهٔ ریزدانه و شیشه در زیر میکروسکوپ دیده می‌شوند. فنوکریست‌ها و میکروفنوکریست‌های کوارتز به‌صورت بلورهای بی‌شکل و شمار اندکی از آنها نیز به‌صورت بلورهای منشوری شکل‌دار دیده می‌شوند که گاه به‌صورت اندک با اکسید آهن جایگزین شده‌اند (شکل ۴- A).

جدول ۲- نوع سنگ و کانی‌های سازندهٔ آنها برپایهٔ بررسی مقاطع نازک

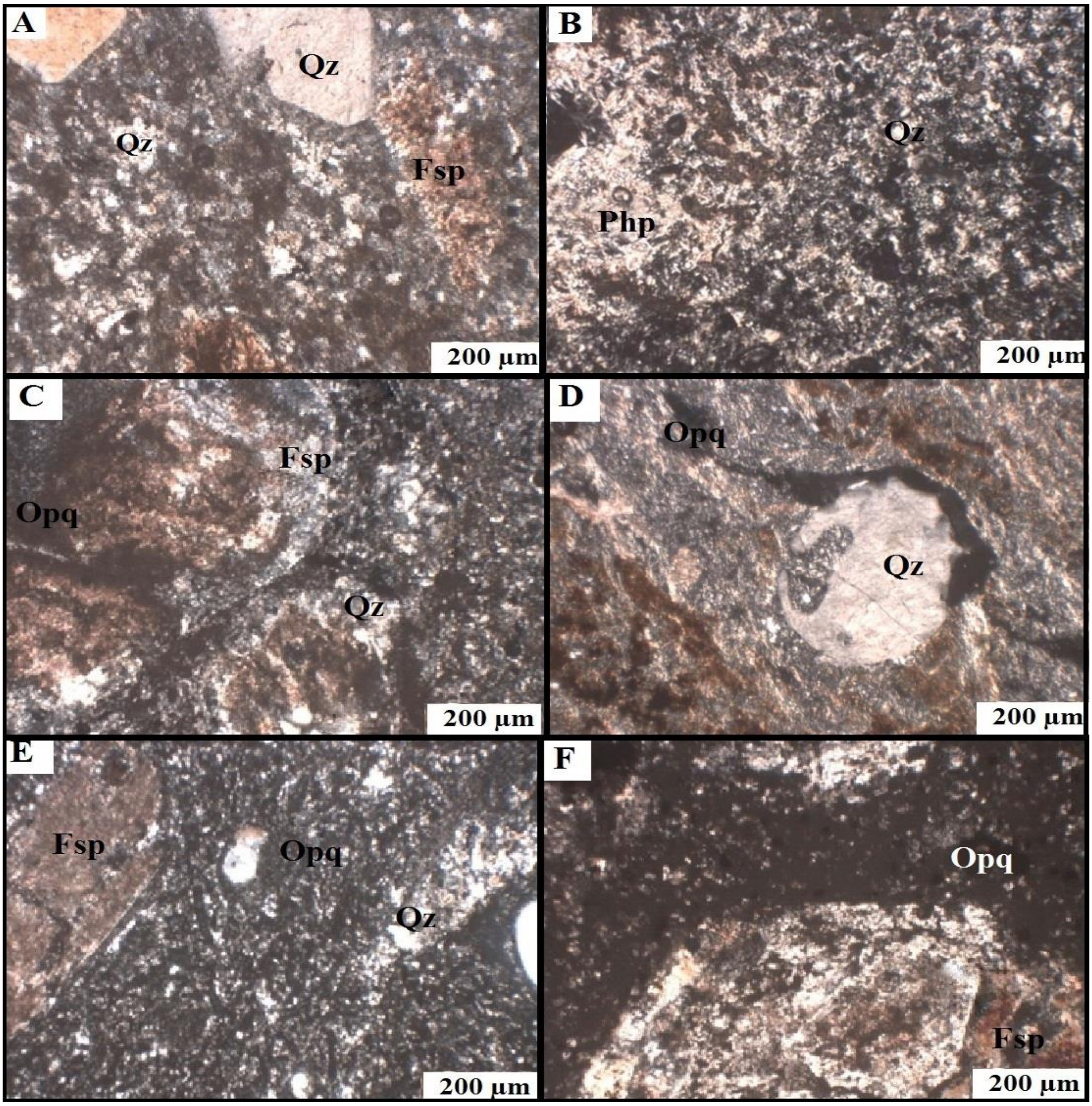
Sample No.	Rock Name	Major Minerals	Secondary Minerals	Accessory Minerals
1-G	Tuff	Quartz, Feldspar	Clay mineral, Sericite, Carbonate, Iron oxide	Opaque mineral-Iron oxide, Gypsum-Bassanite
2-G	Rhyolite tuff	Quartz, Orthose	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
3-G	Rhyolite tuff	Quartz, Feldspar	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
46-G	Trachyandesite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite, Carbonate	Opaque mineral-Iron oxide, Tourmaline
47-G	Altered tuff	Quartz, Feldspar	Gypsum-Bassanite, Carbonate	Opaque mineral-Iron oxide
49-G	Metamorphic rock	Epidote, Zoisite	Chlorite, Sphene, Amphibole	Opaque mineral-Iron oxide
50-G	Granite	Orthose, Plagioclase	Clay mineral, Chlorite, Muscovite, Epidote, Carbonate	Opaque mineral-Iron oxide, Apatite, Sphene
52-G	Rhyolite tuff	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
56-G	Rhyolite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite, Muscovite	Opaque mineral-Iron oxide
57-G	Rhyolite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite, Muscovite, Amphibole	Opaque mineral-Iron oxide
58-G	Rhyolite tuff	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite, Muscovite	Opaque mineral-Iron oxide
59-G	Altered rhyolite	Quartz, Feldspar	Clay mineral, Sericite, Chlorite	Opaque mineral-Iron oxide, Apatite
60-G	Rhyolite tuff	Quartz, Orthose	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
62-G	Tuff	Quartz, Feldspar	Clay mineral, Sericite, Carbonate, Quartz	Opaque mineral-Iron oxide
73-G	Rhyolite tuff	Quartz, Sanidine	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
31-H	Rhyolite	Quartz, Feldspar	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
32-H	Rhyolite tuff	Quartz, Orthose	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
34-H	Tuff	Quartz	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
35-H	Rhyolite tuff	Quartz, Sanidine	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
36-H	Rhyolite tuff	Quartz, Sanidine	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
39-H	Tuff	Quartz	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
40-H	Trachyandesite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
41-H	Rhyolite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
44-H	Tuff	Quartz	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
45-H	Rhyolite	Quartz, Plagioclase	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide
48-H	Rhyolite	Quartz, Sanidine	Clay mineral, Sericite	Opaque mineral-Iron oxide

تـوف ریـولیتی بـا بافـت کریستالوکلاسـتیک از فنوکریستال‌های بلوری کوارتز و مقدار کمی آثار بلوری از کانی تیره در خمیره شیشـه‌ای ساخته شده است. توف‌ها با بافت غالب میکروکریستالین از کـانی اصـلی کوارتز (۵۵ درصدحجمی)، فلدسپار (۲۰ درصدحجمی) و همچنین ۵ درصـدحجمی کـانی فرعـی (اکسـیدهای آهن و کانی‌های رسی) در زمینـه‌ای از شیشـه سـاخته شـده‌اند (شـکل ۴- B). کـوارتز (۲۵ درصـدحجمی) و آلکالی‌فلدسپار (۲۰ درصـدحجمی) از کانی‌هـای اصـلی سنگ‌های تراکی‌آندزیت هستند. بافـت ایـن سـنگ‌هـا پورفیری اسـت و شـامل ۳۰ درصـدحجمی کـانی‌هـای رسـی و کـانی‌هـای کـدر بـه‌ویژه اکسـیدهای آهـن در زمینه‌ای ریز دانه و شیشه هستند (شکل ۴- C). تـوف، ریولیت و تراکی‌آندزیت نیز از سنگ‌های آتشفشـانی در گنبـدنمکـی گچـین هسـتند (جـدول ۲). سـنگ‌هـای ریولیتی که بیشترین فراوانی را دارند، شامل کانی‌هـای اصـلی کـوارتز (۳۵ درصـدحجمی) و فلدسـپارهای دگرسان‌شده (۱۵ درصدحجمی) هستند که با فازهـای فرعی مانند مسکوویت، سریسـیت، کـانی‌هـای رسـی و کانی‌های کدر (۱۵ درصدحجمی) همراهـی مـی‌شـوند. بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری بـا دانـه‌هـای درشـت کوارتز در زمینـۀ ریزدانـه و شیشـه اسـت. کـانی‌هـای فلدسپار (ارتوکلاز و پلاژیوکلازهای سـدیک) به‌صـورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار و بیشتر بی‌شکل دیده می‌شـوند که با اکسیدهای آهن جایگزین و یا بـه کـانی رسـی و سریسیت تجزیه شده‌اند (شکل ۴- D). در ایـن گنبـد، تـــوف‌هـــای ریـــولیتی تجزیه‌شـــده بـــا بافـــت کریستالوکلاســـتیک متشـــکل از مقـــدار کمـــی فنوکریسـت‌هـای بلـوری کـوارتز (۴۰ درصـدحجمی) به‌صورت بی‌شکل گاه با حواشی خردشـده و خـوردگی خلیجـی در خمیـرۀ شیشـه‌ای بـا ۱۵ درصـدحجمی درشت‌بلورهای فلدسپار و ۱۵ درصدحجمی کـانی‌هـای تیره دیده می‌شوند (شکل ۴- E). در تراکی‌آنـدزیت بـا بافـت گلومروپرفیریتیـک، کـوارتز (۲۰ درصـدحجمی) همـــراه بـــا پلاژیـــوکلاز و آلکالی‌فلدســـپار (۳۵ درصــدحجمی) به‌صــورت بلورهــای شــکل‌دار تــا نیمه‌شـکل‌دار دیـده مـی‌شـوند و گـاه در آنهـا آثـار خردشدگی و تجزیه بـه کـانی رسـی و سریسـیت (۱۵ درصدحجمی) در زمینه‌ای از شیشه پدیدار شده است (شکل ۴- F).

