



Ore Zoning, Geochemistry and Genesis of Iron Mineralization in Hormuz Volcano-Sedimentary Sequence, Larak Island, South of Bandar Abbas

Yousef Alizadeh Fard ¹, Fardin Mousivand ^{2*}

¹ M.Sc., Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Associate Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 16 April 2023
Revised: 19 June 2023
Accepted: 20 June 2023

Keywords

Volcano-sedimentary
Banded Iron Formation (BIF)
Algoma
Hormuz
Larak Island

ABSTRACT

Iron mineralization has occurred in Larak Island, located 30 km south of Bandar Abbas, within the Persian Gulf, in the Zagros structural zone. Stratigraphically, Larak Island dominantly consists of the Late Proterozoic Hormuz volcanic-sedimentary series, including rhyolitic lava and tuff, shale, and evaporative sediments. Iron mineralization has occurred in a specific stratigraphic horizon within the volcanic-sedimentary sequence. The orebodies involve four ore facies from bottom to top: vein-veinlets, brecciated, massive, and banded. The ore minerals are dominated by magnetite, oligiste, and secondary hematite, goethite and limonite, associated with gangue minerals such as apatite, calcite, quartz, and anhydrite. Wall rock alterations in this area include silicic-sericitic, carbonatic, chloritic, and secondary argillic. The samples obtained from iron ores in the geochemical diagrams including the Fe/Ti versus Al/(Al+Fe+Mn+Na+K+Ca) diagram and Mg versus V/Ti diagram, were plotted in the range of Banded Iron Formation (BIF) deposits. Due to the volcanic-sedimentary nature of the host sequence, lack of observation of glacial sediments, ore facies, ore textures, structures and mineralogy, alteration and geochemical features, the iron mineralization in Larak Island shows the most similarities with the Algoma-type BIF deposits.

*Corresponding author

Fardin Mousivand
✉ mousivand@shahroodut.ac.ir

How to cite this article

Alizadeh Fard, Y. and Mousivand, F., 2023. Ore Zoning, Geochemistry and Genesis of Iron Mineralization in Hormuz Volcano-Sedimentary Sequence, Larak Island, South of Bandar Abbas. *Journal of Economic Geology*, 15(2): 163–188. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.78626.1074>



©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 study area is located in Hormozgan province and southeast of Qeshm Island, on Larak Island. Based on structural-geological divisions of Iran, Larak Island is located in the southeastern part of the Zagros zone (Figure 1). The major rock outcrops of the region are part of the Hormuz Formation (HF), which is a collection of evaporites, volcanic, pyroclastic, and sedimentary units related to the Precambrian. According to Aghanabati (2004), at the southeastern part of the Zagros, especially in the area between Kazeroon and Minab faults, following the extensional phases of Katanga orogeny, evaporitic basins have been formed accompanied by igneous activities related to Katanga orogenic phase. Age measurements done by Ramezani and Tucker (2003) show that the igneous rocks of HF dates back to Early Cambrian. The HF rock units were exhumed as salt domes in southern Iran. The distribution of salt domes in the south of Iran is not uniform. They are gathered in two areas: One is Bandar Abbas-Sarvestan, including 101 domes and diapirs, and the other is the southern part of Kazeroon, including only 14 domes and diapirs. The total of 115 salt domes host reserves of salt, gypsum, potash, uranium, phosphate and iron (often hematite and in the form of red soil). Larak Island is one of the salt domes in southern Iran that has been less studied in terms of mineralization. The type and manner of formation of Larak Island rocks are very similar to those of Hormuz Island. Acidic magmatic activities in Larak Island and other salt domes in southern Iran are the result of melting of the upper crust by a magma derived from the upper mantle. Based on recent research, the iron mineralization in the Hormuz Formation is introduced as Rapitan-type Banded Iron Formation (Atapour and Aftabi, 2017). Moreover, the origin of iron and copper ores within the Hormuz volcano-sedimentary sequence in the Zendan salt dome located in Bandar Lengeh is inferred to be related to VMS type mineralization (see Biabangard et al., 2018). The Tang-e-Zagh Fe deposit in Bandar Abbas has been introduced as sedimentary-type (Tavakoli et al., 2014), and a sedimentary and magmatic-hydrothermal origin has been proposed for the genesis of iron and iron-apatite ores of Hormuz Island (Fakhri Dodoei and Alipour Asl, 2020). This study tries to introduce the evidence for

genesis of iron-apatite mineralization in Larak Island of Persian Gulf.

Materials and methods

Various sedimentary and igneous rock samples were taken from Larak Island. About 10 thin sections were prepared and petrographic examinations were performed on them. Moreover, 3 polished sections and 10 thin-polished sections were prepared and studied for mineralization, mineral structures and textures, paragenesis sequence of minerals, and distribution of ore minerals by reflecting microscope. Four samples from alteration zones were selected and studied by X-ray diffraction (XRD) method, and 10 samples of ores were analyzed to determine the amount of major and trace elements by ICP-OES/MS methods in the laboratory of Iran's Minerals Procurement and Production Company (IMPASCO).

Results and discussion

The Hormuz series is the major host of iron mineralization in Larak Island. The main rock outcrops of the study area belong to the Late Precambrian-Lower Paleozoic Hormuz Formation, involving rhyolite and rhyodacite lavas, rhyolite tuff, tuffaceous shale, sandstone, marl, sandy limestone, and evaporitic layers. The HF rock units are covered by Cenozoic sequences consisting of sandstone, marl, and fossiliferous limestone. From bottom to top the HF sequence involves four major rock units (Faramarzi et al., 2015): H1 includes marl and limestone, H2 includes tuff, rhyolite, trachyte, diabase, anhydrite, and limestone, H3 includes algal black limestone, and H4 includes sandstone and tuff. The stratabound and stratiform iron mineralization occurred within specific stratigraphic horizons in the H2 unit, as lenticular and layered orebodies underlain by vein-veinlet and brecciated ores hosted by tuff and lavas. The major ore facies involve vein-veinlets (stringer), brecciated, massive, and banded. The ore minerals are dominated by oligiste (hematite), magnetite, and secondary goethite, and limonite. The main gangue minerals are calcite, quartz, and clay minerals. Wall rock alterations in this area generally include sericitic, chloritic, carbonatic, and secondary argillic. The geochemical nature of the volcanic rocks of the region varies from calc-alkaline series to high-grade calc-alkaline and shoshonitic. To classify the ores, in addition to geological and mineralogical

studies, geochemical behavior of major and trace elements can be used (Dill, 2010). For this purpose, geochemical charts based on the elements of iron, titanium, aluminum, manganese, sodium, potassium, calcium, magnesium, and vanadium were used. The samples obtained from iron ores in the geochemical diagrams including the Fe/Ti versus Al/(Al+Fe+Mn+Na+K+Ca) diagram (Boström, 1975) and Mg versus V/Ti diagram (Nyström and Henríquez, 1994), were plotted in the range of Banded Iron Formation deposits. Various features of the iron mineralization in Larak Island, including tectonic setting, volcanic host and associated rock-types, geometry of orebodies, different ore facies (from bottom to top including vein-veinlets, brecciated, massive and banded-laminated), ore mineralogy, alteration zones and geochemistry of ores showed that the mineralization is very similar to

the Algoma-type BIF deposits (e.g., Gross, 1996; Taner and Chemam, 2015).

Conclusion

The features of iron mineralization in Larak Island, involving tectonic setting, host and associated rock-types, geometry of orebodies, different ore facies (from bottom to top including vein-veinlets, brecciated, massive, and banded-laminated), ore mineralogy, alteration zones, and geochemistry of ores show that the mineralization is very similar to the Algoma-type Banded Iron Formation deposits, formed due to seafloor exhalations and subsea-floor replacement of the host rocks at Late Proterozoic-Early Paleozoic time. Due to diagenesis, rare amounts of iron oxides were remobilized and deposited within the overlying young Asmari-Jahrom limestone units.



منطقه‌بندی کانسنگ، زمین‌شیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی آهن در توالی آتشفشانی- رسوبی هرمز، جزیره لارک، جنوب بندرعباس

یوسف علیزاده فرد^۱، فردین موسیوند^{۲*}

^۱ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

| چکیده | اطلاعات مقاله |
|---|--|
| کانه‌زایی آهن در جزیره لارک در ۳۰ کیلومتری جنوب بندرعباس، در خلیج فارس و در پهنه ساختاری زاگرس چین‌خورده رخ داده است. از لحاظ توالی سنگ چینه‌ای، این جزیره به طور عمده متشکل از سری آتشفشانی- رسوبی هرمز به سن نئوپروتروزوئیک پسین بوده که شامل گدازه‌ها و توف ریولیتی، شیل، توف و رسوبات تخییری است. کانه‌زایی آهن در افق چینه‌شناسی خاص در داخل توالی آتشفشانی- رسوبی رخ داده است. پیکره‌های معدنی از پایین به بالا، دارای چهار نوع کانسنگ رگه- رگچه‌ای، برشی، توده‌ای و نواری هستند. کانسنگ آهن به طور عمده حاوی کانی‌های اولیه اولیژیست و مگنتیت، و کانی‌های ثانویه هماتیت و گوتیت بوده و کانی‌های کوارتز، انیدریت، آپاتیت و کلسیت کانی‌های اصلی باطله را تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین دگرسانی‌های سنگ دیواره در این منطقه شامل دگرسانی سیلیسی- سریسیتی، کربناتی، کلریتی و آرژیلیک هستند. بر اساس بررسی‌های زمین‌شیمیایی، نمونه‌های به دست آمده از کانسنگ آهن در نمودار Fe/Ti در مقابل Al/ (Al+Fe+Mn+Na+K+Ca) و نمودار Mg در مقابل V/Ti در محدوده سازند آهن نواری (BIF) قرار می‌گیرند. با توجه به ماهیت آتشفشانی- رسوبی توالی سنگ میزبان، رخساره‌های کانسنگی، بافت و ساخت و کانی‌شناسی، دگرسانی و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، کانه‌زایی آهن در جزیره لارک بیشترین شباهت را با کانسارهای BIF نوع آگوما نشان می‌دهد. | <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۳۰</p> <p>واژه‌های کلیدی</p> <p>آتشفشانی- رسوبی سازند آهن نواری آگوما هرمز جزیره لارک</p> <p>نویسنده مسئول</p> <p>فردین موسیوند mousivand@shahroodut.ac.ir </p> |

استناد به این مقاله

علیزاده فرد، یوسف و موسیوند، فردین، ۱۴۰۲. منطقه‌بندی کانسنگ، زمین‌شیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی آهن در توالی آتشفشانی- رسوبی هرمز، جزیره لارک، جنوب بندرعباس. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۲): ۱۶۳-۱۸۸. <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.78626.1074>

مقدمه

محدوده مورد بررسی در استان هرمزگان و جنوب شرق جزیره قشم، در جزیره لارک واقع شده است. جزیره لارک یکی از گنبد‌های نمکی جنوب ایران است که از لحاظ کانه‌زایی کمتر به آن پرداخته شده است. از بررسی‌های انجام شده می‌توان به پژوهش مرتضوی (Mortazavi, 1991) اشاره کرد که به بررسی ماگماتیسیم مجموعه هرمز و ارتباط آن با دیپایریسم لارک پرداخته است. به عقیده وی نوع و نحوه تشکیل سنگ‌های جزیره لارک شباهت زیادی به جزیره هرمز دارد و فعالیت‌های ماگمایی اسیدی در جزیره لارک و دیگر گنبد‌های نمکی جنوب ایران، حاصل ذوب پوسته توسط یک ماگمای مشتق شده از گوشته بالایی است و در اثر پدیده ریفتینگ در این مجموعه ظاهر شده است. دیگر پژوهش‌های انجام شده بر روی کانه‌زایی در گنبد‌های نمکی جنوب ایران، می‌توان به پژوهش‌های انجام شده بر روی جزیره هرمز اشاره کرد که الگوی تشکیل آهن در آن را از نوع کانسارهای سازند آهن نواری نوع راپتان (Atapour and Aftabi, 2017; Talaei Hassanlouei and Rajabzadeh, 2018) دانسته‌اند. علاوه بر این، منشأ کانه‌زایی آهن و مس در توالی - آتشفشانی رسوبی هرمز در گنبد نمکی زندان واقع در بندر لنگه از نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد معرفی شده است (Biabangard et al., 2018). همچنین کانسار آهن تنگ زاغ بندرعباس را از نوع رسوبی می‌دانند (Tavakoli et al., 2014) در پژوهشی دیگر برای کانسارهای آهن و آهن - آپاتیت جزیره هرمز، الگوی کانه‌سازی‌های با منشأ رسوبی و ماگمایی - گرمایی (Fakhri Dodoei, 2018; Fakhri Dodoei and Alipour) ارائه شده است. هدف از این پژوهش، بررسی الگوی کانی‌سازی آهن - (آپاتیت) در جزیره لارک بر پایه شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمیایی است.

