

Original Research Paper

Hydrothermal alteration and gold mineralization in the Kharestan-Bidester district, Taftan area, southeast Iran

Pooya Seyed Salehi Naeini^{1*}, Saeed Alirezaei¹, and Mohammad Nabi Nouri²¹ Mineral and Ground Water Resources Department, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran² Pars Tamin Mines Development Company, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2024 January 19

Accepted: 2024 February 06

Available online: 2024 September 22

Keywords:

High-sulfidation Epithermal

Gold

Kharestan-Bidester

Taftan

Makran

Southeast of Iran

ABSTRACT

The Kharestan-Bidester area, northwest of the Taftan volcano, is covered by a series of Plio-Quaternary lava flows and pyroclastic materials. The area is marked by extensive silicic and argillic alterations. The silicic zones, distinguished by vuggy texture, are bordered by advanced-intermediate argillic alterations. They occur as linear features across faults and fractures, as well as massive bodies of variable sizes, and are comparable, at regional scale, to lithocaps developed in the upper parts of the porphyry systems. The silicic-argillic zones are mineralized with gold at variable grades. Gold occurs mostly as submicroscopic particles of electrum and native gold. Pyrite, variably oxidized at surface and shallow levels, is the main metallic mineral, associated with trace sulfosalts, tetrahedrite and enargite. Minor malachite staining locally occurs in the ore zones. The geologic setting, hydrothermal alteration, ore mineralogy and texture/structure allow the Kharestan-Bidester to be compared with high-sulfidation epithermal systems.

1. Introduction

The Kharestan-Bidester district lies to the northwest of the Taftan volcano in the Iranian section of the Makran magmatic arc (Fig. 1). The district is covered mostly by Neogene-Quaternary intermediate to felsic lava flows and pyroclastic materials overlying slices of an upper Cretaceous ophiolitic

mélange, and Eocene flysch type sediments (Fig. 2).


The Taftan area has been of interest to geologists for its diverse geology and mineral resources. Earlier exploration activities focused mostly on base metals, particularly porphyry-type deposits, failed to achieve major targets.

* Corresponding author: Pooya Seyed Salehi Naeini; E-mail: p_seyedsalehinaeini@sbu.ac.ir

Citation:

Seyed Salehi Naeini, P., Alirezaei, S., and Nouri, M. N., 2024. Hydrothermal alteration and gold mineralization in the Kharestan-Bidester district, Taftan area, southeast Iran. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 34(3), 133, 1-16. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.436419.2130>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2024.436419.2130

 dor: 20.1001.1.10237429.1403.34.3.1.9



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Continued geological mapping and geochemical exploration in the district targeted two promising areas for gold in Kharestan and Bidester, centered on silicic and silicic-argillic alteration zones. Detailed exploration using a variety of techniques is currently in progress.

The Makran arc is associated with the active subduction of the Makran (Oman) oceanic lithosphere underneath southeast Iran and west Pakistan (Burg, 2018). The arc is relatively young, compared to other Cenozoic magmatic assemblages in Iran (i.e. Kerman belt in southeast, Alborz belt in north-northwest, and the Lut belt in the east); thus, not so unroofed.

2- Research methodology

This research involves field work and geological mapping, and sampling from various rock units and alteration-mineralization zones for petrography, ore microscopy, and X-ray diffraction (XRD) analysis. Over 100 thin and thin-polished sections were inspected using conventional transmitted and reflected light microscopy. The XRD analyses were carried out at the Iran Mineral Processing Research Center using a Philips X'Pert Pro diffractometer.

3-Results

The oldest rocks exposed in the Kharestan-Bidester district consist of scattered patches of variably serpentinized ultramafic rocks, and gabbros, basalts, radiolarites, and pelagic limestones of a Cretaceous ophiolitic mélange. The rocks are covered by Eocene flysch type sediments consisting of sandstones, siltstones, shales, and conglomerate that cover large areas in the Taftan area (Figs 2,3).

The youngest rocks include a thick sequence of late Cenozoic calc-alkaline volcanic rocks consisting of late Miocene pyroclastics, Plio-Quaternary andesitic to trachy-andesitic and dacitic lava flows, and Quaternary andesitic-dacitic tuffs and ignimbrites (Figs 2,3).

Hydrothermal alteration, dominated by silicic and argillic, has affected large volumes of rocks in the area (Figs 2, 5). Silicic alteration occurs linearly across faults and fractures, as well as in massive bodies of variable sizes (Fig. 6). The silicic rock is distinguished by vuggy texture typical of residual silica in many high-sulfidation epithermal environments; a massive texture is developed towards the margins (Fig. 8).