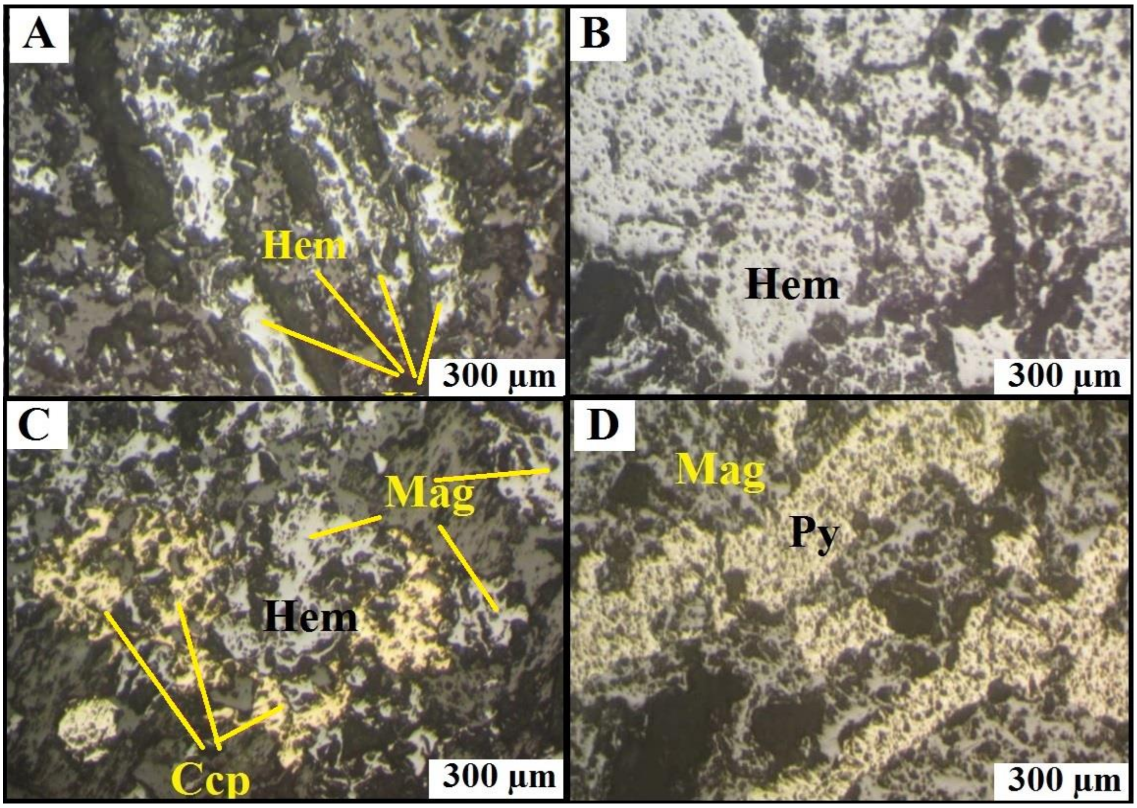
کانه‌زایی

در مقــاطع صـیقلی از کانــه‌هــای مــرتبط بــا سـنگ‌هـای آتشفشـانی هرمـز، هماتیـت بـا فراوانـی نزدیـک بـه ۵۰ تـا ۸۵ درصـدحجمی و ابعـاد ۲ تـا ۶۰۰ میکـرون به‌صـورت تیغـه‌ای (شـکل ۵- A) بـا ابعـاد ۲ میکـرون تـا ۱ میلیمتـر فـاز غالـب فلـزی اسـت کـه بافـت تـوده‌ای را در سـنگ پدیـد آورده است (شـکل ۵- B). هماتیـت‌هـا به‌صورت دو نسـل کانه‌زایی دیده مـی‌شـوند. هماتیـت‌هـای تیغـه‌ای یـا تـــوده‌ای به‌صـــورت نخســـتین (نســـل نخســـت) و هماتیــت‌هــای رگچــه‌ای به‌صــورت ثانویــه (نســل دوم) هســتند. مگنتیــت، پیریــت و کالکوپیریــت از دیگر کانی‌هـای فـراوان در نمونـه‌هـای کانـه مـرتبط بـا سـنگ‌هـای آتشفشـانی موجـود در گنبـدهای نمکـی گچـین هسـتند کـه به‌صـورت بلورهـای شـکل‌دار بـا ابعـاد ۲ تـا ۵۰۰ میکـرون بافـت مـوزاییکی را پدیـد آورده‌انـد (شـکل ۵- C). برپایـۀ روابـط کانـه‌هـا، فـاز اکسـیدی (مگنتیـت) در آغـاز و سـپس فـاز سـولفیدی (پیریـت و کالکوپیریـت) پدید آمده‌انـد. همچنـین، بافـت خـوردگی پیریـت و کالکوپیریـت توسـط مگنتیـت نشـان‌دهندۀ پیـدایش مگنتیت در فاز پس از ایـن کـانی‌هاسـت. پیریـت بـا فراوانـی نزدیـک بـه ۱۰ درصـد به‌صـورت بلورهـای

شکل‌دار با ابعاد ۲۰ تا ۴۰۰ میکرون به‌صورت رگچه‌ای میان مگنتیت دیده می‌شود. پس این کانی نسل دوم به‌صورت ثانویه و تأخیری پدید آمده است و نشان‌دهندهٔ فرایند پرکنندگی فضای خالی است (Parvaresh Darbandi *et al.*, 2020) (شکل ۵- D). کالکوپیریت به‌صورت لکه‌های بی‌شکل در میان دانه‌های مگنتیت دیده می‌شود (شکل ۵- C).



شکل ۴- تصویر مقاطع نازک سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین در XPL. A) سنگ ریولیتی در هرمز با فلدسپارهای دگرسان‌شده (نمونهٔ 45-H)؛ B) نمونهٔ توف هرمز با بافت میکروکریستالین (نمونهٔ 34-H)؛ C) تراکی‌آندزیت هرمز با بافت پورفیری (نمونهٔ 40-H)؛ D) بافت پورفیری در ریولیت گچین با دانه‌های درشت کوارتز (نمونه 3-G)؛ E) توف ریولیتی تجزیه‌شدهٔ گچین (نمونهٔ 52-G)؛ F) بافت گلومروپورفیری در نمونهٔ تراکی‌آندزیت گچین (نمونهٔ 46-G) (Php: کانی فیلوسیلیکاته؛ نام اختصاری دیگر کانی‌ها برپایهٔ Whitney و Evans (۲۰۱۰): Fsp: فلدسپار؛ Opq: کانی‌های تیره؛ Qz: کوارتز)



شـکل ۵- مقـاطع صـیقلی از سـنگ‌هـای آتشفشـانی هرمـز (A و B) و گچـین (C و D) در نـور بازتـابی PPL. A) هماتیـت تیغـه‌ای بـا فراوانی نزدیک بـه ۵۰ تـا ۸۵ درصـد و ابعـاد ۲ تـا ۶۰۰ میکـرون (46H)؛ B) هماتیـت بـا بافـت تـوده‌ای و ابعـاد ۲ میکـرون الـی ۱ میلیمتـر (نمونـهٔ 47H)؛ C) کـانی مگنتیـت بـا بافـت مـوزاییکی بـا فراوانـی نزدیـک بـه ۸۰ درصـد و ابعـاد ۲ تـا ۵۰۰ میکـرون همـراه بـا دانـه‌هـای بی‌شکل کالکوپیریت با فراوانـی نزدیـک بـه ۴ درصـد (نمونـهٔ 2G)؛ D) رگچـه‌هـایی از بلورهـای شـکل‌دار پیریـت بـا فراوانـی نزدیـک بـه ۱۰ درصـد و ابعـاد ۲۰ تـا ۴۰۰ میکـرون در میـان مگنتیـت (نمونـهٔ 2G) (نـام اختصـاری کانی‌هـا برپایـهٔ Whitney و Evans (۲۰۱۰): Mag: مگنتیت؛ Hem: هماتیت؛ Ccp: کالکوپیریت؛ Py: پیریت)

تجزیه‌های XRD از بخش‌هـای کانـه‌دار مـرتبط بـا سنگ‌های آتشفشانی، کانی‌های مهم گنبـدنمکی هرمـز، مانند هماتیـت، دولومیـت، کـوارتز، اوژیـت و بـا انـدکی تفاوت در تنوع، کانی‌های اصلی گنبدنمکی گچین ماننـد هماتیت، مگنتیت، کوارتز، کلسیت، اپیـدوت و کلریـت را نشان می‌دهند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج XRD بخش‌های کانه‌دار مرتبط با سنگ‌های آتشفشانی گنبدهای نمکی هرمز (KH) و گچین (KG)

Sample No.	Major phases	Minor phases
1KH	Quartz, Fluorapatite, Hematite, Dolomite	Mica-Elite, Chlorite, Microcline
2KH	Augite	Quartz, Brucite
3KH	Quartz, Hematite	Albite
1KG	Quartz, Magnetite, Hematite, Calcite	Fluorapatite, Goethite, Orthoclase, Mica- illite
2KG	Chlorite, Albite	Muscovite- illite , Hornblende, Microcline
3KG	Quartz, Calcite, Epidote	Hornblende, Microcline, Chlorite, Albite

زمین‌شیمی

برپایهٔ داده‌های زمین‌شیمیایی به‌دست‌آمده، مقدار Al_2O_3 در سنگ‌های آتشفشانی در گنبدهای نمکی هرمز و گچین از ۰/۰۳ تا ۱/۶۲ درصدوزنی در نوسان است. مقدار Fe_2O_3 در این سنگ‌ها نیز از ۰/۵۸درصدوزنی به بیشتر از ۱۰ درصدوزنی می‌رسد. همچنین، بیشترین مقدار CaO از ۱۰ درصدوزنی و بیشترین مقدار MgO از ۲ درصدوزنی بیشتر هستند. مقدار TiO_2 کمابیش بالاست و بیشترین مقدار آن به ۱/۳۱ درصدوزنی می‌رسد (جدول ۴). افزون‌بر این، مقدار Y بسیار بالاست؛ به‌گونه‌ای‌که بیشترین مقدار آن ۱۶۰۱ پی‌پی‌ام است (جدول ۳).

با به‌کارگیری عنصرهای Y، Ti، Nb و Zr که عنصرهای نامتحرک دانسته شده‌اند (Pearce, 1996)، در شناسایی نوع سنگ‌ها و برپایهٔ نتایج عنصرهای اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب (جدول‌های ۴، ۵ و ۶) و ترسیم نمودار Zr/TiO_2 دربرابر Nb/Y، سنگ‌های بررسی‌شده از نوع ریولیت، تراکی‌آندزیت، بازالت و داسیت هستند (شکل ۶). در میان این سنگ‌ها، سنگ‌های گچین با دو منطقهٔ جداگانه از تنوع و ناهمگنی و تغییر ترکیب نسبت به سنگ‌های هرمز بیشتری دارند. این ویژگی شاید پیامد چندین فاز فعالیت آتشفشانی در این جزیره باشد. گفتنی است در این پژوهش، غلظت عنصرهای اصلی برپایهٔ ppm و با نرم‌افزار OXDPPM به مقادیر اکسید تبدیل شده‌اند (Al-Mishwat, 2016) (جدول ۴).