روش پژوهش

در بررسی‌های صحرایی از جزیره لارک، از واحدهای مختلف

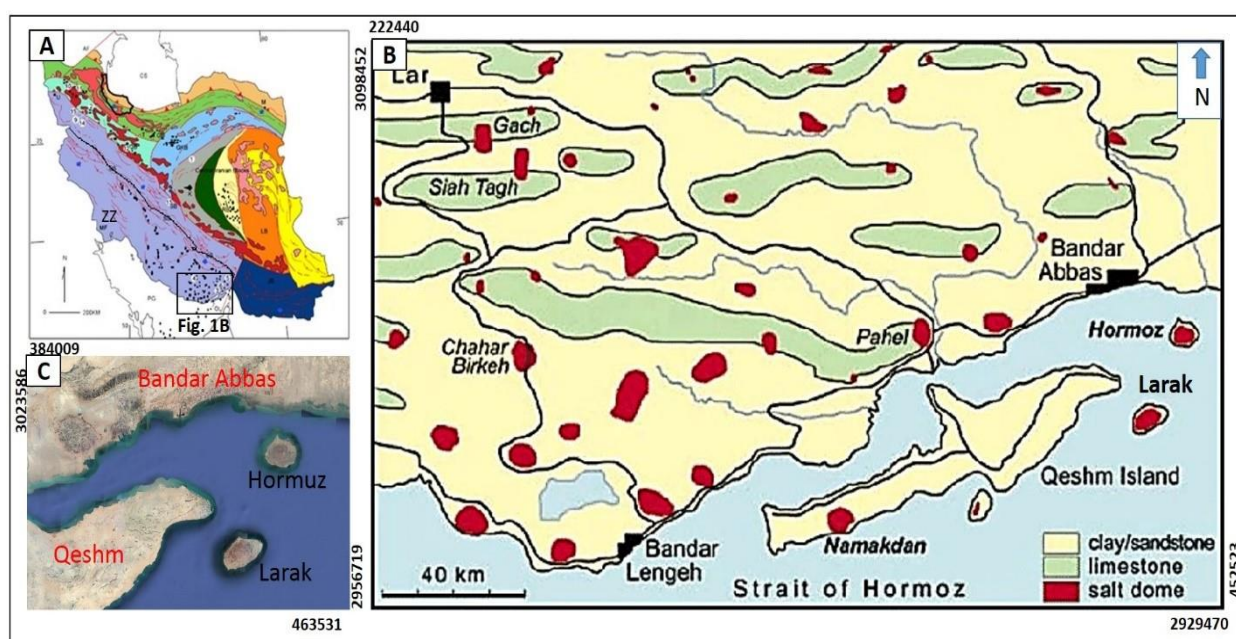
رسوبی و آذرین نمونه‌برداری شد. تعداد ۱۰ مقطع نازک تهیه و بررسی‌های سنگ‌نگاری سنگ‌های میزبان و همراه بر روی آنها انجام شد. همچنین ۳ مقطع صیقلی و ۱۰ مقطع نازک - صیقلی تهیه شد و برای بررسی کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، بررسی توالی هم‌یافت کانی‌ها، دگرسانی و نحوه توزیع و ارتباط کانه‌ها و کانی‌های سنگ‌ساز در سنگ درون‌گیر ماده معدنی و کانسنگ به کمک میکروسکوپ انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر بررسی‌های میکروسکوپی، برای تشخیص برخی کانی‌های دگرسان شده، تعداد ۴ نمونه از پهنه‌های دگرسانی نیز انتخاب و به روش پراش پرتو ایکس مطالعه شد. علاوه بر این، در این پژوهش تعداد ۱۰ نمونه از کانسنگ و رخساره‌های کانه‌دار برای تعیین میزان عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی به روش‌های پلاسما جفت شده القایی و طیف‌سنجی پلاسما جفت شده القایی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران آنالیز و بررسی شده است. در این روش‌ها، هضم و انحلال نمونه‌ها با استفاده از روش چهار اسید صورت گرفت و در نهایت اندازه‌گیری مقادیر فلزهای پایه و عناصر کمیاب و نادر خاکی با استفاده از دستگاه ICP انجام شد.

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه

بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی ساختاری ایران (Stocklin, 1968)، جزیره لارک در بخش جنوب شرقی پهنه زاگرس چین خورده قرار دارد (شکل ۱-۱). رخنمون‌های سنگی منطقه بخشی از سازند نمکی سری هرمز است که شامل واحدهای تبخیری، آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی مربوط به پرکامبرین، پالئوزوئیک و سنوزوئیک است. به اعتقاد آقانباتی (Aghanabati, 2004) در نیمه جنوب شرقی زاگرس به ویژه در حد فاصل میان گسل‌های کازرون و میناب در پی فازهای کششی رخداد کوه‌زایی کاتانگایی، حوضه‌های تبخیری تشکیل شده و رسوبات کولابی به همراه روانه‌های آذرین مربوط به فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی در آن انباشته شده است؛ در حالی که سن‌سنجی انجام شده توسط

سروستان، که شامل ۱۰۱ گنبد و دیاپیر است و ۲) گستره جنوب کازرون که تنها دارای ۱۴ گنبد و دیاپیر است. بنابراین در این گستره‌ها در مجموع ۱۱۵ گنبد نمکی در جنوب ایران وجود دارد (شکل ۱-۱B) که میزبان ذخایر نمک خوراکی، گچ، پتاس، اورانیوم و ذخایر آهن (اغلب هماتیته و به صورت خاک سرخ) هستند. جزیره لارک به عنوان یکی از این گنبد‌های نمکی، در خلیج فارس و در جنوب غرب جزیره هرمز قرار دارد (شکل ۱-۱C).

رضانی و تاکر (Ramezani and Tucker, 2003)، سن سنگ‌های آذرین موجود در تبخیری‌های هرمز را اوایل کامبرین نشان می‌دهند. به عقیده این پژوهشگران، سن این توده‌های نفوذی با فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی متفاوت است. هر گنبد نمکی شامل یک هسته مرکزی است که از نمک تشکیل شده است و بخشی که اطراف هسته مرکزی را احاطه می‌کند از سنگ‌های رسوبی محلی تشکیل شده است. پراکندگی گنبد‌های نمکی در جنوب ایران یکنواخت نیست و در دو گستره گرد آمده‌اند: ۱) بندرعباس -

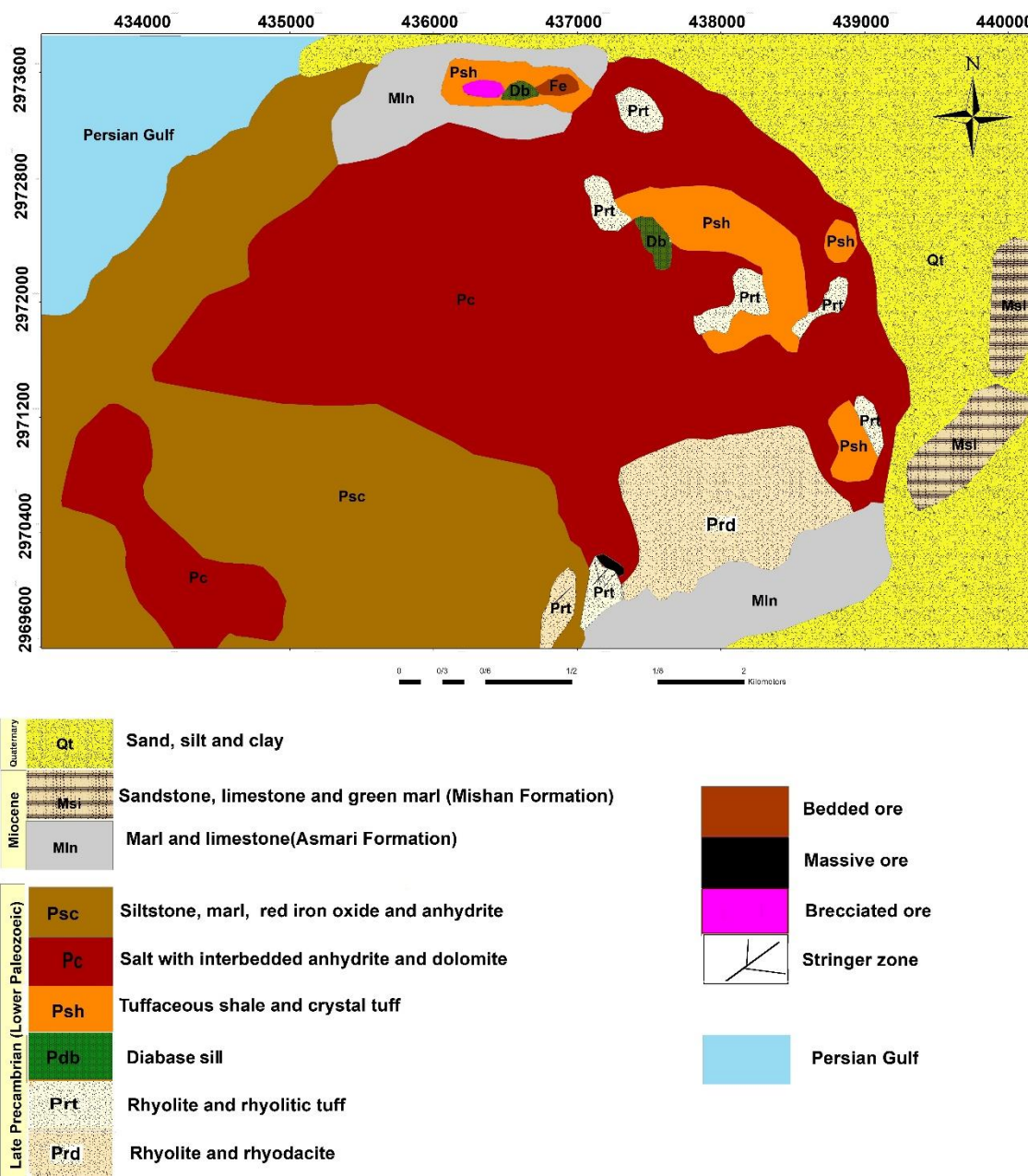


شکل ۱. A: نقشه پهنه ساختاری ایران (Alavi, 1991) و موقعیت گنبد‌های نمکی مرتبط با سری هرمز در پهنه ساختاری زاگرس (ZZ)، B: پراکندگی گنبد‌های نمکی در پهنه ساختاری زاگرس در جنوب کشور (Waltham, 2008) و موقعیت جزایر لارک و هرمز در خلیج فارس و C: تصویر ماهواره‌ای لندست (با تغییرات از گوگل ارث) و موقعیت جزیره لارک در خلیج فارس

Fig. 1. A: Map of structural zones of Iran (Alavi, 1991) and location of the salt domes related to the Hormuz series in the Zagros structural zone, B: Distribution map of salt domes at south of Iran (Waltham, 2008) and location of the Larak and Hormuz islands in the Persian Gulf, and C: Landsat satellite image (modified from Google Earth) and location of Larak Island in the Persian Gulf.

ادامه به اختصار شرح داده شده است. برخی پژوهشگران، سازند هرمز را به بخش‌های مختلف تقسیم کرده‌اند (Pilgrim, 1925; Rostami et al., 2020).

مهم‌ترین واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در نقشه زمین‌شناسی بخش غربی جزیره لارک (شکل ۲) شامل سازند هرمز به سن پرکامبرین و رسوبات تبخیری به سن سنوزوئیک هستند که در



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی و واحدهای سنگی سری هرمز و رخساره‌های کانسنگی در بخش غربی جزیره لارک

Fig. 2. Geologic map and rock units of the Hormuz Series and ore facies at western part of the Larak Island

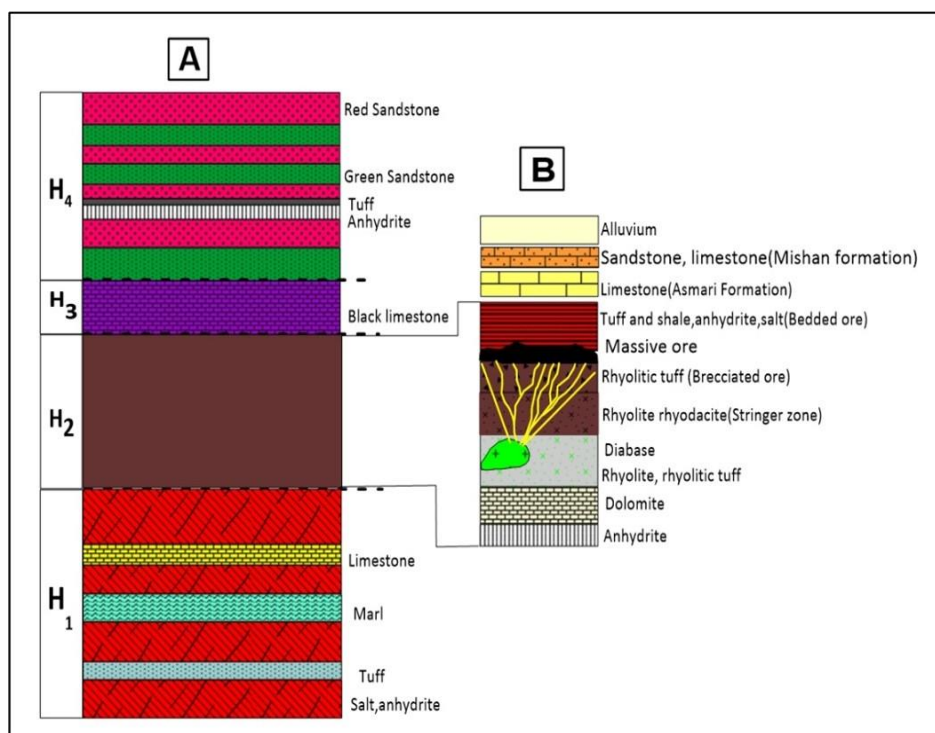
آن سازند هرمز به چهار واحد H1، H2، H3 و H4 تقسیم شده است. این چهار بخش را می‌توان در بیشتر گنبد‌های نمکی مشاهده کرد؛ اما واضح است که تفاوت‌های زیادی از نظر ضخامت و

با توجه به مشاهدات صحرائی در این پژوهش، به نظر می‌رسد کامل‌ترین تقسیم‌بندی توسط احمدزاده هروی و همکاران (Ahmadzadeh Heravi et al., 2008) صورت گرفته که طی

کم‌رنگ، انیدریت و آهک نازک لایه سیاه در این واحد وجود دارند. ۳) واحد H₃ یک واحد کربناتی بوده و به نام واحد آهک‌های سیاه رنگ جلبکی معروف است. این واحد دارای ضخامت کم و سرشار از فسیل جلبک‌های گوناگون به شکل دمبلی، کروی و حلقوی است و ۴) واحد H₄ بیشتر حجم این واحد را ماسه سنگ‌های قرمز، خاکستری و سبزرنگی تشکیل می‌دهد که این طبقات با لایه‌هایی از توف‌های سبزرنگ با ضخامت چند سانتی‌متر در تناوب است. در بعضی از گنبد‌ها و فور این توف‌های سبزرنگ چنان زیاد است که این واحد را بیشتر به یک واحد آتشفشانی شبیه می‌سازد که با طبقات آواری در تناوب است.