The silicic rock is locally brecciated, and cemented by a second generation of silica and abundant fine-grained pyrite. The silicic zones are bordered by halos of advanced argillic alteration, distinguished by Quartz, alunite, pyrophyllite, kaolinite, and diaspore, grading outward into intermediate argillic and argillic alterations (Figs 9, 10).

Pyrite is the main ore mineral, mostly oxidized to Fe oxides/hydroxides. Traces of tetrahedrite and enargite were identified in the thin-polished sections, as well as in the XRD analyses. A small exposure of malachite occurs in the Kharestan area (Fig. 11b). The ore zones extend vertically to over 100 m, grading downward into volcanic rocks with chlorite-sericite-pyrite alteration (Fig. 11a). Gold occurs mostly as submicroscopic particles; the grades vary from <10 ppb to over 5 ppm. The broadly consistent enrichments in silver suggest that gold occurs, at least partly, as electrum.

4- Discussion

The widespread hydrothermal alteration and associated gold mineralization in the Kharestan-Bidester district occur in Plio-Quaternary andesitic to dacitic volcanic complexes. The geometry and configuration of the silicic and argillic alteration zones are typical of the lithocaps developed in the upper parts of the porphyry Cu± Mo± Au systems in calc-alkaline subduction/collision-related arcs worldwide. Three main ore types occur in Kharestan-Bidester, including silicic ore, silicic-pyritic ore, and subordinate silicic-aluminous ore (Fig. 12). Gold appears to be the main commodity. A high potential exists for the occurrence of porphyry systems at deeper levels.

5- Conclusions

The Plio-Quaternary intermediate to felsic volcanic rocks in the Kharestan-Bidester district developed in an active subduction setting, and provide an opportunity to explore the ore potential in the upper sections of a young volcanic/plutonic system. Gold mineralization in the district is closely associated with extensive silicic zones with vuggy, massive, and breccia textures, bordered by advanced-intermediate argillic alterations, typical of lithocaps in the upper parts of the porphyry systems. The geological setting, hydrothermal alteration, and the ore texture/structure allow the gold deposits in the Kharestan-

Bidester to be classified as high-sulfidation epithermal systems.

Acknowledgment

We thank Ali Bavin from Pars Tamin Mines Development Company for his support and assistance in field work. We are

grateful to Dr. Gholamreza Soleimani and Dr. Amir Hossein Naderi, the managing directors of Sadr Tamin Investment Company, for their support throughout this research. The project benefitted from a MoU between Shahid Beheshti University and Pars Tamin Mines Development Company; SA is grateful to both for that.

دگرسانی گرمابی و کانی‌سازی طلا در منطقه خارستان - بیدستر، ناحیه تفتان، جنوب خاور ایران

پویا سیدصالحی نائینی^{۱*}، سعید علیرضایی^۱ و محمد نبی نوری^۲^۱ گروه زمین‌شناسی معدنی و آب، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران^۲ شرکت توسعه معادن پارس تامین، تهران، ایران

چکیده

ناحیه خارستان-بیدستر در شمال باختر آتشفشان تفتان، با مجموعه‌ای از گدازه‌ها و مواد آذرآواری پلیوکواترنری پوشیده شده است که دستخوش دگرسانی‌های گسترده رسی و سیلیسی شده‌اند. پهنه (زون)‌های سیلیسی که از نمودهای آشکار آن‌ها سیلیس حفره‌ای است، با هاله‌هایی از دگرسانی رسی پیشرفته-متوسط با کانی‌های شاخص آلونیت، پیروفیلیت، دیاسپور و کائولینیت دربرگرفته شده‌اند. این پهنه‌ها به شکل خطی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها و همین‌طور به صورت توده‌های نامنظم با ابعاد متفاوت وجود دارند و در مقیاس ناحیه‌ای قابل مقایسه با لیتوکپ‌های (lithocap) سیلیسی-رسی در بخش‌های بالایی سامانه‌های پورفیری هستند. طلا عموماً به صورت ذرات زیرمیکروسکوپی وجود دارد و با توجه به غنی‌شدگی هماهنگ نقره، دست کم بخشی از آن به شکل الکتروم است. پیریت، که در بخش‌های سطحی اکسیده شده است، از همراهان کانی‌سازی است. رخداد پراکنده مالاکیت نشان می‌دهد که کانی‌های سولفیدی مس مانند کالکوپیریت نیز وجود دارند. آثاری از سولفوسالت‌های تتراهدريت و انارژیت به طور محلی دیده می‌شود. با توجه به محیط زمین‌شناسی، دگرسانی گرمابی، ساخت و بافت و ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناسی کانسنگ، کانی‌سازی طلا در این ناحیه قابل مقایسه با ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا است.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا

طلا

خارستان-بیدستر

تفتان

مکران

جنوب خاور ایران

۱- پیش‌نوشتار

ناحیه معدنی خارستان - بیدستر در شمال باختر آتشفشان تفتان، در بخش باختری کمان ماگمایی مکران واقع شده که از جنوب خاور ایران تا باختر-شمال باختر پاکستان ادامه دارد (شکل ۱). این ناحیه به طور عمده با گدازه‌ها و مواد آذرآواری نئوژن-کواترنری با ترکیب متوسط تا سیلیسی، واحدهایی از آمیزه رنگین کرتاسه و رسوبات آواری نوع فلیش از ائوسن پوشیده شده است (نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ نوک آباد، افخارنژاد، ۱۳۶۳). مجموعه ماگمایی تفتان به دلیل جایگاه زمین‌شناسی خاص آن و وجود پتانسیل‌های معدنی فلزات پایه و گرانبها، به‌ویژه در سه دهه گذشته مورد توجه بوده است (Mokhtari et al., 2015b, a؛ قاسمی، ۱۳۹۳).

به عنوان مثال‌هایی از فعالیت‌های اکتشافی، می‌توان به بررسی پتانسیل‌های معدنی منطقه خارستان - بیدستر (سامانی، ۱۳۶۹)، مطالعه تفصیلی منطقه خارستان-بیدستر

(سامانی و باباخانی، ۱۳۷۲)، اکتشافات ژئوشیمیایی Soil Sampling در منطقه اکتشافی خارستان - بیدستر (شرکت زرناب اکتشاف، ۱۳۹۲)، گزارش مطالعات زمین‌شناسی و عملیات اکتشافی منطقه خارستان - بیدستر (شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۸)، گزارش بررسی دگرسانی‌های منطقه خارستان - بیدستر (شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۹۲) و بررسی دگرسانی در منطقه تفتان و ویژگی‌های سیال گرمابی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مطالعه میانبارهای سیال (Mokhtari et al., 2015a, 2015b) نام برد.

عملیات پی‌جویی و اکتشافی اولیه که هدف آن‌ها بیشتر بر ذخایر پورفیری متمرکز بود، به نتیجه مطلوب نرسید. ادامه فعالیت‌ها با تهیه نقشه زمین‌شناسی-دگرسانی، اکتشاف ژئوشیمیایی محیط سنگی و تهیه نقشه ژئوشیمی در محدوده خارستان - بیدستر،

* نویسنده مسئول: پویا سیدصالحی نائینی؛ E-mail: p_seyedsalehinaeini@sbu.ac.ir

ماخذنگاری:

سیدصالحی نائینی، پ.، علیرضایی، س. و نوری، م. ن.، ۱۴۰۳، دگرسانی گرمابی و کانی‌سازی طلا در منطقه خارستان - بیدستر، ناحیه تفتان، جنوب خاور ایران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۴(۳)، ۱-۱۳. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.436419.2130>