جدول ۴- مقدار اکسیدی عنصرهای اصلی در سنگ‌های آتشفشانی گنبدنمکی هرمز (H) و گچین (G) (داده‌ها برپایهٔ درصدوزنی)

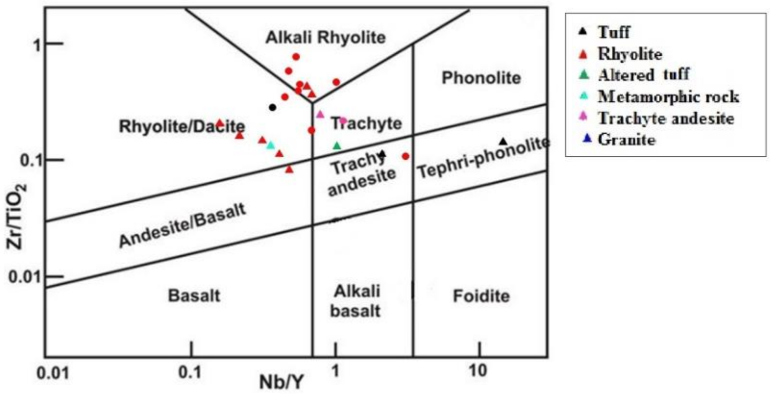
Sample No.	DL	1-G	2-G	3-G	46-G	47-G	49-G	50-G	52-G	56-G	57-G	58-G	59-G	60-G
Al_2O_3	0.01	1.33	0.03	1.12	1.17	1.16	1.62	1.3	1.2	1.2	1.27	1.28	1.26	1.49
Fe_2O_3	0.01	2.22	>10	1.86	4.11	1.6	9.08	1.14	5.25	0.58	4.65	4.64	2.55	6.4
MnO	0.01	0.4	0.01	0.28	0.05	0.13	0.1	0.03	0.09	0.02	0.12	0.05	0.03	0
MgO	0.02	1.19	0.07	1.37	1.79	0.48	>2	0.68	>2	1.44	2.47	2.69	1.52	0.09
CaO	0.01	1.8	>10	2.27	0.39	2.54	9.29	0.97	0.1	0.64	0.18	0.11	0.31	0.15
K_2O	0.01	5.72	0.29	4.83	6.25	4.98	2.96	3.84	3.74	8.53	5.92	6.05	3.85	5.19
Na_2O	0.01	0.14	0.06	0.45	1.56	0.7	0.32	5.07	0.67	0.58	0.15	0.4	4.1	0.24
P_2O_5	0.01	0.02	0.38	0.03	0.06	0.02	0.16	0.03	0.02	0.05	0.06	0.05	0.03	0.04
TiO_2	0.01	0.13	<10	0.12	0.34	0.11	1.31	0.4	0.16	0.14	0.32	0.28	0.18	0.12
Sample No.	DL	62-G	73-G	31-H	32-H	34-H	35-H	36-H	39-H	40-H	41-H	44-H	45-H	48-H
Al_2O_3	0.01	1.23	1.09	1.5	0.15	1.34	0.98	1.21	1.25	1.32	1.35	1.17	1.22	0.38
Fe_2O_3	0.01	0.93	3.34	2.89	>10	5.23	9.11	2.61	4.2	3.84	3.01	2.09	2.1	4.87
MnO	0.01	0.03	0.04	0.01	1.41	0.03	0.04	0.02	0.04	0.03	0.01	0	0.01	1.6
MgO	0.02	1.18	1.09	>2	2.59	>2	0.24	2.74	2.99	>2	>2	2.96	1.89	>2
CaO	0.01	2.67	1.11	0.21	>10	0.2	0.39	0.31	0.86	0.19	0.12	0.34	0.35	1.49
K_2O	0.01	5.28	8.96	4.77	1.26	5.22	3.79	6.96	4.71	4.36	3.8	5.69	4.23	2.69
Na_2O	0.01	0.85	1.63	0.25	0.3	1.15	0.8	1.19	0.68	0.31	0.25	1.92	0.12	0.87
P_2O_5	0.01	0.03	0.03	0.06	>3	0.09	0.03	0.02	0.06	0.07	0.06	0.05	0.02	0.16
TiO_2	0.01	0.14	0.17	0.54	0.06	0.36	0.17	0.13	0.3	0.43	0.17	0.21	0.16	0.11

جـدول ۵- مقـادیر عنصـرهای کمیـاب در سـنگ‌هـای آتشفشـانی گنبـدنمکی هرمـز (H) و گچـین (G) به‌دسـت‌آمده بـا روش ICP-MS (داده‌ها برپایهٔ ppm)

Sample No.	DL	1-G	2-G	3-G	46-G	47-G	49-G	50-G	52-G	56-G	57-G	58-G	59-G	60-G
Rb	1	167	<1	102	140	135	22	43	100	100	166	153	90	367
S	50	1918	>3%	1408	646	205	223	150	101	1454	2853	383	435	4108
Sr	1	143	50.3	166	16.6	20.6	465	72	18.6	30	287	17.5	46	320
Cs	0.5	13	<0.5	7.8	3.3	5.1	<0.5	0.6	3.6	0.9	3.7	8.1	0.7	3.1
Ba	1	106	168	145	531	198	228	693	438	451	>1%	189	295	32
Ta	0.1	0.8	0.25	0.5	0.5	0.63	0.59	0.49	0.84	0.34	0.58	0.6	0.51	0.52
Nb	1	8.9	3.3	6.6	6.7	7	7.3	8	7.5	4.6	6.7	6.2	5.9	5.6
Zr	5	115	11	59	7	74	79	13	87	7	11	10	17	9
Hf	0.5	3.93	1.05	1.99	1.21	2.82	2.9	1.31	3.45	0.99	1.23	1.14	1.25	0.97
Th	0.1	18	3.69	10.35	10.08	15.76	4.1	21.63	23.67	13.35	8.42	8.79	15.39	9.57
U	0.1	2.7	6.7	1.8	1	1.8	0.5	3.3	3.7	1.8	2.1	0.6	1.6	0.4
Y	0.5	16.9	379	12.8	21.3	20.1	22.4	38.1	12.4	9.8	16.7	6.3	36.7	<0.5
Sample No.	DL	62-G	73-G	31-H	32-H	34-H	35-H	36-H	39-H	40-H	41-H	44-H	45-H	48-H
Rb	1	196	124	156	18	126	98	138	88	79	119	69	121	202
S	50	353	6696	395	1670	336	731	396	435	289	271	244	2190	815
Sr	1	60.4	306	121	361	39.5	119	34.8	201	86.4	31.5	57.5	38.3	372
Cs	0.5	6.1	3.5	5.7	1.2	5.6	3.6	3.7	4.8	6.8	3.3	3	3.8	6.8
Ba	1	691	1691	64	4876	942	680	185	1423	95	159	58	88	249
Ta	0.1	0.83	0.65	0.87	0.43	0.84	0.66	0.52	0.62	1.07	0.53	0.47	0.74	0.39
Nb	1	8.8	9	11.3	3	8.8	7.5	7.5	7.6	9.4	6.2	6.4	10	4.9
Zr	5	68	69	130	6	79	99	75	68	93	118	6	132	27
Hf	0.5	2.74	3.09	4.09	2.16	2.68	3.17	3.25	2.75	3.16	3.69	1.11	5.04	1.51
Th	0.1	16.31	13.8	14.51	68.54	8.65	10.33	12.85	10.73	10.17	12.72	8.56	11.24	4.53
U	0.1	2.7	7.1	4.3	6.3	1.5	1.8	1.9	1.6	3.2	2.3	0.7	4.1	6.8
Y	0.5	20.4	9.8	21.8	1601	13.4	7.6	21.2	7.2	17.5	11.2	2.3	20.9	5.5

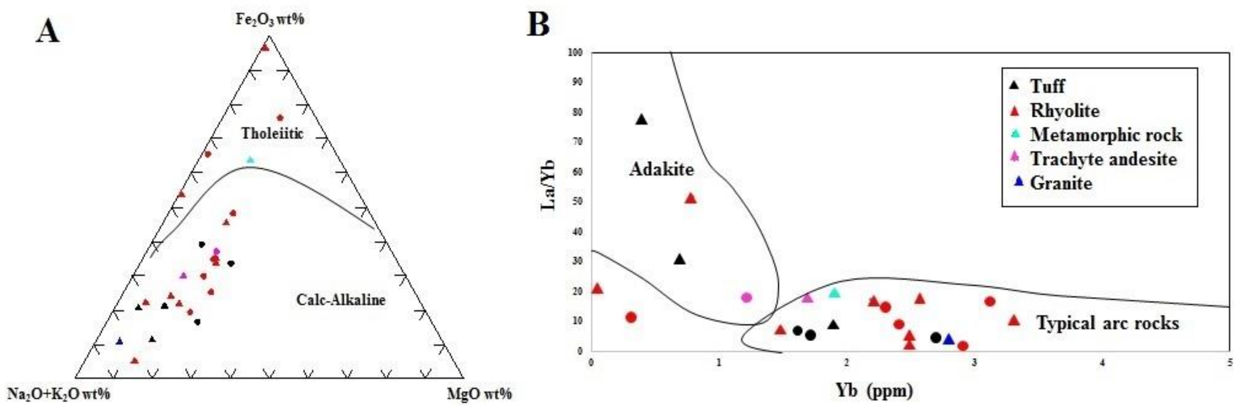
جـدول ۶- مقـادیر عنصـرهای خـاکی کمیـاب و برخـی پارامترهـای زمـین‌شـیمیایی در سـنگ‌هـای آتشفشـانی گنبـدنمکی هرمـز (H) و گچین (G) تعیین شده با روش ICP-MS (داده‌ها برپایهٔ ppm)