گسترش بین انواع گنبد‌های منطقه با یکدیگر وجود داشته است (شکل ۳-۱). چهار واحد یادشده عبارتند از: ۱) واحد H₁ شامل لایه‌های نمکی با ضخامت متفاوت که بخش زیرین آن معلوم نبوده و شامل میان لایه‌های نازکی از توف، مارن، آهک‌های تیغه‌ای همراه با قطعه‌هایی از اکسیدها و سولفید آهن است و به ندرت در آن کانی‌زایی مس نیز دیده می‌شود. توده‌های نمکی مربوط به این سازند با ضخامت‌های کم در جزیره لارک رخنمون دارد. ۲) واحد H₂ شامل مجموعه‌ای از پیروکلاستیک‌ها، توف‌ها، ریولیت‌ها و تراکیت‌هاست (شکل ۳-۲). این واحد به طور مستقیم بر روی واحد H₁ قرار گرفته است و به واحد خاک سرخ معروف است.

علاوه بر مجموعه‌های فوق، تناوب مارن‌های سفید تا زرد

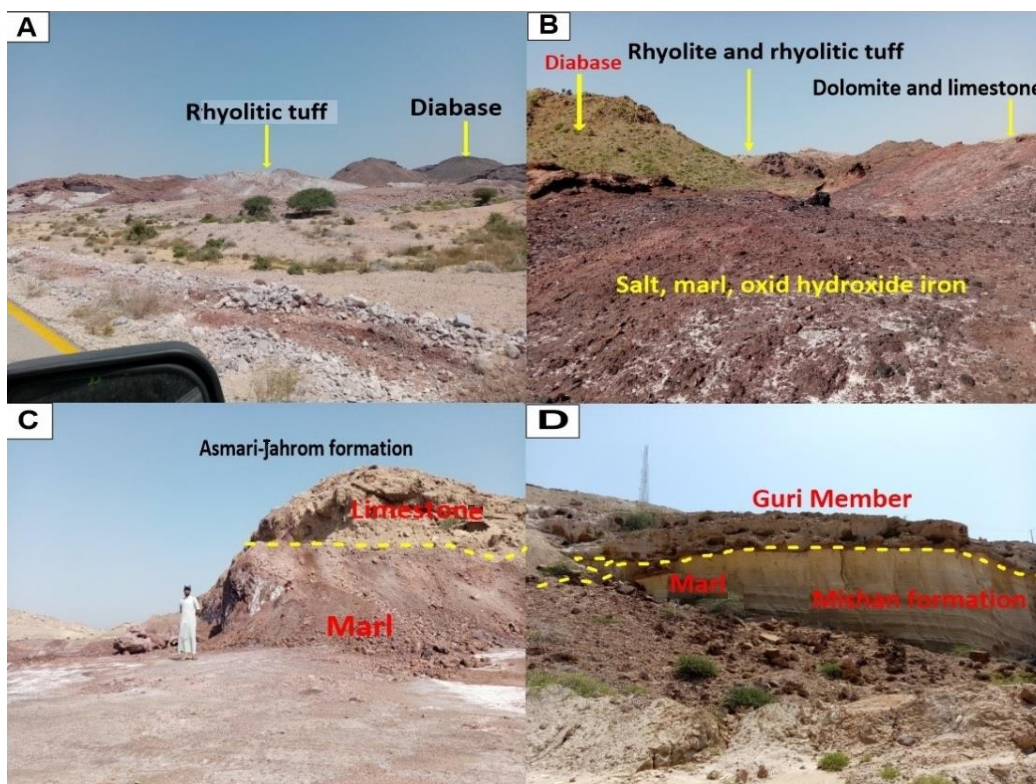


شکل ۳. A: ستون چینه‌شناسی سری هرمز (با تغییرات از مرتضوی (Mortazavi, 1991) و احمدزاده هروی و همکاران (Ahmadzadeh Heravi et al., 2008)) و B: ستون چینه‌شناسی توالی میزبان کانسنگ آهن در جزیره لارک

Fig. 3. A: Hormuz series stratigraphic column (Modified after Ahmadzadeh Heravi et al., 2008; Mortazavi, 1991), and B: Stratigraphic host sequence of iron ores in the Larak Island

نهشته شده‌اند (Faramarzi et al., 2015). ۲) مجموعه رسوبی سنوزوئیک شامل مجموعه‌ای از ماسه‌سنگ، مارن، آهک فسیل‌دار (سازند آسماری-جهرم) همراه با لایه‌هایی از آهک گوری و مارن‌های سازند میشان هستند (شکل ۴- C و D). سنگ‌های آذرین موجود در جزیره لارک شامل دیاباز، توف ریولیتی، ریولیت و ریوداسیت هستند که سنگ‌های ریولیت و ریوداسیت در جنوب غرب جزیره بیشترین رخمون را دارد. توف ریولیتی و واحد تبخیری میزبان کانه‌زایی آهن است و سنگ‌های دیابازی به صورت استوک و سیل برون‌زد دارند و اغلب با رسوبات در آمیخته هستند.

در ستون چینه‌شناسی سری هرمز (Faramarzi et al., 2015) (شکل ۳) منطقه مورد بررسی در جزیره لارک در واحد H₂ قرار می‌گیرد. واحدهای سنگی در جزیره لارک از لحاظ سنی شامل دوران پرکامبرین تا عهد حاضر است که از قدیم به جدید عبارتند از: ۱) واحدهای مربوط به پرکامبرین پسین - پالئوزوئیک زیرین (سری هرمز) شامل توالی از واحد تبخیری، آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی است که وسیع‌ترین رخمون سنگی منطقه را تشکیل می‌دهند. واحد شیل توفی، تبخیری‌ها، گدازه و توف‌های ریولیتی کانی‌سازی منطقه را میزبانی می‌کنند (شکل ۴- A و B). سن ریولیت‌های جزیره هرمز برابر 558 ± 7 Ma بوده که در یک محیط زمین‌ساختی پشت‌کمانی (ماگماتیسیم کمانی کادومین)



شکل ۴. A: تصویر صحرایی از واحد توف ریولیتی و توده دیابازی (دید به سمت شمال شرق) در جزیره لارک، B: تصویر صحرایی از واحد ریولیتی، دیاباز، دولومیت، آهک و اکسید آهن و نمک (دید به سمت شمال)، C: تصویر صحرایی از سازند آسماری-جهرم در جزیره لارک (دید به سمت شرق) و D: نمایی از واحدهای مارنی و آهکی عضو گوری سازند میشان در جزیره لارک (دید به سمت غرب)

Fig. 4. A: Field photo of rhyolitic tuff and diabase intrusion on Lark Island, B: Outcrop image of rhyolite, diabase, dolomite, limestone, iron oxide and salt unit, C: Outcrop image of Asmari-Jahrom Formation in Larak Island, and D: View of marl and limestone units of Mishan Formation in Larak Island

فرامینیفیرهای بدون منفذ و وکستون- پکستون (فلوتستون- رودستون) دیده می‌شوند. این رخساره شامل نومولیت و اجزای اسکلتی میلیولید، خرده‌های گاستراپود و دوکفه‌ای و به مقدار کمتر قطعه‌های بریوزوئر است (شکل ۶- C و D).

کانه‌زایی آهن و انواع آن

از مجموعه سنگ‌های موجود در منطقه، واحد گدازه‌های ریوداسیت، واحد آذرآواری کریستال توف، و شیل توفی نقش سنگ میزبان کانه‌زایی را ایفا می‌کنند. بر اساس ویژگی‌های کانی‌شناسی، شکل هندسی ماده معدنی، ساخت و بافت، چهار نوع کانسنگ تشخیص داده شده است که از پایین به بالا شامل کانسنگ رگه-رگچه‌ای، برشی، توده‌ای و نواری می‌باشند. در ادامه به شرح کامل انواع کانسنگ در منطقه پرداخته می‌شود.

کانسنگ رگه-رگچه‌ای (استرینگر)

آنچه که به عنوان این نوع کانه‌زایی در منطقه اطلاق می‌شود، شامل انواع رگه-رگچه‌های میکروسکوپی مگنتیت، اولیژیست و پیریت ریزدانه است که با کوارتز و سریسیت همراهی می‌شود. کانه‌زایی آهن به طور گسترده رگه‌ها و شکستگی‌های بین قطعه‌های یک سنگ را پر می‌کند. سنگ میزبان منطقه از جمله سنگ‌های با ترکیب ریولیت و توف‌های ریولیتی است که قطعه‌های پلاژیوکلاز به شدت دچار دگرسانی سریسیتی شده‌اند و حجم بیشتر سنگ (۶۰ تا ۷۰ درصد از آن) دچار دگرسانی سیلیسی-سریسیتی شده است. مگنتیت با بافت رگه-رگچه‌ای به شکل تیغه‌ای و معمولی دیده می‌شود و به مقدار ۱۰ درصد به هماتیت تبدیل شده است. از لحاظ کانی‌شناسی این رخساره شامل ۹۰ درصد مگنتیت و ۱۰ درصد هماتیت است (شکل ۷- A، B، C، D و E).

کانسنگ برشی آهن- (آپاتیت)

این نوع رخساره که در آن سیال کانه‌دار در بین قطعه‌های سنگ

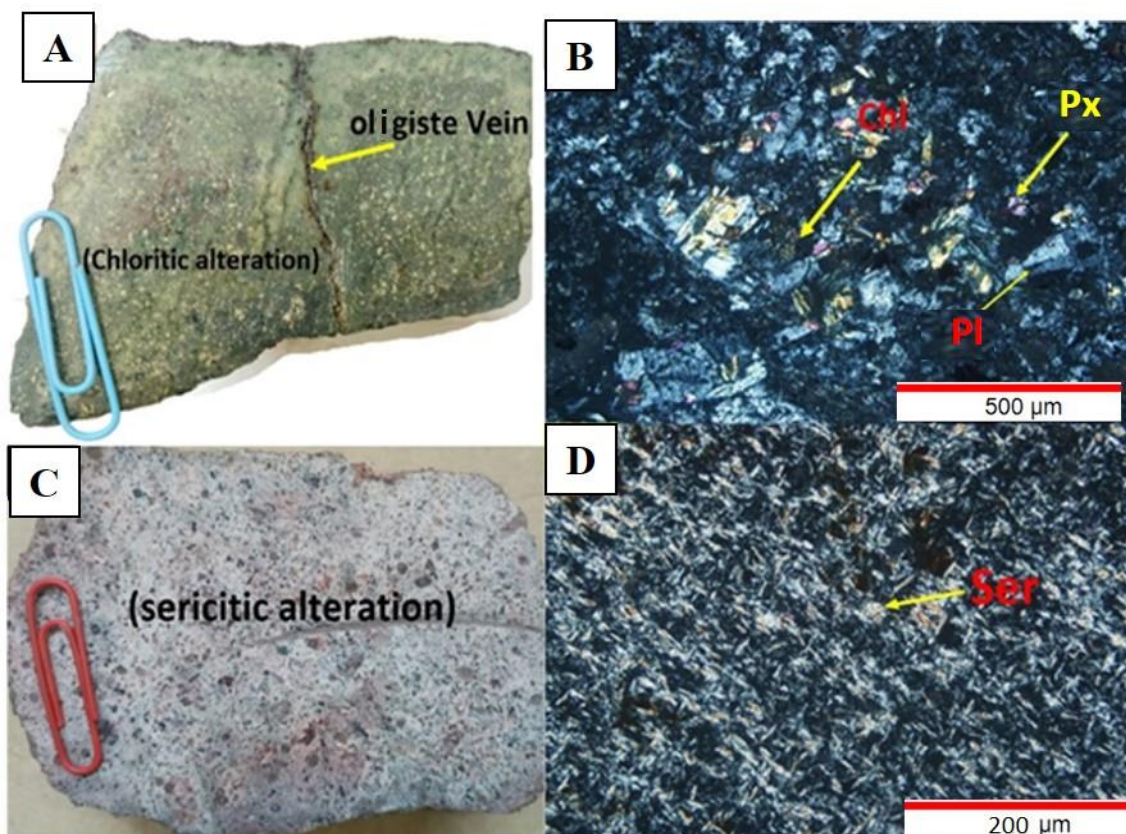
سنگ‌های بازیک مشاهده شده در جزیره لارک شامل دیاباز است که به صورت دایک، استوک و سیل رخمون دارند و بخش‌های مختلف مجموعه هرگز را قطع کرده‌اند. این سنگ‌های بازیک در محدوده بازالت و سری ماگمایی تولیتی قرار داشته و غنی از آهن هستند (Mortazavi, 1991). سنگ‌های دیابازی جزیره لارک اغلب به صورت متفاوت تحت تأثیر دگرسانی گرمابی قرار گرفته‌اند. دگرسانی موجب ایجاد رنگ سبز در سنگ شده که خود نتیجه ایجاد کانی‌هایی مانند اپیدوت و کلریت است (شکل ۵- A). کانی‌های عمده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز دانه‌ریز تا متوسط است. در پلاژیوکلازها دگرسانی آرژیلیک به صورت کانی‌های رسی دیده می‌شود. کانی‌های کدر شامل مگنتیت و پیریت به صورت میان‌بار در متن سنگ تا ۱۰ درصد پراکنده هستند که پیریت بیشتر با دگرسانی سیلیسی و مگنتیت با دگرسانی کلریتی اپیدوتی همراه است. بافت معمول سنگ‌های دیابازی دلریتی است. بافت دانه‌ای تا پورفیری نیز حاوی فنوکریست پلاژیوکلاز دیده می‌شود که دچار تبلور دو مرحله‌ای بوده؛ به طوری که در اعماق زیاد بلورها رشد کرده و هنگامی که به سطح رسیده‌اند، بلورها دانه ریز شده‌اند (شکل ۵- B).

سنگ‌های آذرین اسیدی از گسترش زیادی برخوردارند که به صورت تفکیک ناپذیر در واحد H2 و H4 قرار دارند. سنگ‌های آذرین اسیدی و نیمه اسیدی بیشتر به صورت سنگ‌های خروجی، توف و گدازه و گاه به صورت سنگ‌های نیمه عمیق (دیاباز) است. این گروه از سنگ‌ها از لحاظ ترکیبی شامل ریولیت و ریوداسیت است که دچار دگرسانی سریسیتی شده‌اند (شکل ۵- C و D) و از نظر کانی‌شناسی حاوی کوارتز و فلدسپار و سریسیت هستند. بافت معمول در سنگ‌های آذرین اسیدی، آفایتیک است (شکل ۶- A و B).

در جزیره لارک رخمون‌های سازند آسماری جهرم نیز قابل مشاهده است. این رخساره در بررسی‌های صحرائی به صورت سنگ توده‌ای خاکستری تا کرم رنگ متوسط لایه دیده می‌شود و در بررسی‌های میکروسکوپی به صورت پلوئیدال بیو کلاستیک

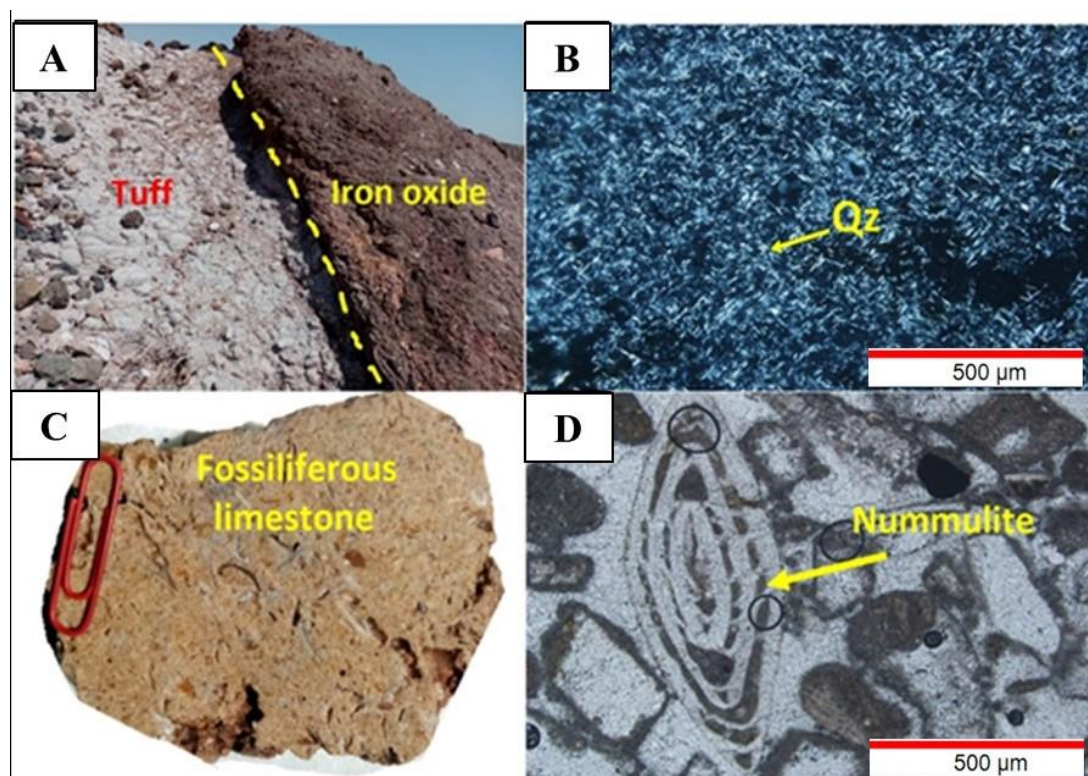
است (شکل ۷-G). در این رخساره دو نسل کوارتز وجود دارد: نسل یک که حاصل ته‌نشست سیال گرمایی کانه‌دار بوده (شکل ۷ H-) و نسل دوم که در اثر دگرشکلی رخ داده است. بلورهای آپاتیت در زمینه اکسید آهن (مگنتیت و کمی هماتیت) در داخل رگه کوارتز رشد کرده است (شکل ۷-G و H). مگنتیت گاهی هماتیته شده و یا در بعضی قسمت‌ها به گوتیت تبدیل شده است. گاهی مگنتیت به صورت تیغه‌ای و یا چندضلعی است. گاه ذرات پیریت به صورت ادخال در آپاتیت تشکیل شده است (شکل ۷-I).

درون‌گیر توف ریولیتی و گدازه‌های ریولیتی نفوذ کرده، بر روی رخساره استرینگر قرار گرفته است (شکل ۷-A). اندازه این قطعه‌ها از چند میلی‌متر تا ۷ سانتی‌متر متفاوت است (شکل ۷-F). آپاتیت یکی از کانی‌های بخش کانی‌سازی گرمایی در جزیره لارک است که با فراوانی کمتر از ۵ درصد بیشتر همراه با فاز اکسید آهن اغلب مگنتیت و مگنتیت‌های هماتیته شده به صورت بلورهایی با شکل بی‌پیرامیدال و منوپیرامیدال (شش‌وجهی تک‌سر) نیمه‌شفاف قابل مشاهده است. دگرسانی در این رخساره از نوع سیلیسی-سرسیتی



شکل ۵. A: تصویر نمونه دستی از واحد دیاباز همراه با رگچه‌های اولیژیست در جزیره لارک که متحمل دگرسانی کلریتی شده است، B: تصویر میکروسکوپی از واحد دیاباز که کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن دچار دگرسانی کلریتی شده‌اند، C: تصویر نمونه دستی از واحد ریولیتی با دگرسانی سرسیتی، D: تصویر میکروسکوپی از واحد ریولیتی که پلاژیوکلازها دچار دگرسانی سرسیتی شده‌اند. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Chl: کلریت، Px: پیروکسن، Pl: پلاژیوکلاز، Ser: سرسیت).

Fig. 5. A: image of a hand sample of a diabase unit undergoing chlorite alteration with oligistite veins on Lark Island, B: XPL image of the diabase unit, which plagioclase and pyroxene minerals have altered to chlorite, C: Hand specimen of the sericitic altered rhyolite, and D: Microscopic image of the rhyolite unit in which plagioclase has undergone sericitic alteration. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Chl: Chlorite, Px: Pyroxene, Pl: Plagioclase, Ser: Sericite).



شکل ۶. A: تصویر صحرایی از واحد توف ریولیتی و بخش اکسیدهای آهن بالای آن در جزیره لارک، B: تصویر میکروسکوپی از واحد توفی که اغلب از کوارتز تشکیل شده است، C: نمونه دستی از واحد آهک فسیل دار سازند آسماری- جهرم و D: تصویر میکروسکوپی از واحد آهکی سازند آسماری- جهرم که دارای فسیل نومولیت است. علامت اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Qz: کوارتز).

Fig. 6. A: Field image of rhyolite tuff unit and its above iron oxides part on Lark Island, B: Microscopic image of the tuff unit dominantly composed of quartz crystals, C: Hand specimen sample of the Fossiliferous Asmari-Jahrom limestone unit, and D: Microscopic image of limestone from the Asmari-Jahrom Formation containing Nummulite fossils. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: quartz).

کانسنگ توده‌ای

کانسنگ توده‌ای به صورت توده‌هایی با ضخامت یک متر و طولی حدود سی متر در واحد ریولیتی و ریولیت داسیت توف تشکیل شده است (شکل ۸-۸). در این رخساره، کانه‌های اولیژیست (اسپکیولاریت) و هماتیت فاز غالب بوده که نشانه اکسیدان‌بودن شرایط و محیط تشکیل است (شکل ۸-۸ و C).

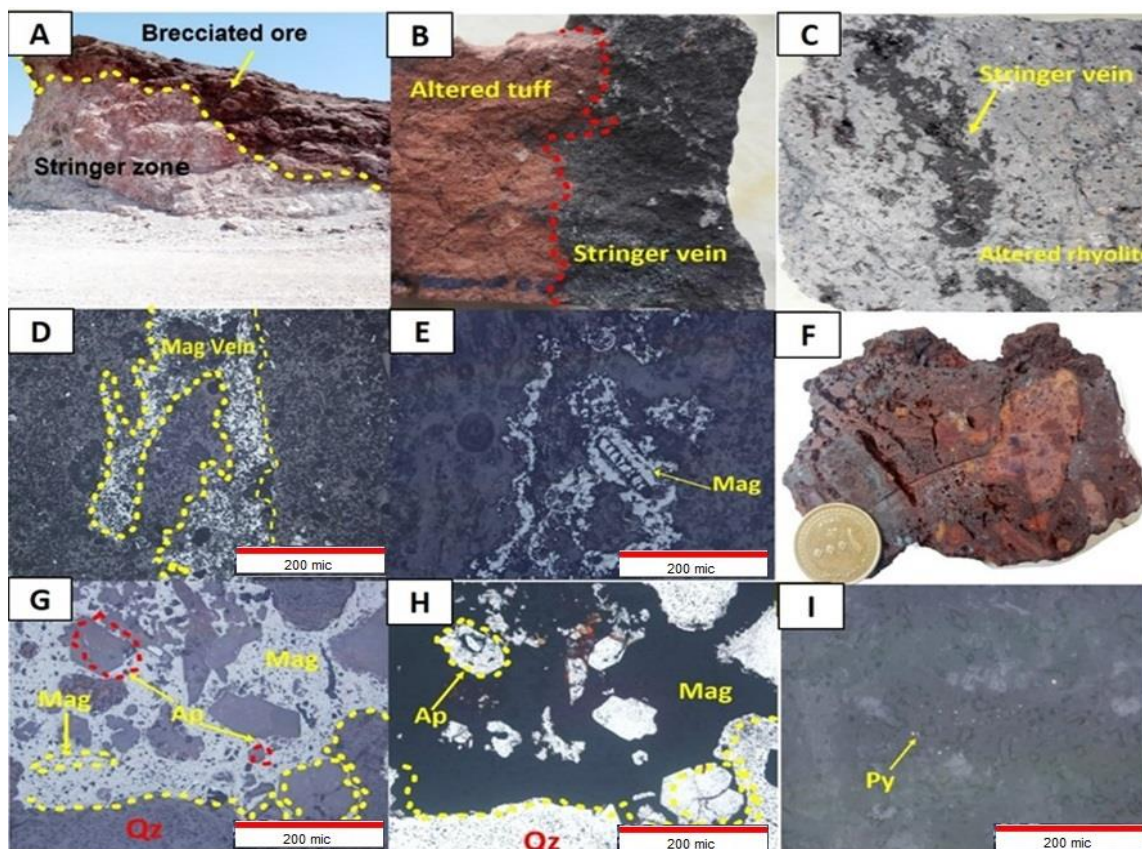
کانسنگ نواری

کانه‌زایی نواری در منطقه به صورت نوارهای غنی از مگنتیت و

هماتیت و نوارهای توفی فقیر از آهن تشکیل شده است (شکل ۸-۸). ضخامت نوارها متغیر بوده و از چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر تغییر می‌کنند. در بعضی قسمت‌ها این نوارها به شدت متحمل دگرسانی سریستی شده‌اند (شکل ۸-۸). ماده معدنی گاهی به صورت پرکنده فضای خالی بوده که این حفره‌ها می‌تواند در اثر دیاژنتیک یا جان‌شینی زیر سطحی تشکیل شده باشد. در بعضی از قسمت‌های منطقه مورد بررسی، سنگ‌های آهکی جوان سازند آسماری- جهرم میزبان کانه‌زایی آهن به صورت رگه‌ای و قطع‌کننده لایه‌بندی است که به نظر می‌رسد در اثر دیاژنز و ناشی

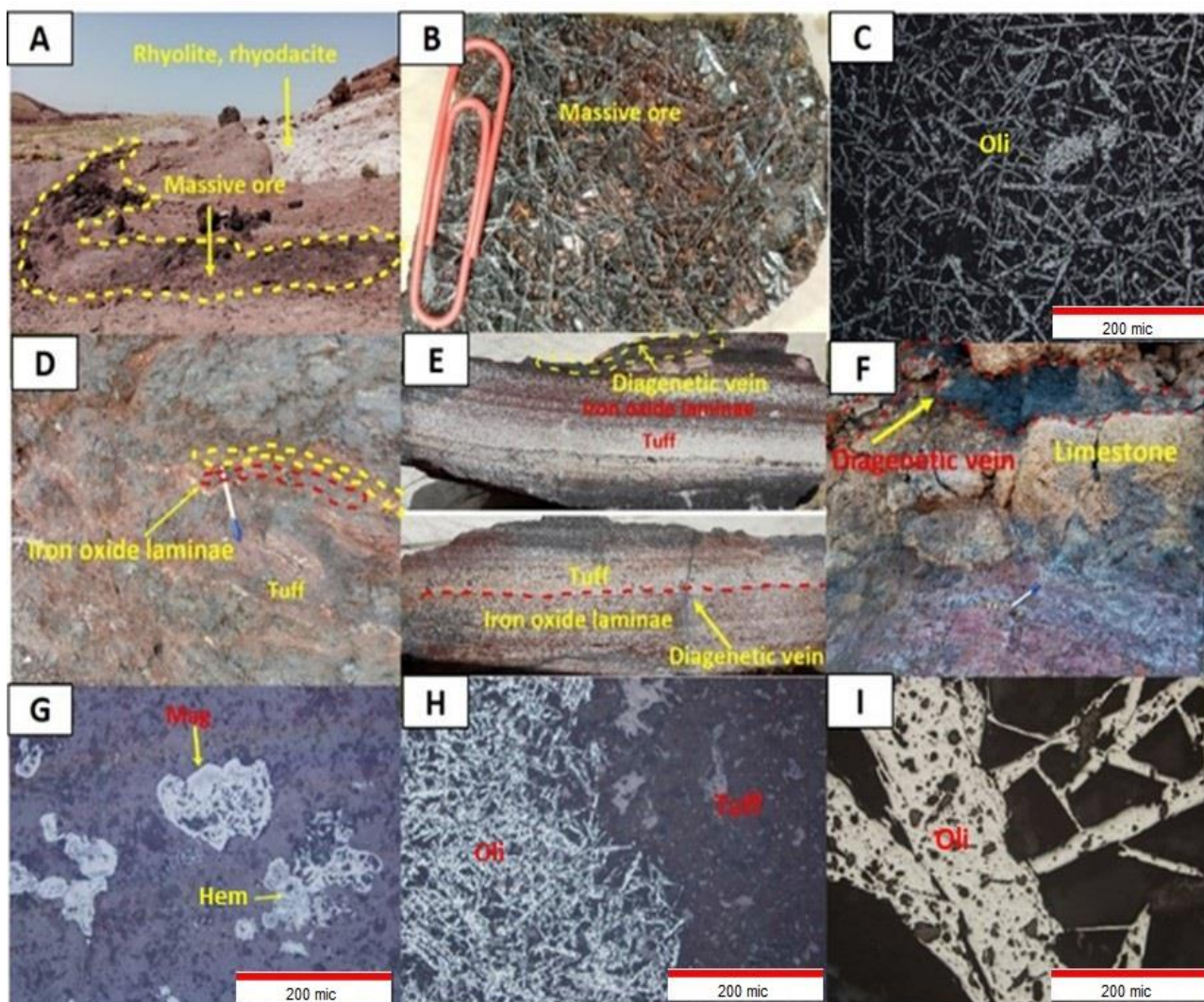
به گوتیت تبدیل شده که بافت کلوفرمی دارد (شکل ۸-G). هماتیت به صورت لایه‌ای بین واحد توفی قرار گرفته است. در این لایه‌ها هماتیت به صورت تیغه‌ای و داربستی دیده می‌شود که می‌تواند ناشی از رشد دوباره در طی دیازنز باشد (شکل ۸-H و I).