Sample No.	DL	1-G	2-G	3-G	46-G	47-G	49-G	50-G	52-G	56-G	57-G	58-G	59-G	60-G
La	1	43	36	30	16	36	12	33	8	41	10	21	3	31
Ce	0.5	93	65	60	26	71	25	82	14	74	15	34	5	32
Pr	0.05	9.75	6.4	6.06	2.73	7.17	2.41	9.38	0.74	7.19	1.35	3.81	<0.05	2.02
Nd	0.5	38	34.4	23	12.6	27.9	11.1	39.3	2.5	26.8	6.4	14.6	0.8	4.9
Sm	0.02	7.19	19.6	4.27	3.55	5.27	3.23	7.45	0.76	4.88	5.31	3.09	1.75	0.12
Eu	0.1	0.31	6.86	0.22	0.68	0.42	1.4	0.79	0.18	0.82	2.91	0.46	0.52	<0.1
Gd	0.05	5.47	28.25	4.08	4.12	4.97	4.28	7.05	2	4.75	3.01	2.96	4.53	1.53
Tb	0.1	0.56	6.25	0.49	0.67	0.68	0.72	1.14	0.29	0.63	0.56	0.37	0.92	0.17
Dy	0.02	2.43	53.05	2.05	4.27	3.36	4.72	7.39	1.58	2.38	3.49	1.44	7.21	0.28
Er	0.05	1.94	38.35	1.56	2.55	1.75	2.96	4.2	1.58	1.32	2.15	0.9	3.91	0.25
Tm	0.1	0.3	5.82	0.18	0.34	0.3	0.36	0.59	0.29	0.15	0.29	0.11	0.54	<0.1
Yb	0.05	2.6	29.2	1.7	1.9	1.9	2.8	3.3	2.5	0.8	1.5	0.7	2.5	0.4
Lu	0.1	0.3	3.72	0.27	0.25	0.31	0.37	0.52	0.44	0.16	0.22	0.12	0.39	<0.1
Eu/Eu*		0.15	0.89	0.16	0.54	0.25	1.15	0.33	0.45	0.52	2.23	0.47	0.56	0.71
La_N/Yb_N		11.15	0.82	11.9	5.68	12.77	2.89	6.74	2.16	34.55	4.49	20.23	0.81	52.25
Ce_N/Yb_N		9.25	0.58	9.13	3.54	9.67	2.31	6.43	1.45	23.93	2.59	12.56	0.52	20.69
Sample No.	DL	62-G	73-G	31-H	32-H	34-H	35-H	36-H	39-H	40-H	41-H	44-H	45-H	48-H
La	1	37	33	52	1894	11	11	13	23	22	42	4	4	26
Ce	0.5	72	49	131	3691	20	15	18	44	42	72	3	10	25
Pr	0.05	7.43	6.74	18.16	400	1.44	0.44	0.84	4.48	3.48	6.08	0.07	<0.05	1.34
Nd	0.5	28.5	27	103	1633	6	0.9	3.7	17.7	12.1	20.1	<0.5	<0.5	3.1
Sm	0.02	5.52	3.63	33.23	295	1.95	0.62	0.98	4.04	2.94	2.64	0.11	0.48	0.26
Eu	0.1	0.5	0.64	3.22	31.42	0.59	0.34	0.16	1.1	0.56	0.61	<0.1	0.23	0.25
Gd	0.05	4.93	2.5	7.47	273	2.61	2.12	2.69	3.27	3.6	3.25	1.49	2.75	1.81
Tb	0.1	0.65	0.38	0.72	42.51	0.39	0.3	0.48	0.41	0.51	0.54	0.22	0.54	0.28
Dy	0.02	3.7	1.79	3.81	277	2.22	1.18	2.92	1.35	2.65	1.84	0.68	3.22	0.96
Er	0.05	2.17	1.78	2.79	161	1.68	1	2.19	1.29	1.89	1.72	0.46	2.49	0.79
Tm	0.1	0.31	0.35	0.44	20.14	0.26	0.17	0.37	0.17	0.36	0.22	<0.1	0.41	0.14
Yb	0.05	2.2	2.3	3.1	97.6	1.7	1.6	2.7	1.2	2.4	1.6	0.3	2.9	0.8
Lu	0.1	0.35	0.44	0.5	13.15	0.25	0.22	0.47	0.23	0.36	0.29	<0.1	0.51	0.15
Eu/Eu*		0.29	0.65	0.62	0.34	0.8	0.91	0.3	0.93	0.53	0.64	0.68	0.61	1.11
La_N/Yb_N		11.34	9.67	11.31	13.08	4.36	4.64	3.25	12.92	6.18	17.7	8.99	0.93	21.91
Ce_N/Yb_N		8.47	5.51	10.93	9.78	3.04	2.42	1.72	9.48	4.53	11.64	2.59	0.89	8.08



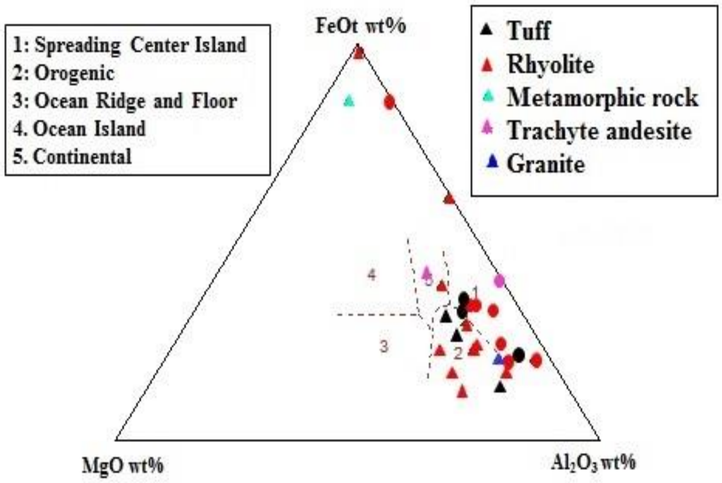
شکل ۶- سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین در نمودار دو متغیرهٔ Zr/TiO_2 دربرابر Nb/Y (Pearce, 1996)

بیشتر این نمونه‌ها در نمودار سه‌تایی FeO-(Na_2O+K_2O)-MgO یا AFM در محدودهٔ کالک‌آلکالن جای گرفته‌اند (شکل ۷- A). برپایهٔ نمودار شکل ۷- B)، نمونه‌های بررسی‌شده سرشت آداکیتی ندارند و در محدودهٔ سنگ‌های آتشفشانی نرمال جای گرفته‌اند.

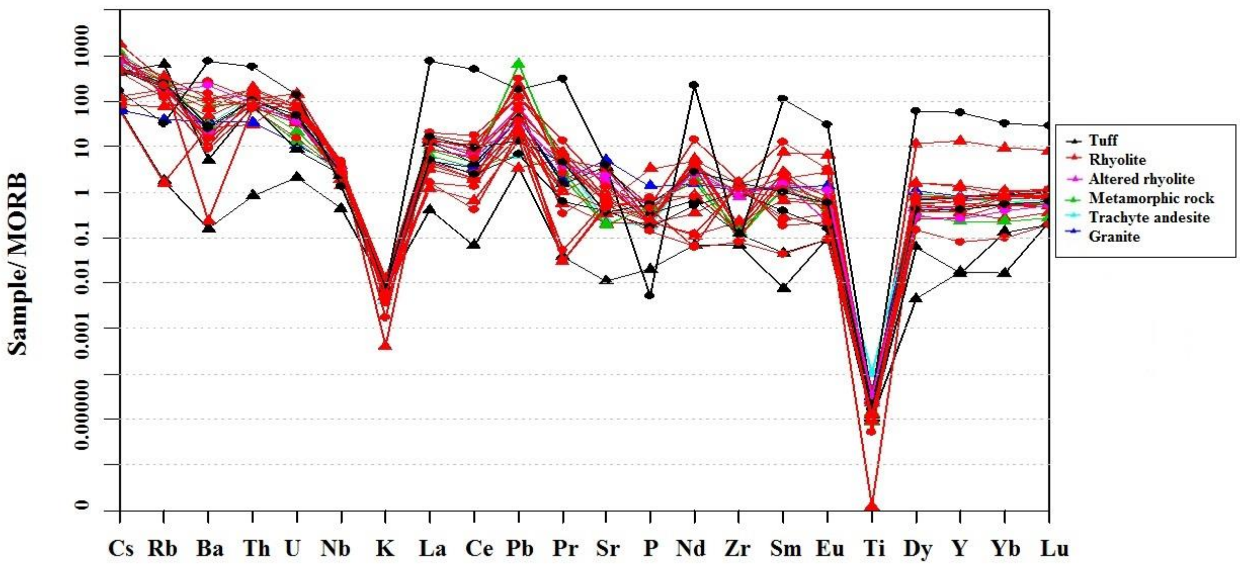


شکل ۷- سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین در: A) نمودار سه متغیرهٔ FeO^t-(Na_2O+K_2O)-MgO (Irvine and Baragar, 1971)؛ B) نمودار دو متغیرهٔ Yb-(La/Yb) (Defant and Drummond, 1990)

در تعیین تفاوت محیط و جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین در این دو گنبدنمکی در نمودار Al_2O_3-FeO-MgO (Pearce and Gale, 1977) آشکار شد نمونه‌های گنبدنمکی هرمز در محیط کمان وابسته به محیط فرورانش و نمونه‌های گنبدنمکی گچین در محدودهٔ کوهزایی قاره‌ای جای دارند (شکل ۸). برپایهٔ بررسی‌های Faramarzi و همکاران (۲۰۱۵) روی زیرکن‌های ریولیت‌های هرمز، سن سنگ‌های آذرین گنبدهای نمکی نئوپروتروزوییک تا کامبرین پیشین به‌دست آمد. نمونه‌های آتشفشانی دو گنبدنمکی در نمودارهای عنکبوتی عنصرهای ناسازگار دربرابر ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) بهنجارشدند. در این نمودار، تهی‌شدگی TNT نشان می‌دهد این سنگ‌های آتشفشانی به پهنهٔ فرورانشی وابسته هستند (Wang *et al*., 2004; Seyedqaraeini *et al*., 2019) (شکل ۹).