از تحرك دوباره آهن از رخساره لایه‌ای و توده‌ای آهن موجود در سری هرمنز باشد که در واحدهای جوان بالایی نفوذ کرده است (شکل ۸-F). از کانی‌های دیگری که در این رخساره می‌توان نام برد، گوتیت و لیمونیت است. گاهی مگنتیت در نوارهای کانه‌دار



شکل ۷. A: تصویر صحرایی از کانسنگ استرینگر و برشی در واحد ریولیتی کمرباین با دگرسانی سریسیتی در جزیره لارک، B و C: تصویر نمونه دستی از رگه اکسید آهن در واحد توف ریولیتی کمرباین، D: تصویر میکروسکوپی از رگچه مگنتیت در واحد ریولیتی، E: تصویر میکروسکوپی از مگنتیت تیغه‌ای و گوتیت ثانویه با بافت کلوفرمی در کانسنگ استرینگر، F: تصویر نمونه دستی از کانسنگ برشی، G: تصویر میکروسکوپی از کانسنگ برشی که کانه‌های مگنتیت و آپاتیت قابل مشاهده است، H: تصویر میکروسکوپی (نور عبوری) که نشان‌دهنده همراهی مگنتیت و آپاتیت با بلورهای کوارتز در کانسنگ استرینگر است و I: پیریت به صورت میان‌باربی شکل درون آپاتیت. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Qz: کوارتز، Ap: آپاتیت، Mag: مگنتیت، Py: پیریت).

Fig. 7. A: Field image of stringer and breccia ore in the footwall rhyolite unit with sericite alteration on Lark Island, B and C: image of iron oxide vein in footwall rhyolitic tuff unit, D: microscopic image of magnetite vein in rhyolite unit, E: Microscopic image of bladed magnetite and secondary goethite with colloform texture in stringer ore, F: Hand specimen image of brecciated ore, G: Microscopic image of the brecciated ore in which magnetite and apatite minerals are observed, H: Microscopic (crossed light) image showing accompanying magnetite and apatite with quartz crystals within the stringer ore, and I: inclusions of pyrite within apatite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: Quartz, Ap: Apatite, Mag: Magnetite, Py: Pyrite).



شکل ۸. A: تصویر صحرایی در جزیره لارک از رخساره آهن توده‌ای که در کمربند پایین آن واحدهای ریولیت و داسیتی قرار دارند، **B:** نمونه دستی از رخساره توده‌ای که به طور عمده حاوی کانی اولیژیست است، **C:** تصویر میکروسکوپی از کانی‌های اولیژیست با بافت داربستی در بخش توده‌ای، **D:** تصویر صحرایی از رخساره نوازی، **E:** تصویرهای نمونه دستی از رخساره نوازی که در اثر دیاژنز، آهن تحرک دوباره پیدا کرده است، **F:** کانه‌زایی آهن به صورت دیاژنتیک در واحد آهکی آسماری-جهرم در بالای رخساره لایه‌ای و توده‌ای آهن در سری هرمز، **G:** کانه مگنتیت در رخساره آهن نوازی که به هماتیت و مارتیت با بافت چشم‌پرنده‌ای تبدیل شده است. **H** و **I:** تصویرهای میکروسکوپی از اولیژیست در بافت لامینه در داخل واحد توف ریولیتی. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Oli: اولیژیست، Hem: هماتیت، Mag: مگنتیت).

Fig. 8. A: Field image of massive iron facies in the footwall dacite and rhyolite units on Lark Island, B: Hand specimen of massive facies dominated by oligiste, C: Microscopic image of the oligiste minerals with stockwork microtexture in massive part, D: Field image of banded facies, E: Hand specimen of banded ore, iron were remobilized due to diagenesis, F: Diagenetic iron mineralization hosted by Asmari-Jahrom limestone unit above the banded and massive facies of the Hormuz series, G: The magnetite mineral in the banded iron facies converted to hematite and martite with bird's eye texture, H and I: Microphotograph of oligiste in the laminae texture within the rhyolitic tuff unit. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Oli: Oligiste, Hem: Hematite, Mag: Magnetite).

نسبت کوارتز یا سیلیس ریزبلورین در سنگ‌های دگرسان شده است (Evans, 1993). انحلال سیلیس با افزایش دما و فشار، افزایش می‌یابد و در فشار و حرارت پایین به راحتی نهشته می‌شود (Pirajno, 2009). محصولات اصلی دگرسانی سیلیسی شامل کواتز به صورت، دانه‌پراکنده تا رگه‌ای و نیز به صورت سیلیس مخفی بلور (آمورف) است.

همچنین دگرسانی کلریتی نیز به مقدار کمتر در منطقه قابل مشاهده است. دگرسانی کربناتی با تشکیل کانی‌های کربناته (کلسیت) توسط محلول‌هایی با فشار جزئی بالای دی‌اکسید کربن و pH قلیایی همراه است (Robb, 2005). دگرسانی کلریتی نیز بیشتر در واحد دیاباز منطقه رخ داده است (شکل ۵). این دگرسانی بیشتر در مرکز سامانه و به خصوص در محل واحد دیابازی - که به نظر می‌رسد نقش موتور حرارتی برای سامانه گرمایی داشته است - دیده می‌شود. در واقع واحد دیابازی به دلیل داشتن کانی‌های مافیک مثل پیروکسن بسیار مستعد برای گسترش دگرسانی کلریتی است.

کانی‌شناسی ماده معدنی و توالی هم‌یافتی

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، کانی‌شناسی ماده معدنی شامل کانی‌های اولیه مگنتیت، اولیژیست و کانی‌های ثانویه گوتیت، هماتیت و لیمونیت بوده و کانی‌های باطله به طور عمده شامل آپاتیت، پیریت، کوارتز، کلسیت، انیدریت، ژپس، هالیت و مسکویت است. در کانسنگ رگه - رگچه‌ای و برشی مگنتیت به صورت بافت تیغه‌ای و کلوفرمی دیده می‌شود که به هماتیت تبدیل شده است. مگنتیت و اولیژیست از فراوان‌ترین کانی‌ها فلزی آهن‌دار در کانسنگ آهن لارک بوده و در رخساره رگه - رگچه‌ای و برشی همراه با (آپاتیت) مشاهده می‌شوند (شکل ۹). آپاتیت معمولاً در زمینه‌ای از کانی‌های اکسید آهن و پیریت نیز به صورت ادخال در داخل آپاتیت قرار دارد. مگنتیت در کانسنگ نواری کم بوده و به هماتیت (مارتیتی شدن) و گوتیت تبدیل شده است.

در مجموع، میزان هماتیت و اولیژیست در رخساره‌های توده‌ای و نواری در مقایسه با رخساره‌های رگه - رگچه‌ای و برشی بسیار بیشتر از مگنتیت است. بر اساس پژوهش‌های هاینس و همکاران (Haynes et al., 1995) برای تشکیل هماتیت، حضور اکسیژن ضروری است. به عبارتی باید فوگاسیته اکسیژن افزایش پیدا کند. برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا این میزان اکسیژن را فراهم کند و محتمل‌ترین منبع اکسیژن، آب‌های دریایی اکسیژن‌دار است که در اثر چرخش در زیر کف دریا و بالا آمدن موجب نهشته شدن مگنتیت در قسمت‌های زیرین و نهشته شدن عمده هماتیت در قسمت‌های بالایی کانسار شده است. دلیل رخداد بیشتر مگنتیت در رخساره رگه - رگچه‌ای، وجود شرایط احیایی تر و ارتباط کمتر آن با آب دریاست.

دگرسانی

مهم‌ترین دگرسانی‌های همراه کانه‌زایی آهن در لارک از نوع دگرسانی سربستی، سیلیسی و کلریتی هستند. دگرسانی سربستی، در اثر واکنش سیالات گرمایی اسیدی با سنگ‌های دیواره رخ داده است. بر اساس بررسی مقاطع نازک، بیشتر پلاژیوکلازها به سربست تبدیل شده‌اند. این دگرسانی در بخش کانسنگ رگه - رگچه‌ای بیشتر در درون سنگ‌های آتشفشانی کم‌پایین قابل مشاهده است (شکل ۵ و شکل ۷-۷). کانی‌های این زون بر اساس نتایج بررسی پراش پرتو ایکس شامل سربست، کوارتز و ایلیت است. بنابراین این دگرسانی با دگرسانی آرژیلیک هم همراه است و به علت شدت دگرسانی در برخی نقاط سنگ اولیه به صورت پودر سفیدرنگ رخنمون دارد که در برخی نقاط رنگ آن توسط اکسید و هیدروکسیدهای آهن تغییر کرده است. طبق بررسی‌های میکروسکوپی اغلب پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها به طور بخشی و گاه کامل از حاشیه‌ها و مرکز به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. دگرسانی دیگر در جزیره لارک دگرسانی سیلیسی است. دگرسانی سیلیسی به شکل ذره‌های پراکنده و رگچه‌ای در متن سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی نظیر ریولیت و توف‌ها در کانسنگ برشی قابل مشاهده است. دگرسانی سیلیسی، نتیجه افزایش در

| Processes Mineral | | Hypogene stage mineralization | | | | Post-mineralization |
|----------------------|-------------------|-------------------------------|-------------|-------------|------------|---------------------|
| | | Stringer ore | Breccia ore | Massive ore | Bedded ore | Diagenesis |
| Ore | Magnetite | ● | ● | ----- | ----- | |
| | Oligiste | ----- | ----- | ● | ----- | |
| | Hematite | | | | | ● |
| Gaugue | Apatite | ----- | ● | | | |
| | Pyrite | ----- | ----- | | | ● |
| | Goethite | | | | | ● |
| | Limonite | | | | | ● |
| | Quartz | ● | ● | | ----- | |
| | Calcite | | | | ----- | ----- |
| | Sericite/chlorite | | | | ----- | |
| | Gypsum | | | | | ----- |
| | Anhydrite | | | | | ----- |
| | Halite/clays | | | | | ----- |
| Texture | Vein-veinlets | ● | ----- | ----- | ----- | |
| | Brecciated | | ● | | | |
| | Stockwork | | | ● | | |
| | Laminated | | | | ● | ----- |
| | Disseminated | | | | ● | ----- |

شکل ۹. توالی هم‌یافتی کانی‌ها در کانه‌زایی آهن در جزیره لارک

Fig. 9. Paragenetic sequence minerals of Larak Island iron mineralization

پهنه‌بندی فلزی و زمین‌شیمی ماده معدنی

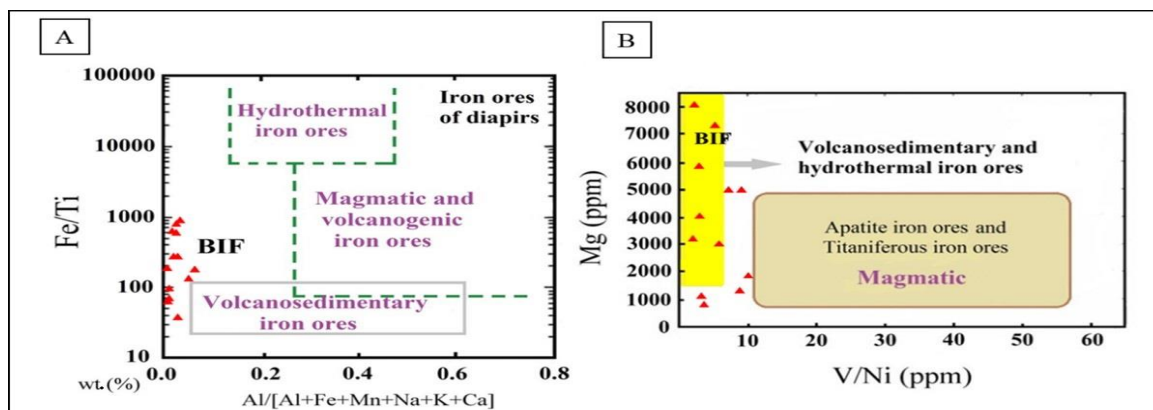
برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شیمیایی ماده معدنی (سنگ آهن) در جزیره لارک، آنالیز ۱۰ نمونه از رخساره‌های کانسنگ برای عناصر اصلی و کمیاب در آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. برای طبقه‌بندی کانسنگ‌ها علاوه بر بررسی‌های زمین‌شناسی و کانی‌شناسی می‌توان رفتار زمین‌شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب را نیز بررسی کرد (Dill, 2010). برای این منظور، در این پژوهش از نمودارهای زمین‌شیمیایی مبتنی بر عناصر آهن، تیتانیوم، آلومینیم، منگنز، سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و وانادیوم استفاده شده است.

نمونه‌های به دست آمده از کانسنگ آهن لارک در نمودار Fe/Ti در مقابل $Al / (Al+Fe+Mn+Na+K+Ca)$ (Boström, 1975) در محدوده آهن نواری قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰-A). همچنین داده‌های مربوط به کانسنگ‌های آهن در نمودار Mg

مقابل V/Ti از نیستروم و هنریکز (Nyström and Henríquez,

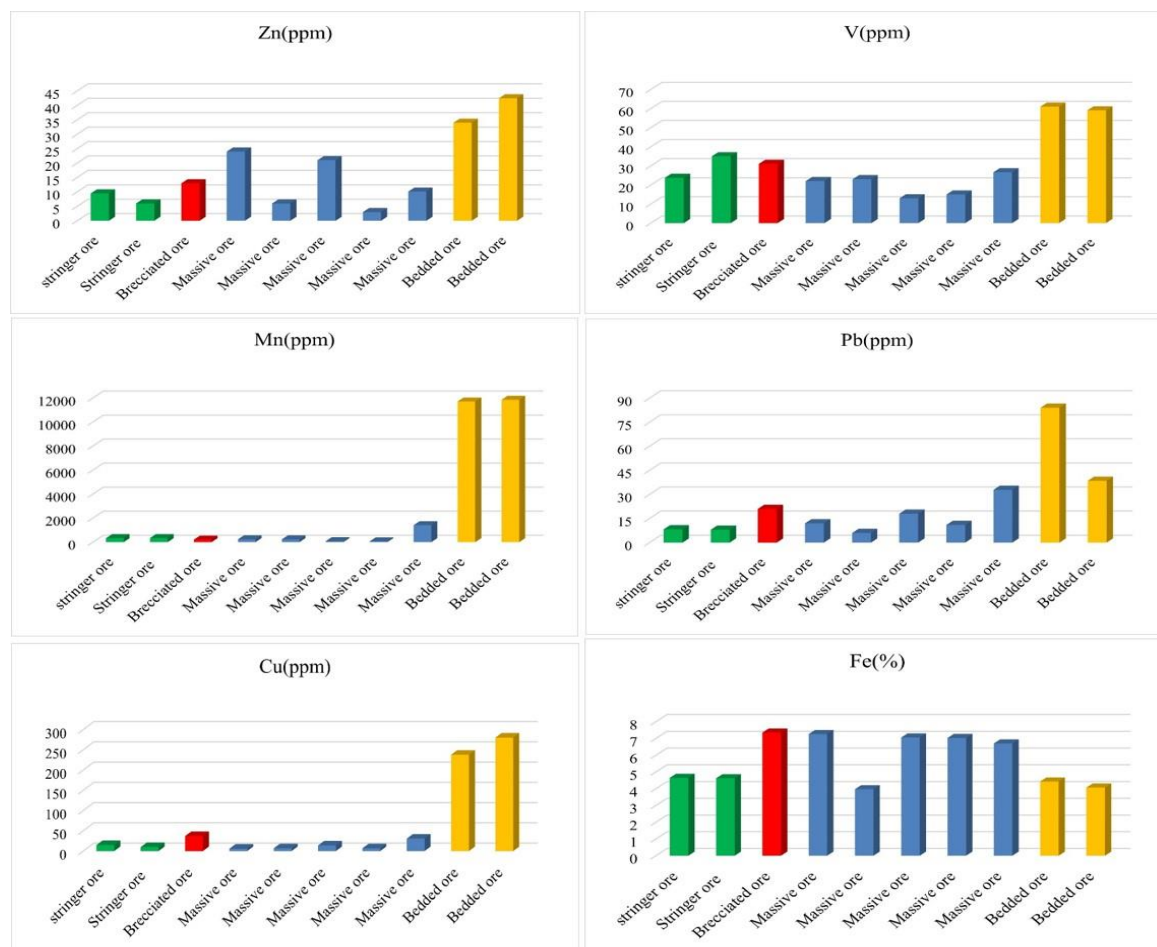
1994) در محدوده BIF قرار می‌گیرند (شکل ۱۰-B).

برای بررسی پهنه‌بندی فلزی، تغییرات برخی عناصر اصلی و کمیاب به ویژه فلزهای پایه در رخساره‌های کانسنگ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱۱ و شکل ۱۲). طبق این نمودارها (شکل ۱۱ و شکل ۱۲)، عناصر Fe, Ni, Pb, Mn, Zn, Cu و Co در کانسنگ لایه‌ای و عنصر Fe در کانسنگ توده‌ای و برشی دارای بالاترین میزان هستند. بالا بودن این عناصر در کانسنگ نواری و بالا بودن آهن در کانسنگ توده‌ای و استرینگر از ویژگی‌های کانه‌زایی جزیره لارک است. افزایش این عناصر از پایین به بالا (یعنی از رخساره استرینگر به رخساره نواری) (شکل ۱۱ و شکل ۱۲) و همبستگی و همراهی قوی بین این عناصر، می‌تواند نشانه ورود عناصر کمیاب همراه آهن و منگنز به کف دریا باشد.



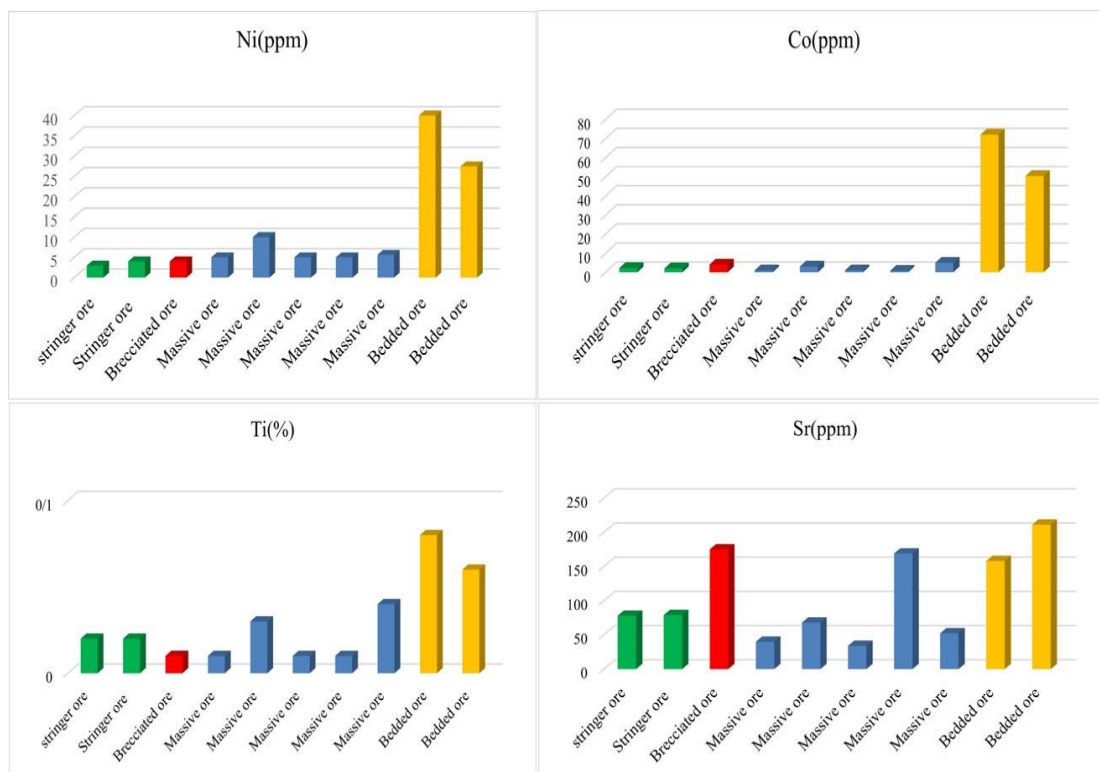
شکل ۱۰. A: موقعیت نمونه‌های کانسنگ لارک در نمودار دوتایی Fe/Ti در مقابل Al/ (Al+Fe+Mn+Na+K+Ca) (Boström, 1975) و B: موقعیت نمونه‌های کانسنگ لارک در نمودار Mg در مقابل V/Ni (Nyström and Henríquez, 1994)

Fig. 10. A: Position of the Larak Island iron ores in a binary Fe/Ti vs. Al/ (Al+Fe+Mn+Na+K+Ca) separation plot for iron ores (Boström, 1975), and B: Larak Island iron ores in Mg vs. V/Ni plot (Nyström and Henríquez, 1994)



شکل ۱۱. تغییرات عناصر در رخساره‌های استرینگر، برشی، توده‌ای و نواری در جزیره لارک

Fig. 11. Elements variations in stringer, brecciated, massive and banded ore facies in Larak Island



شکل ۱۲. تغییرات برخی عناصر در رخساره‌های استرینگر، برشی، توده‌ای و نواری در جزیره لارک

Fig. 12. Elements variations in stringer, brecciated, massive and banded ore facies in Larak Island

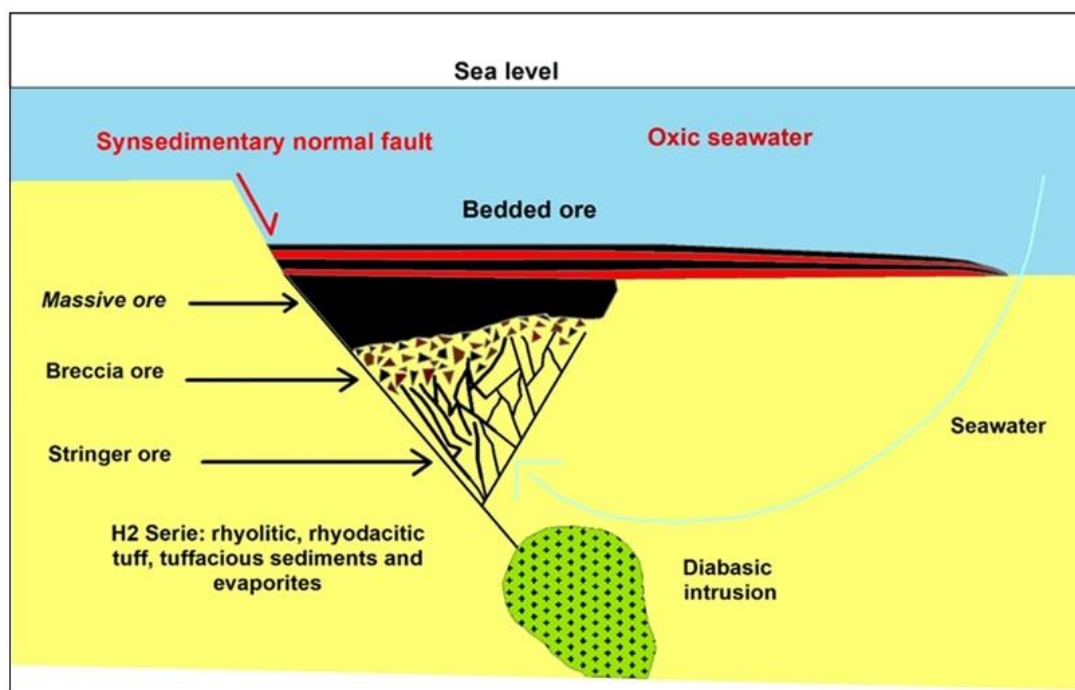
الگوی تشکیل و نوع کانه‌زایی

در زمان پرکامبرین پسین سرزمین ایران بخشی از ابرقاره گندوانا بوده است. در حاشیه قاره گندوانا و در محدوده پوسته قاره‌ای ایران، گوشته بالایی به دلیل افزایش حرارت دچار ذوب و بالاآمدگی شده و زمینه فرایندهای زمین‌ساختی کششی در پوسته قاره‌ای را فراهم آورده است. در این مرحله گسل خوردگی نرمال و فعالیت‌های کششی توسعه پیدا کرده است و حوضه‌های رسوبی-آتشفشانی درون قاره‌ای تشکیل شده است. پیامد این کشش، فرونشست و تراوش ماگمای بازالتی به خارج بوده است. در این زمان در بخش ساحلی حاشیه واگرایی پروتوتیس رسوبات تبخیری سازند هرمز نهشته شده‌اند (Lasemi, 2000). با توسعه ریفت درون قاره‌ای، نهشته‌شدن واحدهای آتشفشانی، رسوبی و تبخیری مربوط به سری هرمز رخ داده است. سپس، فعالیت‌های آتشفشانی

در حوضه‌های رسوبی درون قاره‌ای (حوضه کم عمق دریایی) به تدریج به فعالیت‌های ماگمایی و نفوذی تغییر کرده است (Darvishzadeh, 2006). در این نوع محیط‌های زمین‌ساختی، توده‌های نفوذی مافیک تا فلسیک و دایک دیابازی-تراکیتی و ریوداسیت در طی تبلوربخشی ماگمای مافیکی اولیه ایجاد می‌شوند. به موازات تشکیل توده‌ها و دایک‌های مافیک تا فلسیک، آب دریا با عبور از گسل‌ها و شکستگی‌های کف دریا و رسیدن به توده‌های دیابازی، عناصر فلزی آهن، فسفر و عناصر ناسازگار را از سنگ‌های کم‌پایین و سیل‌ها و دایک‌های دیابازی شسته و به صورت رگه - رگچه‌های مگنتیتی، مگنتیت-آپاتیت و اکسید-هیدروکسید آهن نهشته کرده و با ورود سیالات به محیط دریا کانی‌زایی آهن نواری (لایه‌ای) و توده‌ای رخ داده است (شکل ۱۳). بررسی لیتوژئوشیمی انجام شده بر روی انواع کانسنگ در این

رسوبات جوان‌تر نهشته شده است. در نهایت پس از تشکیل سری هرمز و واحدهای آذرین مربوطه به دلیل فعالیت گنبد‌های نمکی و گسل‌ها و بالا آمدگی منطقه، این سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی، نفوذی‌ها و کانسنگ‌های آهن در سطح زمین نمایان و متحمل فرایندهای هوازدگی و فرسایش شده و ریخت‌شناسی فعلی را پیدا کرده‌اند. نتیجه هوازدگی و سوپرژن، تشکیل کانی‌های ثانویه مثل گوتیت و کانی‌های رسی (دگرسانی آرژلیک) و شست‌وشو و نهشت دوباره نمک در قسمت‌های سطحی بوده است.

پژوهش نیز بیانگر تمرکز برخی عناصر به ویژه عناصر متحرک‌تر مثل منگنز و روی در کانسنگ لایه‌ای بوده که می‌تواند حاکی از ورود برخی عناصر به کف دریا باشد. واکنش سیالات گرمابی با سنگ‌های کم‌پایین با دگرسانی سنگ دیواره (دگرسانی‌های سیلیسی-سریستی، کلریتی و کربناتی) همراه بوده است. بعد از نهشته شدن و تدفین و دیاژنز نهشته‌های کانه‌دار، تبلور مجدد در کانسنگ و تبدیل ژل‌های هیدروکسید آهن به مگنتیت و اولیژیست رخ داده است. به نظر می‌رسد در اثر تدفین، مقداری آهن از کانسنگ‌های اولیه توسط سیالات دیاژنتیک شسته شده و در



شکل ۱۳. مدل ژنتیکی کانه‌زایی آهن در جزیره لارک: نفوذ توده‌های نیمه عمیق به داخل سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی در محل گسل‌های نرمال هم‌زمان با رسوب‌گذاری و آتشفشان، موجب فعال شدن سامانه‌های گرمابی زیر دریایی شده است؛ به صورتی که آب دریا با رفتن به زیر کف دریا در کنار سیل دیابازی گرم می‌شود و به صورت جریان‌های هم‌رفتی عناصر Cu , Zn , Mn , Pb , Ni , Fe و سایر عناصر را از سنگ‌های کم‌پایین شسته و از طریق گسل‌های یادشده وارد حوضه رسوبی اکسیدان می‌کند که نتیجه آن ته‌نشست مواد معدنی توده‌ای و نواری به صورت هم‌زمان با رسوب‌گذاری مواد آذرآواری در کف دریا و ته‌نشست بخشی از آن به صورت رگه-رگچه‌ای و برشی در زیر کف دریاست.