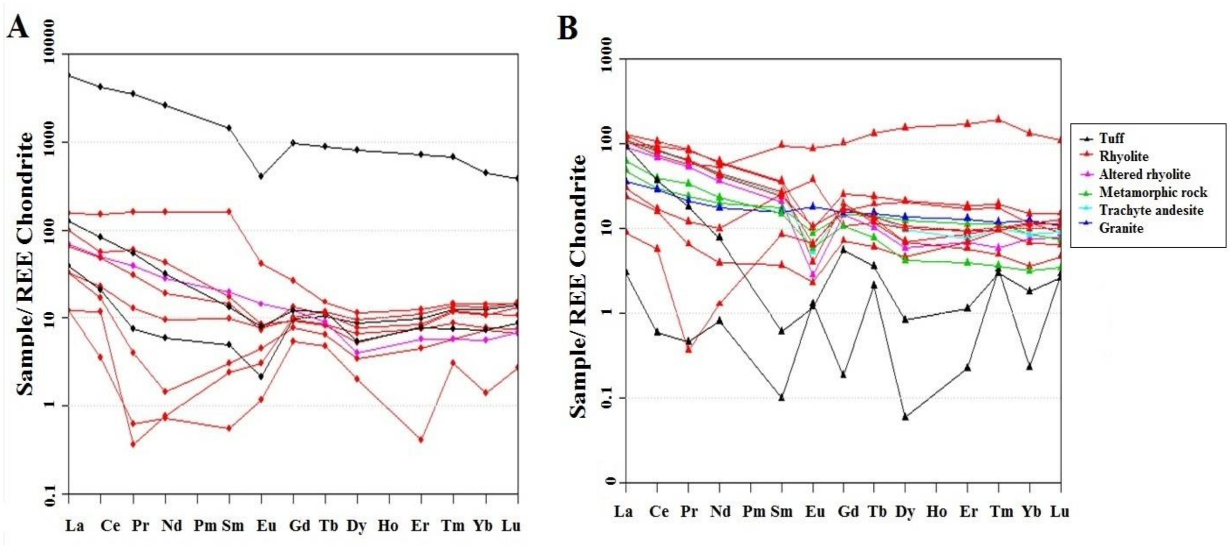


شکل ۸- سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین در: نمودار سه متغیرهٔ FeO_t-MgO-Al_2O_3 (Pearce and Gale, 1977)



شـــکل ۹- نمـــودار عنکبـــوتی عنصـــرهای ناســـازگار بهنجارشـــده بـــه ترکیـــب گوشـــته (Sun and McDonough, 1989) بـــرای سنگ‌های آتشفشانی هرمز و گچین

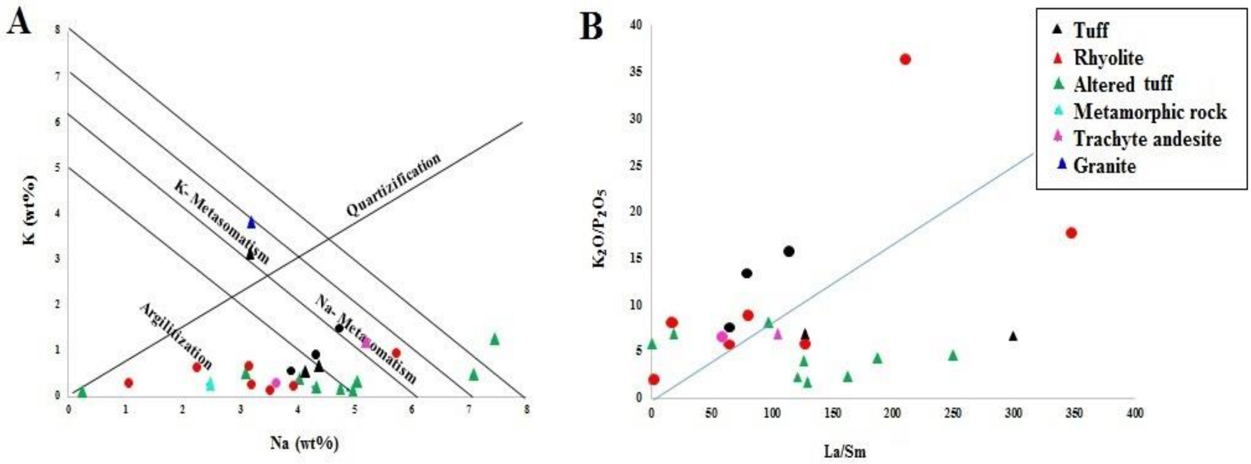
نمـــودار عنصـــرهای خـــاکی کمیـــاب نمونـــه‌هـــای بررسی‌شـــدهٔ بهنجارشـــده بـــه ترکیـــب کنـــدریت (Nakamura, 1974) (شـــکل ۱۰) نشـــان مـــی‌دهـــد ســـنگ‌هـــای ریـــولیتی و تـــوف‌هـــای گنبـــدنمکی گچـــین الگـــوی مـــنظم‌تـــری نســـبت بـــه نمونـــه‌هـــای گنبـــدنمکی هرمـــز دارنـــد؛ امـــا بـــه‌طـــورکلی، غنـــی‌شـــدگی انـــدک از عنصـــرهای خـــاکی کمیـــاب ســـبک (LREE) نســـبت بـــه عنصـــرهای خـــاکی کمیـــاب ســـنگین (HREE) پیامـــد درجات ذوب‌بخشی کـم مـواد خاسـتگاه اسـت. در ایـن نمـودار، بـی‌هنجـاری منفـی Eu نسـبت بـه ترکیـب کنـدریت بـرای هـر دو منطقـه دیـده مـی‌شـود (شـکل ۱۰- A). الگـــوی عنصـــرهای خـــاکی کمیـــاب در نمونـــه‌هـــای آتشفشـــانی هرمـــز کمـــابیش مســـطح و بـــا شیب بسیار کم و نامنظم‌تر است (شکل ۱۰- B).



شکل ۱۰- الگوی عنصرهای خاکی کمیاب بهنجارشده به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974) برای: A) نمونه‌های هرمز؛ B) نمونه‌های گچین

مقدار کل عنصرهای خاکی کمیاب (ΣREE) و بی‌هنجاری به‌دست‌آمده برای عنصر یوروپیم با به‌کارگیری رابطهٔ $Eu/Eu^*=Eu_N(Sm_N\times Gd_N)^{0.5}$ (جدول ۶) نشان می‌دهند مقدار عنصرهای خاکی کمیاب در سنگ‌های آذرین گنبدنمکی هرمز بسیار بیشتر (۸۸۲۸ پی‌پی‌ام) از نمونه‌های گچین ۳۳۲ پی‌پی‌ام است. مقدار ΣREE در بیشتر نمونه‌های گنبدهای نمکی هرمز و گچین، بیشتر از میانگین ΣREE در آب‌های اقیانوسی (کمتر از ۱۰۰ پی‌پی‌ام) است (Moghadasi, 2017). بی‌هنجاری Eu به‌دست‌آمده در همهٔ نمونه‌ها (مگر در سه نمونه) منفی است (شکل ۹). نبود بی‌هنجاری منفی Eu در سه نمونهٔ یادشده نشان‌دهندهٔ فعالیت بیشتر اکسیژن در زمان پیدایش آنهاست (Rollinson, 1993). مقدارهای تفکیک‌شدگی کل عنصرهای خاکی کمیاب (La_N/Yb_N) در نمونه‌های هرمز در بازهٔ ۲۱/۹۱-۰/۹۳ و در نمونه‌های گنبدنمکی گچین، با اندکی افزایش، در بازهٔ ۵۲/۲۵-۰/۸۱ هستند. بازهٔ گستردهٔ درجهٔ تفکیک‌شدگی عنصرهای خاکی کمیاب نشانهٔ پیدایش سنگ‌های آتشفشانی گنبدنمکی گچین در پی آلایش پوسته‌ای است (Omidyanfar *et al.*, 2019).

برای بررسی متاسوماتیزم روی‌داده در سنگ‌های آتشفشانی گنبدهای نمکی هرمز و گچین، نمودار Na دربرابر K به‌کار برده شد (شکل ۱۱- A). برپایهٔ این نمودار، دگرسانی جانشینی از نوع کلسیمی و آرژیلیتی است (Cuney *et al.*, 1989). همچنین، در این بررسی برای ارزیابی آلودگی با سنگ‌های پوسته‌ای، افزون‌بر ویژگی‌ها و مقدار عنصرهای خاکی کمیاب، از شاخص La/Sm بهره گرفته شد که از مهم‌ترین معرف‌های حساس به آلودگی پوسته‌ای است. برپایهٔ همبستگی مثبت میان نسبت La/Sm دربرابر نسبت K_2O/P_2O_5 (شکل ۱۱-B)، آلودگی ماگما با پوستهٔ قاره‌ای سنگ‌های آتشفشانی گنبدهای نمکی هرمز و گچین روشن است (Lightfoot and Keays, 2005).



شکل ۱۱- A) موقعیت نمونه‌های هرمز و گچین در محدودهٔ متاسوماتیزم سدیمی و آرژیلیتی در نمودار Na-K (Cuney *et al.*, 1989)؛ B) همبستگی مثبت La/Sm در برابر K_2O/P_2O_5 (Lightfoot and Keays, 2005)

بحث

برپایهٔ بررسی‌های کانه‌نگاری، نمونه‌های آتشفشانی هرمز کانی اکسیدی هماتیت دارند. حضور این کانی نشان می‌دهد ماگمای سازندهٔ سنگ‌های هرمز نخست سرشت اکسیدی داشته است و سپس تحت‌تأثیر سیال‌های گرمابی اکسیده شده و هماتیت‌های ثانویه پدید آمده‌اند (Rajabzadeh and Rasti, 2012). برپایهٔ بررسی‌های Faramarzi و همکاران (۲۰۱۹)، هماتیت‌های توده‌ای در رگه‌ها از سیال‌های ماگمایی و یا از تبلور ماگمای اکسیدی به‌صورت نخستین متبلور شده‌اند و هماتیت‌های رگه‌ای ثانویه پیامد واکنش ریولیت- آب دریا با سیال‌های گرمابی برونبدمی چرخش‌یافته در این سنگ‌های آتشفشانی هستند. در نمونه‌های گچین، حضور مگنتیت نشان‌دهندهٔ فاز اکسیدی در مراحل آغازین پیدایش ماگما و حضور کانی‌های سولفیدی مانند پیریت و کالکوپیریت نشان‌دهندهٔ محیط احیایی در مرحله بعدی پیدایش این سنگ‌هاست که با حضور مقادیر بالای گوگرد (بیشتر از ۳ درصد) در نمونه‌های گچین همخوانی دارد (Etemadi *et al.*, 2002). همچنین، برپایهٔ کانه‌زایی اولیه و ثانویه، آهن در ماگمای نخستین بسیار بالا بوده است و بیشتر از مقدار موجود در محلول بوده است. ازاین‌رو، با گوگرد بجامانده واکنش داده است. افزون‌بر این، حضور کلسیت در نمونه‌های گچین دلیلی بر آلودگی پوسته‌ای ماگمای سازنده در هنگام بالاآمدن است.