Fig. 13. Genetic model of iron mineralization in the Larak Island: intruding subvolcanic intrusions into the subsea floor volcano-sedimentary rocks through synvolcanism-synsedimentary normal faults, caused activation of submarine hydrothermal systems, in which saline seawater was heated by going into the footwall rocks close to diabase sill, in the form of convective currents, then leached Cu , Zn , Mn , Pb , Ni , Fe and other elements from the footwall rocks, and entered them into the oxic basin through the faults, which resulted in mineral deposition simultaneously with volcanic/pyroclastic sedimentation, as massive and banded in the seafloor and vein-veinlets and brecciated in the sub-seafloor rocks.

جوان‌تر نیز امکان‌پذیر است. به طور کلی دو حالت برای تشکیل کانسارهای آهن نواری قابل ذکر است: (۱) تشکیل به صورت ته‌نشست از دریا‌های احیایی غنی از آهن محلول در زمان آرکئن با افزایش اکسیژن اتمسفر. در این حالت این کانه‌زایی‌ها بدون پهنه تغذیه‌کننده یا استرینگر در کمرباین هستند. البته برخی از پژوهشگران نیز بر نقش باکتری‌ها در ته‌نشست کانسارهای آهن نواری آرکئن تأکید دارند، مثل پث و همکاران (Posth et al., 2013). (۲) نهشته‌شدن به صورت سامانه‌های گرمابی زیردریایی در حوضه‌های محدود بسته و نیمه بسته همانند کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد مثل دریای سرخ (Barrett et al., 1988; Bolhar et al., 2004; Ohmoto et al., 2006; Bekker et al., 2010; Shanks and Thurstun, 2012; Taner and Chemam, 2015; Gourcerol et al., 2016; Yin et al., 2023) و سازندهای آهن نواری نوع آلگوما که در منطقه نیوبرونزویک کانادا در فنروزویک و در همان توالی میزبان کانه‌زایی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد رخ داده و دارای پهنه استرینگر در کمرباین هستند. به اعتقاد گراس (Gross, 1996) نیز کانسارهای نوع آلگوما در اثر سامانه‌های گرمابی زیردریایی تشکیل می‌شوند و می‌توانند با ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد ارتباط و همراهی داشته باشند (Cannon et al., 1995; Franklin et al., 2005; Shanks and Thurstun, 2012). واقع، کانسارهای آهن نواری به ویژه نوع آلگوما، از جهت تشکیل، مشابه کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد هستند (Pirajno and Yu, 2021)؛ با این تفاوت که در کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد سیالات غنی از آهن و فلزهای پایه و قیمتی وارد محیط دریایی غنی از گوگرد احیایی می‌شوند و لذا به طور گسترده سولفید تشکیل می‌شود. البته در قسمت‌های دورتر این سامانه‌ها که شرایط اکسیدان حاکم است و یا در بالای کانسارهای VMS که سامانه دچار افول شده یا سیال وارد محیط فقیر از گوگرد احیایی و غنی از اکسیژن شده، می‌تواند رسوبات و لایه‌های اکسید آهن مشابه BIF تشکیل شود که در بسیاری از کانسارهای VMS به ویژه نوع برست (Goodfellow, 2005) و کوروکو معمول بوده و به آنها رسوبات برون‌دمی (اگزالیت) می‌گویند.

بر اساس مقایسه کانه‌زایی آهن در جزیره لارک با انواع کانسارهای BIF، این کانه‌زایی بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع آلگوما نشان می‌دهد (جدول ۱). ذخایر نوع سوپریور در توالی‌های به طور عمده رسوبی مشاهده می‌شوند و دارای نوارهای آهن بسیار طولی هستند. اما ذخایر نوع آلگوما با توالی‌های آتشفشانی همراه بوده و نوارهای آهن در آنها خیلی ادامه‌دار نیست و این ویژگی‌ها با کانسار آهن لارک بیشتر سازگار است. البته کانه‌زایی نواری آهن در جزیره هرمز به اعتقاد برخی از پژوهشگران از جمله طلایی حسنلویی و رجب‌زاده، عطاپور و آفتابی (Atapour and Aftabi, 2017; Talaei Hassanlouei and Rajabzadeh, 2018) از نوع راپتان معرفی شده است و دلیل آن را وجود برخی قطعه‌های سنگی (احتمالاً یخچالی) دانسته‌اند. اما در جزیره لارک این قطعه‌ها مشاهده نشد و از طرف دیگر به اعتقاد آلن (Allen, 2007)، رخداد دوره یخچالی در منطقه خلیج فارس مربوط به زمان‌های قبل از حدود ۶۴۵ میلیون سال پیش بوده؛ در حالی که سن ارائه‌شده برای ریولیت‌های سری هرمز توسط فرامرزی و همکاران (Faramarzi et al., 2015) برابر 558 ± 7 Ma است. لذا با توجه به عدم مشاهده رسوب‌ها و قطعه‌های یخچالی و تعیین سن انجام‌شده ذکر شده، به نظر می‌رسد کانه‌زایی BIF در جزیره لارک از نوع آلگوما باشد. در ادامه مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار آهن نواری جزیره لارک با سایر کانسارهای آهن نواری نوع آلگوما در جهان، در جدول ۲ ارائه شده است.

ذخایر نوع آلگوما به طور عمده در زمان آرکئن رخ داده‌اند؛ اما رخداد آنها در زمان‌های دیگر هم در کف دریا ممکن است (Gross, 1996)؛ چرا که در هر محیط آتشفشانی-رسوبی حاوی سامانه‌های زیردریایی فعال، اگر محیط دریا و محل خروج سیالات به دریا اکسیدان باشد، این ذخایر می‌توانند تشکیل شوند. به طور طبیعی با توجه به اکسیدان بودن اغلب دریا‌های فنروزویک، اغلب آهن محلول در بخش‌های دریایی احیایی به مرور زمان نهشته شده است و لذا ذخایر بزرگی از این تیپ‌ها تشکیل نمی‌شود. بر اساس نظر گراس (Gross, 1996)، کانسارهای نوع آلگوما در زمان‌های مختلف از آرکئن تا زمان‌های جوان‌تر تشکیل می‌شوند و گرچه در آرکئن بیشترین ضخامت را دارند؛ اما تشکیل آنها در زمان‌های

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌های کانه‌زایی آهن در جزیره لارک با ویژگی‌های انواع کانسارهای سازند آهن نواری

Table 1. Comparison of characteristics of iron mineralization in the Larak Island with features of the different types of Banded Iron Formations

| Ore specifications | Rapitan | Superior | Algoma | Larak Island (Iran) |
|------------------------------------|--|--|---|--|
| Tectonic setting | Intercontinental rift basins in the early stages of rifting and under glacial conditions | Active continental margins or within the forland basin | Archean Greenstone belts | Rift basins located on the active margin of the continent of Gondwana, extensional back-arc or retroarc setting (Faramarzi et al., 2015) |
| Environment of deposition | Stable continental conditions at the time of the expansion of global glaciers | Sequences related to shallow marine environments on the continental margin, active continental margins, foreland basins adjacent to continental collision environments | Shallow continental shelf waters, shallow and isolated evaporative basins, intra-craton basins | Shallow marine environment, evaporative basin |
| Magmatic activity | Basalt | Absence /or rare igneous rock | Basalt and rhyolite | Rhyolite, dacite and gabbro |
| Country rock | Glacial rocks (diamictite), dolomite, limestone, chert | Quartzite, marine shale, carbonate rocks, mafic to felsic volcanic rocks | Collection of volcanic, volcanic-sedimentary rocks including basalt, andesite, dacite, rhyolite, greywacke and graphite shale | Rhyolite, dacitic tuff, rhyolite, tuffaceous shale, marl, sandstone and evaporites |
| Age | Late Proterozoic | Neoproterozoic and Archean | Archean, Early Proterozoic to present | Late Proterozoic (558 ± 7 Ma.) |
| Ore textures and structures | Layered, banded, vein- veinlet, replacement | Layered, banded | Layered, banded | Massive, banded, brecciated, vein - veinlet |
| Ore minerals | Magnetite, hematite, pyrite, chalcopryrite and pyrrhotite | Hematite, magnetite and pyrite | Magnetite, hematite and small amounts of siderite, apatite | Hematite, oligiste, magnetite, pyrite and apatite |
| Gangue minerals | Quartz, chlorite, actinolite | Quartz | Quartz | Quartz, calcite, sericite, chlorite, anhydrite, gypsum and halite |
| Examples | Northwest Territories, Canada | Brazil: Wabush Lake area, Canada: Lake Superior | Early Proterozoic example: Wadi Sawawin, Saudi Arabia | |
| References | Young, 1976; Bekker et al., 2010 | Hou et al., 2019 | Gourcerol et al., 2016 | Present research |

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانه‌زایی آهن در جزیره لارک با برخی کانسارهای سازند آهن نواری نوع آلگوما در جهان

Table 2. Comparison of the main features of iron mineralization in the Larak Island with some Algoma-type Banded Iron Formations in the world

| Ore specifications | Abitibi (Canada) | Tianhu (China) | Yishui County (China) | Larak Island (Iran) |
|------------------------------------|---|---|---|--|
| Tectonic setting | Continental rift environments, continental margin arcs | Continental rift environments, continental margin arcs | Continental rift environments, continental margin arcs | Rift basins located on the active margin of the continent of Gondwana |
| Environment of deposition | Submarine volcanism-hydrothermal systems | Submarine volcanism-hydrothermal systems | Submarine volcanism-hydrothermal systems | Submarine volcanism-hydrothermal systems |
| Country rock | Metasedimentary rocks and intermediate -to mafic volcanic rocks, including floods and dykes with a combination of porphyry andesite and greywacke | Gneiss, amphibolite, schist and quartz schist | Amphibolite, migmatites, granite, gneiss and schist | Rhyolite, dacitic tuff, rhyolite, tuffaceous shale, marl, sandstone and evaporites |
| Age | Archean | Neoproterozoic | Archean | Neoproterozoic (558 ± 7 Ma.) |
| Ore textures and structures | Banded, disseminated | Banded, massive, disseminated | Layered, banded, vein-veinlets | Banded, massive brecciated, vein-veinlets |
| Ore minerals | Magnetite, hematite | Magnetite, pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, sphalerite, ilmenite | Magnetite, pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, hematite | Hematite (oligiste), magnetite, pyrite and apatite |
| Gangue minerals | Quartz, jasper, feldspar, biotite, albite, epidote chlorite, apatite | Amphibole, talc, serpentine, forsterite, garnet, apatite, quartz, dolomite, chlorite, tremolite | Quartz, amphibole, plagioclase, biotite, apatite | Quartz, calcite, muscovite, anhydrite, gypsum and halite |
| References | Taner and Chemam, 2015 | Yu et al., 2018 | Moon et al., 2017 | Present research |

همکاران (Biabangard et al., 2018) از نوع VMS دانسته شده است. در سری ریزو نیز که معادل سری هرمز است، کانه‌زایی VMS نه کوهی دیده می‌شود که همراه سازند آهن نواری است (Pakizeh Sanajerdi et al., 2020). بنابراین، رخداد سامانه‌های گرمابی زیردریایی در زمان نهشته شدن سری هرمز امری محتمل بوده و با توجه به نوع رخساره‌های کانسنک و اکسیدی بودن آنها

این سازندهای آهن یا اگزالیت‌ها در واقع راهنمای خوبی برای اکتشاف کانسارهای VMS هستند (Spry et al., 2000). به اعتقاد پتر (Peter, 2004)، کانسارهای نوع سازند آهن نواری قدیمی می‌توانند با کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد در ارتباط باشند، مثل منطقه بترست کمپ کانادا. کانه‌زایی آهن و مس در سری هرمز در گنبد نمکی زندان نیز توسط بیابانگرد و

کلی، دگرسانی در این منطقه شامل آرژیلیکی، کلریتی، سیلیسی، کربناتی و سریسیتی است. کانه‌زایی آهن (به همراه مقادیر کمی آپاتیت) از پایین به بالا به صورت‌های کانسنگ‌های رگه-رگچه‌ای، برشی، توده‌ای و نواری-لامینه در سنگ ریولیتی داسیتی و شیل-توفی در منطقه قابل مشاهده است. ماده معدنی حاوی کانی‌های اولیه مگنتیت و اولیژیست (اسپیکولاریت) و کانی‌های ثانویه هماتیت، گوتیت و لیمونیت بوده و کانی‌های باطله اصلی شامل آپاتیت، پیریت، کوارتز، سریسیت، کلسیت و کانی‌های رسی هستند. طبق بررسی‌های زمین‌شیمیایی انجام شده در منطقه بر روی عناصر اصلی و کمیاب موجود در کانسنگ، همبستگی عناصر فلزی Co و Cu ، Zn ، Mn ، Pb ، Ni ، Fe رخساره نواری نشان از ورود سیال کانه‌دار به کف دریاست و در نمودار زمین‌شیمیایی تعیین نوع کانه‌زایی، این کانه‌زایی در قسمت سازند آهن نواری قرار می‌گیرد. البته در اثر سیالات دیاژنزی در طی تدفین، مقداری از آهن از رخساره‌های آهن نواری و توده‌ای تحرک دوباره پیدا کرده و در واحدهای آهنی جوان آسماری-جهرم تهشته شده است. بر مبنای مقایسه با موارد مشابه در ایران و جهان، کانه‌زایی آهن در جزیره لارک شباهت زیادی با کانسارهای سازند آهن نواری نوع آگوما نشان می‌دهد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

به نظر می‌رسد، رخداد کانه‌زایی آهن در جزیره لارک مربوط به سامانه‌های گرمابی زیردریایی و از نوع سازند آهن نواری نوع آگوما باشد؛ به طوری که آب شور دریا از طریق گسل‌های نرمال هم‌زمان با آتشفشان و رسوب‌گذاری به زیر کف دریا رفته و در اثر توده‌های دیابازی گرم شده است. لذا آهن و سایر عناصر را از سنگ‌های کم‌پایین شسته و با صعود به سمت بالا در سنگ‌های زیر کف دریا به صورت رگه-رگچه‌ای و برشی نهشته کرده است و مقداری از سیال نیز احتمالاً وارد دریا شده و کانسنگ‌های توده‌ای و نواری را ایجاد کرده است (شکل ۱۳). نتیجه برخورد سیال کانه‌ساز به سنگ‌های کم‌پایین، دگرسانی‌های گرمابی سریسیتی و کلریتی گسترده است. ورود سیال کانه‌ساز به دریای اکسیدان موجب نهشته شدن آهن به صورت کانی‌های اکسید آهن شده است. به طور اساسی، در زیر کف دریا به دلیل شرایط احيایی تر میزان مگنتیت بیشتر است؛ در حالی که در قسمت‌های بالاتر و کانسنگ لایه‌ای، کانی غالب هماتیت (اولیژیست) است.