برپایهٔ جایگاه سنگ‌های آندزیت، تراکی‌آندزیت، بازالت، داسیت و ریولیت با سرشت کالک‌آلکالن و استقرار جایگاه زمین‌ساختی نمونه‌های هرمز درون محیط گسترش بستر اقیانوسی و سنگ‌های گچین در کوهزایی قاره‌ای (شکل ۸)، خاستگاه این سنگ‌ها می‌تواند از جایگیری ماگمای گوشته‌ای زیر پوستهٔ قاره‌ای باشد. جای‌گرفتن تقریباً نیمی از نمونه‌های گچین در محدودهٔ بازالت (شکل ۶)، چه‌بسا دلیلی بر محیط فرورانش است و این نکته با نمودارهای مربوط به جایگاه زمین‌ساختی و جای‌گرفتن نمونه‌های گچین در محدودهٔ کوهزایی نیز همخوانی دارد (Biabangard and

(Molazadeh Baravati, 2018). همچنین، برپایهٔ نسبت La_N/Yb_N، نمونه‌های گچین (با مقادیر ۱/۵ تا ۹۵/۴) و کمتر از این مقدار برای نمونه‌های هرمز (با مقادیر ۱/۷ تا ۳۲/۳)، سنگ‌های گچین ذوب پوستهٔ قاره‌ای و محیط درون‌قاره‌ای نشان می‌دهند؛ اما سنگ‌های هرمز مربوط به ذوب‌بخشی پوستهٔ اقیانوسی هستند (Rapp *et al.*, 1991; Reich *et al.*, 2003).

تهی‌شدگی از TNT و کاهش اندک Sr نشان‌دهندهٔ محیط زمین‌ساختی حاشیهٔ قاره‌ای فعال مرتبط با فرورانش است (Roger, 1992; Wang *et al.*, 2004; Biabangard *et al.*, 2019; Gholipoor *et al.*, 2020). استرانسیم با داشتن سرشتی ناسازگار به‌طور معمول در پایان جدایش بلورین، جانشین کلسیم و پتاسیم در پلاژیوکلاز و پتاسیم‌فلدسپار می‌شود (Mason and Moore, 1982). سنگ‌هایی که محصول تبلور ماگمای نسبتاً مافیک بوده‌اند، در اثر تبلور پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار در مراحل نخستین تبلور، استرانسیم را از مذاب خارج کرده‌اند. مذاب‌های بجامانده، سنگ‌های آتشفشانی فلسیک این دو گنبد را تشکیل می‌دهند و ازاین‌رو، بیشتر نمونه‌ها بی‌هنجاری منفی استرانسیم دارند. بی‌هنجاری مثبت اندکِ استرانسیم در برخی نمونه‌ها نیز به‌علت دگرسانی و ورود سیال‌های گرمابی با مقادیر ناچیزی استرانسیم به این سنگ‌ها رخ داده است. بی‌هنجاری مثبت Pb شاید نشانهٔ متاسوماتیزم گوهٔ گوشته‌ای با رسوب‌های پوستهٔ فرورو باشد (Kamber *et al.*, 2002; Seyedqaraeini *et al.*, 2019).

بی‌هنجاری منفی TNT شاخص آلودگی با سنگ‌های پوستهٔ قاره‌ای است. مقدار Nb (۷/۱۱ ppm) در سنگ‌های این دو گنبدنمکی شاید نشان‌دهندهٔ ماگمای جداشده از گوشتهٔ متاسوماتیزم‌شده و ماگماتیسم مرتبط با پهنهٔ فرورانش و شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی باشد (Zarei Sahamiye and Ebrahimi, 2014; Seyedqaraeini *et al.*, 2019; Amani *et al.*, 2020). مقدار کم نسبت Nb/U (۴/۷۵؛ جدول ۵) در سنگ‌های آتشفشانی هرمز چه‌بسا پیامد دخالت سازنده‌های پوستهٔ قاره‌ای در پیدایش ماگمای مادر این سنگ‌ها (Rudnick and Fountain, 1995) باشد. افزون‌بر این، مقادیر بالای Rb و Th آلودگی ماگما در پوسته بالایی هنگام تکامل ماگما را نشان می‌دهد (Motamedi *et al.*, 2011). همچنین، همبستگی مثبت La/Sm در برابر K_2O/P_2O_5 (شکل ۱۱- B) در نمونه‌های این گنبد گویای آلودگی ماگما با پوستهٔ قاره‌ای دارد (Lightfoot and Keays, 2005). بی‌هنجاری مثبت Y و نسبت Zr/Y بیشتر از ۳ در ارتباط با محیط فرورانش است (Mobashergermi *et al.*, 2018). بالابودن مقدار Ba/Nb (۰/۲ تا ۱۸/۹) که از ویژگی‌های ماگماهای محیط کمانی است (Fitton *et al.*, 1991)، در رابطه با نسبت بالاتر از ۲۸ در این گنبدها نشانهٔ ارتباط این سنگ‌ها با کمان‌های آتشفشانی مرتبط با فرورانش (شکل ۸) (Mobashergermi *et al.*, 2018) است. بررسی‌های Faramarzi و همکاران (۲۰۱۵) روی زیرکن‌های گنبدنمکی هرمز نیز جایگاه مرز قاره‌ای فعال و فرورانش را نشان می‌دهند. سنگ‌های ریولیتی و توف‌های آتشفشانی هرمز در زمان ادیاکاران (Ediacaran) در جایگاه فرورانش صفحهٔ اقیانوسی پرتوتتیس (Proto-Tethys) به زیر گندوانا روی داده است (Faramarzi *et al.*, 2017).

نمـــودار عنصـــرهای خـــاکی کمیـــاب بهنجارشـــده دربرابـــر ترکیـــب کنـــدریت بـــرای نمونـــه‌هـــای گچـــین (جـــدول ۶) به‌صـــورت مـــوازی و کمـــابیش پیوســـته اســـت. ایـــن ویژگـــی نشـــان‌دهندۀ خاســـتگاه واحـــد و تبلوربخشـــی در تحـــول ماگمـــایی ایـــن ســـنگ‌هاســـت (Moghadasi, 2017). برپایـــۀ نـــاهمگنی الگوهـــای REE در نمونـــه‌هـــای بررسی‌شـــده (شـــکل ۱۰) و نسـبت La_N/Yb_N در ریـولیتی و تـوف‌هـای آتشفشـانی گچـــین و هرمـــز بـــه‌ترتیب ۱۲/۵ و ۹/۶، اســـتنباط می‌شـود در ایـن تـوده‌هـا جـدایش بلـورین بـه‌خوبی روی نـداده اسـت (Cheshmehsari et al., 2012). همچنـــین، برپایـــۀ بررســـی‌های Alimohamadi و همکـــاران (۲۰۱۶) روی ســـنگ‌هـــای آتشفشـــانی در محـــیط‌هـــای فـــرورانش، مقـــدار متوســـط La_N/Yb_N برابـر بـا ۳/۷۵ نشـان‌دهندۀ جـدایش بلـورین انـدک ماگمـای مـادر آنهـا و نیـز جـدایش‌نیافتن عنصـرهای خاکی کمیاب سـنگین اسـت. بـه‌نظر مـی‌رسـد افـزایش مقـدار ΣREE در نمونـه‌هـای هرمـز، بـه‌علت حضـور کـــانی فلورآپاتیـــت (Rostami et al., 2014) و غلظـت بـالای LREE، بـه‌ویژه در ریولیـت و تـوف‌هـای آتشفشـانی هرمـز، پیامـد درجـات ذوب‌بخشـی کـم مواد خاستگاه باشـد. ایـن ویژگـی شـاخص سـنگ‌هـای کالک‌آلکـالن مـرتبط بـا پهنـه‌هـای فـرورانش در مـرز قـــاره ای فعـــال اســـت (Salehi et al., 2010; Yousefzadeh et al., 2019). مقـــدار کمـــابیش بـــالای استرانســـیم در برخـــی نمونـــه‌هـــا نشـــانۀ ذوب اندک بخـش‌هـای بـالای گوشـته و آلـودگی بـا پوسـته اسـت (Zarasvandi et al., 2007; Zarasvandi et al., 2019). ازآنجایی‌کـــه (Eu/Eu*>1) شـــاخص محـــیط احیـــایی و (Eu/Eu*<1) شـاخص اکسـیدی اسـت (Mehraban et al., 2016)، تهـی‌شـدگی Eu نسـبت بـه کنـدریت شـاید بـا تبلوربخشـی پلاژیـوکلاز از ماگمـای خاسـتگاه مـرتبط باشـد (Frietsch and Pendahl, 1995; Richards et al., 2012; Seyedqaraeini et al., 2019). همچنـین، بـالابودن مقـدار LREE نسـبت بـه HREE (شـکل ۱۰) چه‌بسـا نشـــان‌دهندۀ ذوب‌بخشـــی و شـــاخص ماگماهـــای پدیدآمـده در پهنـه‌هـای فـرورانش اسـت (Pirooj et al., 2019; Amirteymoori et al., 2019).

دامنـــۀ نوســـان مقـــدار نســـبت La_N/Yb_N در نمونـه‌هـای هرمـز (جـدول ۶) از ریولیـت و تـوف‌هـای گچین کمتر است. ایـن نکتـه نشـان مـی‌دهـد تحـولات ماگمایی نمونه‌هـای هرمـز از گچـین کمتـر بـوده اسـت (Barati and Gholipour, 2014). مقایســۀ مقــدار میـــانگین بـــالای La_N/Yb_N در نمونـــه‌هـــای هرمـــز (۹/۵۷) و گچـــین (۱۲/۴۹) بـــا میـــانگین آن در ترکیـب پوسـتۀ قـاره‌ای (۱۵/۲) و نزدیکـی میـانگین آن در نمونه‌هـای گچـین و پوستۀ قـاره‌ای (جـدول ۶) چه‌بســـا پیامـــد پیـــدایش ایـــن گنبـــدنمکی در محـــیط‌هـــای فـــرورانش مـــرز فعـــال قـــاره‌ای بـــا ذوب‌بخشـــی لیتوســـفر اقیانوســـی فـــرورو و خاســـتگاه گوشـــته‌ای متاســـوماتیزه باشـــد (Zarasvandi et al., 2005).

برداشت

مهم‌تـــرین نتـــایج به‌دســـت‌آمده از ایـــن بررســـی عبارتند از:

۱) بیشـتر سـنگ‌هـای آتشفشـانیِ گنبـدهـای نمکـی هرمـز و گچـین، ریولیـت و تـوف هسـتند کـه در بـازۀ زمـانی پـرمین پایـانی تـا تریـاس آغـازین بـه شـکل اسـتوک و دایـک در راسـتای گسـل‌هـای زمین‌سـاختی بـا مـرز مشـخص نسـبت بـه دیگـر واحدهای پیرامون خود پدید آمده‌اند؛

۲) بافـت غالـب میکروکریسـتالین و پـورفیری و زمینـۀ شیشـه‌ایِ سـنگ‌هـای آتشفشـانی بررسی‌شـده در

این گنبدها نشان‌دهندۀ انجماد سریع این سنگ‌ها هستند؛

۳) حضور کانی‌هایی مانند سرسیت و کانی‌های رسی از دگرسانی کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپارها نشان‌دهندۀ شرایط متاسوماتیزم و دگرسانی این سنگ‌هاست؛

۴) همانندیِ روند تغییرات عنصرهای کمیاب در توده‌های آتشفشانی هرمز و گچین نشان‌دهندۀ خاستگاه مشترک آنها با اندکی تفاوت است؛

۵) حضور هماتیت در نمونه‌های هرمز گویای سرشت اکسیدی ماگماست و حضور مگنتیت در نمونه‌های گچین نشان‌دهندۀ وجود فاز اکسیدی در مراحل آغازین پیدایش ماگما به‌شمار می‌رود. پیدایش پیریت و کالکوپیریت در نمونه‌های گچین نشان‌دهندۀ حاکمیت محیط احیایی در مراحل بعدی است؛

۶) بی‌هنجاری منفی TNT و بی‌هنجاری مثبت Pb نشان‌دهندۀ متاسوماتیزم گوۀ گوشته‌ای با سیال‌های پدیدآمده از پوستۀ اقیانوسی فرورو دربارۀ پیدایش سنگ‌های ریولیتی و توف‌های آتشفشانی هرمز یا آلایش ماگما با پوستۀ قاره‌ای دربارۀ پیدایش سنگ‌های آتشفشانی گچین است؛

۷) بالابودن مقدار Ba/Nb و نسبت Zr/Y>3 ویژگی‌های ماگماهای محیط کمانیِ نمونه‌های بررسی‌شده را نشان می‌دهند. نسبت‌های بالای La_N/Yb_N نشان می‌دهند پیدایش این توده‌های آذرین در ارتباط با پدیدۀ فرورانش بوده است.

بی‌هنجاری منفی Eu مربوط به جدایش بلورین پلاژیوکلاز در سنگ خاستگاه است؛

۸) برپایۀ نمودارهای زمین‌ساختی، نمونه‌های هرمز در محیط کمان وابسته به محیط فرورانش و نمونه‌های گچین در محدودۀ کوهزایی قاره‌ای جای می‌گیرند. مقدار بالای نسبت La_N/Yb_N نزدیک به مقدار آن در ترکیب پوستۀ قاره‌ای در نمونه‌های گچین است و حضور سنگ‌های ریولیتی و توف‌های گنبدنمکی در مرز قاره‌ای فعال را نشان می‌دهد؛

۹) برپایۀ ویژگی‌های ساختی، بافتی (بافت پورفیری)، کانی‌شناسی (حضور کانی‌های آبدار مانند آمفیبول) و کم‌بودن مقدار Zr، Ti، Ta، Nb و نسبت بالای LREE/HREE، پیدایش سنگ‌های آذرین آتشفشانی بررسی‌شده به محیط فرورانش نسبت داده می‌شود. به‌نظر می‌رسد ماگمای سازندۀ این سنگ‌ها پیامد ذوب‌بخشی گوشتۀ متاسوماتیزه است.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه ارومیه و دانشگاه پیام نور استان هرمزگان انجام شده است؛ ازاین‌رو، نگارندگان نهایت سپاس خود را به همۀ مسئولان مربوطه اعلام می‌کنند. همچنین، نگارندگان از پیشنهادهای سازنده داوران گرامی مجله سپاس‌گزاری می‌کنند.

منابع

Abdollahie Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, A. (2006) Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. Petroleum Geoscience 12(4): 347-362. DOI: 10.1144/1354-079305-706

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F. (2005) Convergence history across Zagros

(Iran): Constraints from collisional and earlier deformation. International Journal of Earth Sciences 94: 401-419. DOI: 10.1007/s00531-005-0481-4

Alian, F. and Bazamad, M. (2014) Petrography of Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh. 6th Symposium of Iranian Society of Economic Geology, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran (in Persian).

Alimohamadi, M., Alirezaei, S., Kentak, D. (2016) Geology, petrogenesis, geological setting of the volcanic and plotonic rocks from Daraloo and Sarmeshk porphyry copper deposits, south Kerman copper belt, Iran. Scientific Quarterly Journal of Geoscience 25(98): 159-170 (in Persian). DOI: 10.22071/gsj.2016.41187

Al-Mishwat, A. T. (2016) OXDPPM: A software to convert chemical elements between oxides and native elements. Journal of Software Engineering and Applications 9: 561. DOI: 10.4236/jsea.2016.911038

Amani, K. H., Delavari, M., Amini, S., Tabbakh Shabani, A. A. (2020) The Late Cretaceous volcanic rocks from Talesh area (western Alborz): Chemical variation, crystallization condition, hygrometry and tectonic setting. Iranian Journal of Petrology 39: 79- 100 (in Persian). DOI: 10.22108/IJP.2019.117648.1140

Amirteymoori, N., Mohammadi, S. S., Nakhaei, M. (2019) Petrography, Geochemistry and tectonomagmatic setting of Tertiary volcanic rocks in Ebrahim Abad area (southwest of Gazik, Southern Khorasan). Iranian Journal of Petrology 37: 53-74 (in Persian). DOI: 10.22108/IJP.2018.111454.1087

Barati, M. and Gholipour, M. (2014) Study of behavior of Rare Earth Elements, fluid inclusions, and stable isotopes of oxygen and sulfur in Zafar Abad skarn iron ore deposit, Northwest of Divandareh, Kurdistan Province. Journal of Economic Geology 2: 35-57 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v6i2.20257

Biabangard, H. and Molazadeh Baravati F. (2018) Geology, geochemistry and tectonomagmatic of some volcanic cones in southeastern Iran. Scientific Quarterly Journal of Geoscience 28(109): 161-174 (in Persian). DOI: 10.22071/gsj.2017.86320.1108

Biabangard, H., Rigie, S. and Soloke, H. R. (2019) Petrology, geochemistry and origin of Rigmalak granite, southeast of Zahedan. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27: 839-854 (in Persian). DOI: 10.29252/ijcm.27.4.839

Blanford, N. T. (1872) Note on the geological formation seen along the coasts of Baluchistan and Persia from Karachi to the head of Persian Gulf. Geological Survey of India 5: 5- 41 (in Persian). http://ijcm.ir/article-1-829-en.html

Cheshmehsari, M., Abedini, A., Alizadeh, A. and Mosavi, S. M. (2012) Mineralogy and geochemistry of Rare Earth Elements of Delir phosphate horizon (Southwest of Chalus, Mazandaran Province). Journal of Economic Geology 2: 319-333 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v4i2.16499

Cuney, M., Leroy, J., Valdiviezo, P. A., Daziano, C., Gamba, M., Zarco, A. J., Molina, P. (1989) Geochemistry of the uranium mineralized Achala granitic complex, Argentina: Comparison with Hercynian peraluminous leucogranites of western Europe. Technical committee on metallogenesis of uranium deposits, Vienna (Austria) 211-232

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. DOI: https://doi.org/10.1038/347662a0

Etemadi, B., Karami, B., Jafari, Y. (2002) Mineralogical and geochemical evaluation of clay minerals of Zounoz mine, in Marand according to REE & SEM studies in comparison with Esteghlal mine, in Abadeh. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 10: 34-50 (in Persian). URL: http://ijcm.ir/article-1-829-en.html

Fakhari, M. (1994) Bandarabbas geological compilation map. M. Fakhari Ph. D. thesis under supervision of S. Shahriyari, Islamic Azad University.

Faramarzi, N. S., Jamshidibadr, M., Heuss-Assbichler, S., Borg, G. (2019) Mineral chemistry and fluid inclusion composition as petrogenetic tracers of iron oxide-apatite ores from Hormuz Island, Iran. Journal of African Earth Sciences 155: 90-108. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2019.03.018

Faramarzi, S., Amini, A. K., Schmitt, J., Hassanzadeh, G., Borg, K., McKeegan, S. M. H., Razavi, S. M., Mortazavi, (2015) Geochronology and geochemistry of rhyolites from Hormuz Island, southern Iran: a new Cadomian arc magmatism in the Hormuz Formation. Lithos 236-237: 203-211. DOI: 10..1016/j.lithos.2015.08.017

Fitton, J. F., James, D., Leeman, W. P. (1991) Basic magmatism associated with Late Cenozoic extension in the Western United States: Compositional variations in space and time. Journal of Geophysical Research 96: 13693-13711. DOI: 10.1029/91JB00372

Frietsch, R. and Pendahl, J. A. (1995) Rare earth elements in apatite and magnetite in kiruna-type iron ores and some other Iron types. Ore Geology Reviews 9: 489-510. DOI: 10.1016/0169-1368(94)00015-G

Ghazban, F. and Al-Aasam, I. S. (2010) Hydrocarbon-induced diagenetic dolomite and pyrite formation associated with the Hormoz Island salt dome, offshore Iran. Journal of Petroleum Geology 33(2): 183- 196. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2010.00472.x

Gholipoor, M., Barati, M. and Tale Fazel, E. (2020) Geochemistry of apatite and host rocks in Lakeh Siah iron± apatite deposit (Northeast Bafq): Implications for origin and tectonomagmatic setting. Iranian Journal of Petrology 41: 73-102 (in Persian). DOI: 10.22108/IJP.2020.115080.1118

Haghshenas, E. (2015) Investigation of salt diapir structures of Hormuz Island along with preparation of lithological map. M. Sc. thesis, University of Kerman, Kerman, Iran.