نتیجه‌گیری

کانه‌زایی آهن در جزیره لارک به صورت چینه‌کران و چینه‌سان در پهنه زاگرس و در سری آتشفشانی-رسوبی هرمز به سن پرکامبرین پسین-کامبرین زیرین رخ داده که از قدیم به جدید شامل تناوبی از گدازه‌های ریولیتی و ریوداسیتی، توف ریولیتی، شیل توفی، ماسه‌سنگ، مارن، آهک ماسه‌ای و لایه‌های تبخیری است. سنگ‌های نفوذی منطقه از نوع دیاباز تا گابرو هستند. به طور

1. Banded Iron Formation (BIF)
2. Volcanogenic massive sulfide (VMS)
3. X-ray diffraction (XRD)
4. Inductivity coupled plasma- mass spectrometry (ICP-MS)
5. Inductivity coupled plasma- optical emission spectrometry (ICP-OES)

References

- Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 400 pp. (in Persian)
- Ahmadzadeh Heravi, M., Houshmandzadeh, A. and Nabavi, M.H., 2008. New concepts of Hormuz Formations, stratigraphy and the problem of salt diapirism in south Iran. Symposium on diapirism with special reference to Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Alavi, M., 1991. Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. Geological Society of America Bulletin, 103(8): 983–992.
[https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1991\)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1991)103<0983:SASCOT>2.3.CO;2)
- Allen, P.A., 2007. The Huqf supergroup of Oman: basin development and context for Neoproterozoic glaciation. Earth-Science Reviews, 84(3–4): 139–185.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2007.06.005>
- Atapour, H. and Aftabi, A., 2017. The possible synglaciogenic Ediacaran hematitic banded iron salt formation (BISF) at Hormuz Island, southern Iran: Implications for a new style of exhalative hydrothermal iron-salt system. Ore Geology Reviews, 89: 70–95.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.033>
- Barrett, T.J. and Jarvis, I., 1988. Rare-earth element geochemistry of metalliferous sediments from DSDP Leg 92: The East Pacific Rise transect. Chemical Geology, 67(3–4): 243–259.
[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90131-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90131-3)
- Bekker, A., Slack, J.F., Planavsky, N., Krapez, B., Hofmann, A., Konhauser, K.O. and Rouxel, O.J., 2010. Iron formation: the sedimentary product of a complex interplay among mantle, tectonic, oceanic, and biospheric processes. Economic Geology, 105(3): 467–508.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.467>
- Biabangard, B., Alian, F. and Bazamad, M., 2018. Petrography, mineralization and mineral explorations in the Zendan salt dome (Hara), Bandar Lengeh. Journal of Economic Geology, 10(1): 195–216. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V10I1.45224>
- Bolhar, R., Kamber, B.S., Moorbath, S., Fedo, C.M. and Whitehouse, M.J., 2004. Characterization of early Archaean chemical sediments by trace element signatures. Earth Planetary Science Letters, 222(1): 43–60.
<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2004.02.016>
- Boström, K., 1975. Origin and Fate of Ferromanganoan Active Ridge Sediments. In: J.H. Kenneth and H.C. Jenkyns (Editors), Pelagic Sediments: On Land and under the Sea. The International Association of Sedimentologists, pp. 401–403.
<https://doi.org/10.1002/9781444304855.ch18>
- Cannon, W.F., Hadley, D.G. and Horton, R.J., 1995. Algoma Fe deposits: In: E.A. du Bray (Editor), Preliminary compilation of descriptive geoenvironmental mineral deposit models. U.S. Geological Survey Open-File Report 95–831, pp. 209–213. Retrieved June 15, 2023 from <https://pubs.usgs.gov/of/1995/0831/report.pdf>
- Darvishzadeh, A., 2009. Geology of Iran: stratigraphy, tectonic, metamorphism, and magmatism. Amir Kabir Publication Institute, Tehran, 436 pp.
- Dill, H.G., 2010. The “chessboard” classification scheme of mineral deposits: Mineralogy and geology from aluminum to zirconium. Earth-Science Reviews, 100(1–4): 1–420.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.10.011>
- Evans, A.M., 1993. Ore geology and industrial minerals: an introduction. John Wiley & Sons, London, 400 pp.
- Fakhri Dodoei, A., 2018. Economic geology and geochemistry of H4 part of Hormuz series, Hormuz Island. M.Sc. thesis, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran, 179 pp. (in Persian with English abstract)
- Fakhri Dodoei, A. and Alipour Asl, M., 2020. Mineralogy, geochemistry, fluid inclusions and genesis of magnetite-apatite mineralization at southwest of Hormuz Island, Iran. Iranian Journal of Geology, 14(56): 1–19. (in Persian with English abstract) Retrieved June 11, 2023 from <http://geology.saminattech.ir/en/Article/15742>
- Faramarzi, N.S., Rezay, S.M.H., Amini, S., Schmitt, A.K., Hassanzadeh, J., Borg, G., McKeegan, K. and Mortazavi, S.M., 2015. Geochronology and geochemistry of rhyolites from Hormuz Island, southern Iran: A new record of Cadomian arc magmatism in the Hormuz Formation. Lithos, 236–237: 203–211.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2015.08.017>

- Franklin, J.M., Gibson, H.L., Galley, A.G. and Jonasson, I.R., 2005. Volcanogenic massive sulfide deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 523–560.
<https://doi.org/10.5382/AV100.17>
- Goodfellow, W.D., 2005. Geology, genesis and exploration of SEDEX deposits, with emphasis on the Selwyn basin, Canada. In: M. Deb and W.D. Goodfellow (Editors), *Sediment-hosted lead-zinc sulfide deposits: Attributes and models of some major deposits of India, Australia and Canada*. *Economic Geology*, 100 (3): 597–598. Retrieved June 16, 2023 from
<https://catalogobiblioteca.ingemmet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=15561>
- Gourcerol, B., Thurston, P.C., Kontak, D.J., Côté-Mantha, O. and Biczok, J., 2016. Depositional setting of Algoma-type banded iron formation. *Precambrian Research*, 281: 47–79.
<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2016.04.019>
- Gross, G.A., 1996. Algoma-type previous term iron-formation. next term. In: D. Lefebure and T. Hoy (Editors), *Selected British Columbia mineral deposits Profiles*. British Columbia Ministry of Employment and Investment Open File, Ottawa, pp. 25–28.
- Haynes, D.W., Cross, K.C., Bills, R.T. and Reed, M.H., 1995. Olympic Dam ore genesis; a fluid-mixing model. *Economic Geology*, 90(2): 281–307.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.90.2.281>
- Hou, K., Ma, X., Li, Y., Liu, F. and Han, D., 2019. Genesis of Huoqiu banded iron formation (BIF), southeastern North China Craton, constraints from geochemical and Hf-O-S isotopic characteristics. *Journal of Geochemical Exploration*, 197: 60–69.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.11.005>
- Lasemi, Y., 2000. Y. Facies analysis, depositional environments and sequence stratigraphy of Precambrian and Late Paleozoic rock units in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 180 pp.
- Moon, I., Lee, I. and Yang, X., 2017. Geochemical constraints on the genesis of the Algoma-type banded iron formation (BIF) in Yishui County, western Shandong Province, North China Craton. *Ore Geology Reviews*, 89: 931–945.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.08.005>
- Mortazavi, S.M., 1991, Magmatism of Hormuz complex and its relationship with diapirism in the Larak Island. M.Sc .thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 200 pp.
- Nyström, J.O. and Henriques, F., 1994. Magmatic features of iron ores of the Kiruna-type in Chile and Sweden; ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology*, 89(4): 820–839.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.4.820>
- Ohmoto, H., Watanabe, Y., Yamaguchi, K.E., Naraoka, H., Haruna, M., Kakegawa, T., Hayashi, K.I. and Kato, Y., 2006. Chemical and biological evolution of early Earth: Constraints from banded iron formations. In: S.E. Kesler and H. Ohmoto (Editors), *Evolution of Early Earth's Atmosphere, Hydrosphere, and Biosphere - Constraints from Ore Deposits*. The Geological Society of America, USA, 198, pp. 291–333.
[https://doi.org/10.1130/2006.1198\(17\)](https://doi.org/10.1130/2006.1198(17))
- Pakizeh Sanajerdi, A., Mousivand, F., Rajabi, A., Maghfouri, S., 2020. Nohkuhi volcanogenic massive sulfide (VMS) deposit: Bathurst- type mineralization in northwest of Kerman. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29(115): 111–122. (in Persian with English abstract)
<http://doi.org/10.22071/GSJ.2019.117154.1397>
- Peter, J.M., 2004. Ancient iron-rich metalliferous sediments (iron formations): their genesis and use in the exploration for stratiform base metal sulphide deposits, with examples from the Bathurst Mining Camp. In: D.R., Lentz (Editor), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Secular Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments*. Geological Association of Canada, pp. 145–176. Retrieved June 16, 2023 from
https://www.academia.edu/48242394/Ancient_iron_rich_metalliferous_sediments_iron_formations_their_genesis_and_use_in_the_exploration_for_stratiform_base_metal_sulphide_deposits_with_examples_from_the_Bathurst_Mining_Camp
- Pilgrim, G.E., 1925. The geology of parts of the Persian provinces of Fars, Kirman, and Laristan. Government of India, central publication branch, 48(2): 116 pp. Retrieved 11 June 2023 from
<https://www.amazon.com/-/es/Guy-Ellcock-Pilgrim/dp/B00089MOJI>

- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal Mineral Deposits, Principles and Fundamental Concepts for the Exploration Geologist. 1992 Edition, Springer, Berlin, 709 pp.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-75671-9>
- Pirajno, F. and Yu, H.C., 2021. Cycles of hydrothermal activity, precipitation of chemical sediments, with special reference to Algoma-type BIF. *Gondwana* 100: 251–260.
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.02.012>
- Posth, N.R., Konhauser, K.O. and Kappler, A., 2013. Microbiological processes in banded iron formation deposition. *Sedimentology*, 60(7): 1733–1754.
<https://doi.org/10.1111/sed.12051>
- Ramezani, J. and Tucker, R.D., 2003. The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petro genesis and implications for Gondwana tectonics. *American journal of science*, 303(7): 622–665.
<https://doi.org/10.2475/ajs.303.7.622>
- Robb, L., 2005. Introduction to ore-forming processes. Black Well Publishing Company, UK, London, 373 pp.
- Rostami, A., Alipour, S., Abedini, A., 2020. Petrology, geochemistry, and tectonomagmatic setting of volcanic rocks of the Hormuz and the Gachin salt domes (Hormozgan Province, Iran). *Petrological journal university of Isfahan press*, 11(2): 81–104.
<https://doi.org/10.22108/ijp.2020.121790.1162>
- Shanks, W.C.P., III, and Thurston, R., 2012. Volcanogenic massive sulfide occurrence model. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5070–C, Virginia, 345 pp. Retrieved June 16, 2023 from
<https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5070/c/SIR10-5070-C.pdf>
- Spry, P.G., Peter, J.M. and Slack, J.F., 2000. Meta-exhalites as exploration guides to ore. In: P.G. Spry, B. Marshall and F.M. Vokes (Editors), *Metamorphosed and metamorphogenic ore deposits*. Society of Economic Geologists, Reviews in Economic Geology, 11: 163–201.
<https://doi.org/10.5382/Rev.11.08>
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG bulletin*, 52(7): 1229–1258.
<https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Talaei Hassanlouei, B. and Rajabzadeh, M.A., 2018. Iron ore deposits associated with Hormuz evaporitic series in Hormuz and Pohl salt diapirs, Hormuzgan province, southern Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*. 172: 30–55.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.08.024>
- Taner, M.F. and Chemam, M., 2015. Algoma-type banded iron formation (BIF), Abitibi Greenstone belt, Quebec, Canada. *Ore Geology Reviews*, 70: 31–46.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.016>
- Tavakoli, P., Moaafpurian, G. and Moghtaderi, A., 2014. Investigation of genesis of Iron ore from Tange Zagh deposit, Bandar Abbas. 6th Conference of Society of Economic Geology of Iran, Zahedan, Iran. (in Persian) Retrieved September 26, 2018 from
<https://civilica.com/doc/746717/>
- Waltham, T., 2008. Salt terrains of Iran. *Geology Today*, 24(5): 188–194.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2008.00686.x>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Yin, J., Li, H. and Xiao, K. 2023. Origin of Banded Iron Formations: Links with Paleoclimate, Paleoenvironment, and Major Geological Processes. *Minerals*, 13(4): 547.
<https://doi.org/10.3390/min13040547>
- Young, G.M., 1976. Iron-formation and glaciogenic rocks of the Rapitan Group, Northwest Territories, Canada. *Precambrian Research*, 3(2): 137–158.
[https://doi.org/10.1016/0301-9268\(76\)90030-9](https://doi.org/10.1016/0301-9268(76)90030-9)
- Yu, P., Zheng, Y., Qian, J. and Lin, Z., 2018. Geological, geochronological and geochemical constraints on the Tianhu iron deposit, Chinese Tianshan Orogen, NW China: A modified Algoma-type BIF deposit. *Ore Geology Reviews*, 100: 317–333.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.004>