Hassanlouei, B. T., and Rajabzadeh, M. A. (2019) Iron ore deposits associated with Hormuz evaporitic series in Hormuz and Pohl salt diapirs, Hormozgan province, southern Iran. Journal of Asian Earth Sciences 172: 30-55. DOI:10.1016/j.jseaes.2018.08.024

Hudec, M. R. and Jackson, M. P. (2007) Terra infirma: Understanding salt tectonics. Earth-Science Reviews 82: 1-28. DOI: 10.1016/j.earscirev.2007.01.001

Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences 8: 521-548. DOI: 10.1139/e71-055

Jafari Sadr, A. R. (2001) Geology and petrology of the complex of igneous rocks and the transformation of the salt dome of Gachin (Bandar Abbas). M. Sc. thesis, University of Tehran, Tehran, Iran.

Jahani, S., Callot, J. P., de Lamotte, D. F., Letouzey, J. and Leturmy, P. (2007) The salt diapirs of the eastern Fars Province (Zagros, Iran): A brief outline of their past and present in Thrust Belt and Foreland Basins. In: Thrust Belts and Foreland Basins (Eds. Lacombe, O., Roure, F., Lavé, J. and Vergés, J.) 289-308. Springer, Berlin, Germany. DOI: 10.1007/978-3-540-69426-7_15

Kamber, B. S., Ewart, A., Collerson, K. D., Bruce, M. C. and McDonald, G. D. (2002) Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models. Contributions to Mineralogy and Petrology 144: 38-56. DOI: 10.1007/s00410-002-0374-5

Khodabakhshnezhad, A. and Arian, M. (2016) Salt tectonics in the southern Iran. International Journal of Geosciences 7: 367-377 (in Persian). DOI: 10.4236/ijg.2016.73029

Lightfoot, P. C. and Keays, R. R. (2005) Siderophile and chalcophile metal variations in tertiary picrites and basalts from west Greenland with implications for the sulphide saturation history of continental flood basalt magmas. Economic Geology 100: 439-462. DOI: 10..2113/gsecongeo.100.3.439

Mason, B. H. and Moore, C. B. (1982) Principles of geochemistry. John Wiley, New York New York, US.

Mehraban, Z., Shafiei Bafti, B., Shamanian, G. H. (2016) Rare Earths in fluorite deposit of Elika Formation (East of Mazandaran Province). Journal of Economic Geology 8: 201-221 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v8i1.29969

Mobashergermi, M., Aghazadeh, M., Kheirkhah, M. and Ahmadzadeh, G. (2018) Geochemistry and petrogenesis of Cretaceous volcanic rocks from the south and southwest of Germi city (Northwest of Iran). Iranian Journal of Petrology 33: 91-110 (in Persian). DOI: 10.22108/IJP.2017.101362.1004

Moghadasi, S. J. (2017) Mineralogy and rare earth elements geochemistry of Jeirud phosphate deposit in Shemshak Valley, North Tehran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 26(102): 313-324 (in Persian). DOI: 10.22071/GSJ.2017.44054

Mohamadi, S. S. (2011) Petrology, geochemistry and tectonic granitoid complex of Rodareh, south of Birjand. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 2: 339-352 (in Persian). URL: http://ijcm.ir/article-1-458-en.html

Motamedi, H., Sepehr, M., Sherkati, S. and Pourkermani, M. (2011) Multi-phase Hormuz salt diapirism in the Southern Zagros, SW Iran. Journal of Petroleum Geology 34: 29-44. DOI: 10.1111/j.1747-5457.2011.00491.x

Nairn, A. E. M. and Alsharhan, A. S. (1997) Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East. Elsevier Science. DOI: 10.1016/B978-0-444-82465-3.X5000-1

Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous ad ordinary hondrites. Geochimica et Cosmochimica Acta 38: 757-775. DOI: 10.1016/0016-7037(74)90149-5

Omidyanfar, S., Rahgshai, M. and Monsef, I. (2019) Geochemistry and petrogenesis of the Koudakan granitoidic intrusion (Eastern of Lut Block). Scientific Quarterly Journal of Geosciences 29(113): 89-100 (in Persian). DOI: 10.22071/gsj.2018.84181.1100

Parvaresh Darbandi, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Azimzadeh, A. M., Karimpour, M. H. (2020) Magnetite mineralization properties of Narm iron mine with respect to petrology and geochemistry of its adjacent gabbroic-dioritic rocks (North of Tabas, South Khorasan Province). Iranian Journal of Petrology 44: 103-128 (in Persian). DOI: 10.22108/IJP.2020.118478.1145

Pearce, J.A. (1996) A User’s Guide to Basalt Discrimination Diagrams. In: Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration (Ed. Wyman, D. A.) Short Course Notes 12, 79-113. Geological Association of Canada.

Pearce, J. A. and Gale, G. H. (1977) Identification of ore deposition environrnents from trace element geochemistry of associated igneous host rocks. Geological Society, London, Special Publications 7: 14-24. DOI: 10.1144/gsl.sp.1977.007.01.03

Pirooj, H., Tahmasbi, Z., Ahmadi Khalaji, A. (2019) Mineralogy, geochemistry and radiometric dating of igneous rocks of Champeh salt dome, north Bandar-Lengeh. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 27: 909-924 (in Persian). DOI: 10.29252/ijcm.27.4.909

Rajabzadeh, M. A. and Rasti S. (2012) Mineralization study on magnetite deposit in Dehbid, Fars using by mineralogical and geochemical data. Journal of Economic Geology 2: 217-230 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v3i2.11435

Rapp, R. P., Watson, E. B., Miller, C. F. (1991) Partial melting of amphibolite/ eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalities. Precambrian Research 51: 1-25. DOI: 10.1016/0301-9268(91)90092-O

Reich, M., Parada, M., Palacios, C., Dietrich, A., Schultz, F., Lehman, B. (2003) Adakite-like signature of Late Miocene intrusions at the Los Pelambres giant porphyry copper deposit in the Andes of central Chile: metallogenic implications. Mineralium Deposita 38: 876-885. DOI: 10.1007/s00126-003-0369-9

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: 295–332. DOI: 10.2113/econgeo.107.2.295

Richardson, R. K. (1972) Die Geologie und die Salzdoms in sud-Westhichen des Persischen Golfes: Verh. Naturh-med. Ver Teile Heidelberg D. S 15

Rogers, N. W. (1992) Potassic magmatism as a key to trace element enrichment processes in the upper mantle. Journal of Volcanology and Geothermal Research 50: 85-99. DOI: 10.1016/0377-0273(92)90038-F

Rollinson, H. (1993) Using geochemical data: Evaluation, Presentation, Interpretation. Singapore Longman. DOI: 10.1016/0098-3004(95)90001-2

Rostami, A., Bazamad, M., Haj Alilou, B. and Moazzen, M. (2014) Investigation of Rare earth elements in apatite of Hormuz salt dome. Journal of Economic Geology 6: 71-85 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v6i1.20517

Rudnick, R. L. and Fountain, D. M. (1995) Nature and composition of the continental crust: A lower crustal perspective. Reviews of Geophysics 33: 267-309. DOI: 10.1029/95RG01302

Salehi, T., Ghaderi, M., Rashidnezhad Omran, N. (2010) Mineralogy and geochemistry of rare earth elements in Zn-Pb-Cu (Ag) of Gemish Tapeh deposit, southwestern of Zanjan. Journal of Economic Geology 3: 235-254 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v2i2.7853

Sasmaz, A., Yavuz, F., Sagiroglu, A. and Akgul, B. (2005) Geochemical patterns of the Akdagmadeni (Yozgat, Central Turkey) fluorite deposits and implications. Journal of Asian Earth Sciences 24(4): 469-479. DOI: org/10.1016/j.jseaes.2004.01.003

Schwinn, G. and Markl, G. (2005) REE systematics in hydrothermal fluorite. Chemical Geology 216: 225-248. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2004.11.012

Stöcklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin 52: 229-1258. DOI: 10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D

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. DOI: 10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19

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. Iranian Journal of Petrology 10(3): 79-100 (in Persian). DOI:10.22108/IJP.2020.118649.1147

Taghipour, S., Khalili, M., Noghrehyan, M., Torabi, G., Mackizadeh, M. A. and Taghipour B. (2008) Mineralogy and petrology in magmatic rocks of Hormuz Formation (salt diapires of High Zagros). Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 16: 377-388 (in Persian). URL: http://ijcm.ir/article-1-621-en.html

Talbot, C. J. (1998) Extrusions of Hormuz salt in Iran. Geological Society, London, Special Publications 143: 315-334. DOI: 10.1144/GSL.SP.1998.143.01.21

Talbot, C., Aftabi, P., Chemia, Z. (2009) Potash in a salt mushroom at Hormuz Island, Hormuz strait, Iran. Ore Geology Reviews 35: 317-332. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2008.11.005

Wang, Y., Chung, S., O’reilly, L., Sun, S. Y., Shinjo, R. and Chen, C. H. (2004) Geochemical constrations for the genesis of post –collisional magmatism and the geodynamic evolution of the Northern Taiwan region. Journal of Petrology 45: 975-1011. DOI: 10.1093/petrology/egh001

Whitney, D. L. and Evans, B. W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist 95: 185–187. DOI: 10.2138/am.2010.3371

Yousefzadeh, M. H., Rahmani, A., Mohammadi, S. S. (2019) Petrology and tectonomagmatic setting of volcanic and subvolcanic rocks in the east of Khousf (Southwest of Birjand). Petrology 37: 1-22 (in Persian). DOI:10.22108/IJP.2018.107138.1058

Zarasvandi, A., Rezaei, M., Tashi, M., Fereydouni, Z., Saed, M. (2019) Comparison of geochemistry and porphyry copper mineralization efficiency in granitoids of the Sanandaj-Sirjan and Urumieh-Dokhtar zones; using rare earth elements geochemistry. Journal of Economic Geology 11: 1-32 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v11i1.64479

Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M., Reynolds, P. H. (2007) $^{40}Ar/^{39}Ar$ geochronology of alteration and petrogenesis of porphyry copper-related granitoids in the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad area, central Iran. Exploration and Mining Geology 16: 11-24. DOI: 10.2113/gsemg.16.1-2.11-a.

Zarasvandi, A., Liaghat, S., Zentilli, M. (2005) Geology of the Darreh-Zerreshk and Ali-Abad porphyry copper deposits, central Iran. International Geology Review 47: 620-646. DOI: 10.2747/0020-6814.47.6.620.

Zarei Sahamiye, R. and Ebrahimi, S. (2014) Petrology, mineral chemistry and tectonomagmatic environment of volcanic rocks northeast of Farmahin (North of Arak). Journal of Economic Geology 6: 375-392 (in Persian). DOI: 10.22067/econg.v6i2.25969