doi: 10.22071/gsj.2024.436419.2130

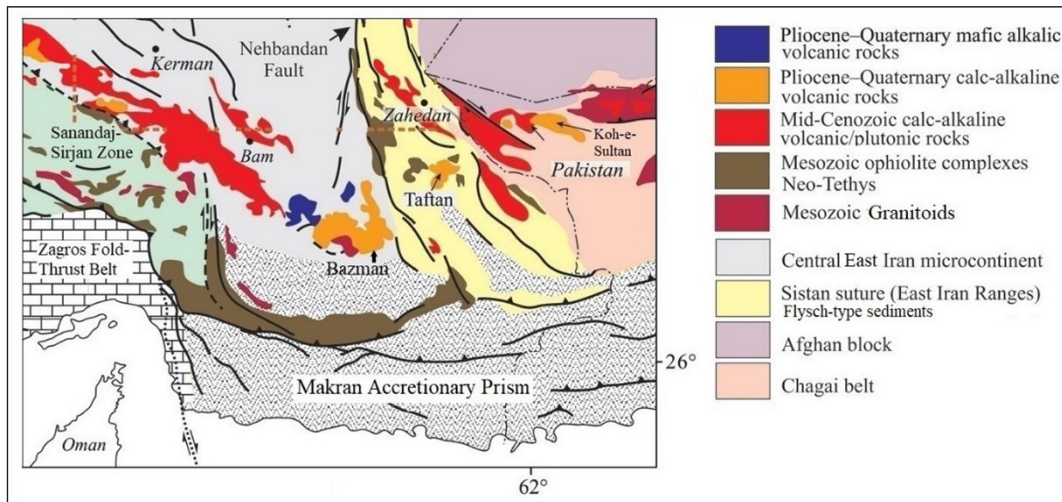
doi: 20.1001.1.10237429.1403.34.3.1.9

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

است. کمان مکران در مقایسه با مجموعه‌های ماگمایی دیگر در ایران (برای مثال مجموعه‌های ماگمایی در کمرند کرمان، البرز و لوت) به نسبت جوان است و دستخوش فرسایش چندانی نشده است. از این رو، می‌توان انتظار داشت که بخش‌های بالایی کمان و ذخایر معدنی آن تا حد زیادی حفظ شده باشد. این پژوهش، بر دگرسانی-کانی‌سازی در ناحیه خارستان-بیدستر متمرکز است، با این فرض که ممکن است این ناحیه دربرگیرنده مجموعه‌های سنگی و ذخایر معدنی باقیمانده در بخش‌های بالایی یک کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش باشد.

با شناخت بیشتر از ویژگی‌های زمین‌شناسی و دگرسانی همراه بود و به شناسایی پهنه‌های سیلیسی طلا دار در این دو منطقه انجامید که در چند سال اخیر در دست اکتشاف تفصیلی هستند (شرکت توسعه معادن پارس تامین، ۱۳۹۹). کمان ماگمایی مکران، همبسته با فرورانش فعال سنگ کره (لیتوسفر) اقیانوسی مکران (عمان) به زیر ایران مرکزی و شرق ایران است (Burg et al., 2019; Le Pichon, 1968؛ قلمقاش و همکاران، ۱۴۰۱). این جایگاه زمین‌شناسی، اهمیت زیادی از نظر کانی‌سازی فلزی و غیرفلزی دارد و میزبان اصلی گروهی از ذخایر مهم معدنی به‌ویژه ذخایر نوع پورفیری، ذخایر اپی‌ترمال و ذخایر اسکارنی



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده جنوب خاور ایران با نمایش پراکندگی مجموعه‌های آذرین مزوزویک-کواترنری. موقعیت آتشفشان‌های جوان بزمان و تفتان در ایران و کوه سلطان در پاکستان دیده می‌شود (Arjmandzadeh et al., 2022 با تغییر).

Figure 1. Simplified geological map of the southeast Iran, highlighting the distribution of Mesozoic-Quaternary igneous rocks. See the locations of the young Bazman and Taftan volcanos in Iran, and Koh-e-Soltan in Pakistan (Modified after Arjmandzadeh et al., 2022).

۲- روش پژوهش

این پژوهش شامل بازدید میدانی و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و پهنه‌های دگرسانی-کانی‌سازی در رخنمون‌های طبیعی و ترانسه‌های اکتشافی برای مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و آنالیز پراش پرتو ایکس XRD است. بازدید میدانی و نمونه‌برداری در چند نوبت با پیشرفت مطالعات اکتشافی در ناحیه تفتان انجام گرفت. مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری، با استفاده از بیش از ۱۰۰ مقطع نازک و نازک-صیقلی در دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، و آنالیز پراش پرتو ایکس توسط آزمایشگاه مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. ناحیه مورد نظر با استفاده از روش ژئوشیمی محیط سنگی اکتشاف شده است (شرکت توسعه معادن پارس تامین، ۱۳۹۹)؛ به نتایج حاصل از این مطالعات در بخش کانی‌سازی اشاره شده است.

مشخص می‌شود (Biabangard and Moradian, 2008; Richards, 2016). فرایندهای ماگمایی مرتبط با فرورانش در کمان مکران، با تشکیل طیفی از ذخایر معدنی شامل ذخایر مس پورفیری و ذخایر رگه‌ای اپی‌ترمال همراه بوده است که به عنوان مثال‌هایی از آن می‌توان به ذخایر پورفیری رکودیک و سایندهک در پاکستان (Deng et al., 2008; Richards, 2014; Siddiqui et al., 2018) و ذخایر طلای پورفیری - اپی‌ترمال سیاه جنگل (Mokhtari et al., 2015a, b; Richards et al., 2018) و طلای خارستان-بیدستر در ایران اشاره کرد.

منطقه خارستان-بیدستر در ناحیه تفتان در بخش ایرانی کمان ماگمایی مکران، با رخنمون‌های گسترده از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی و پهنه‌های گسترده دگرسانی مشخص می‌شود.

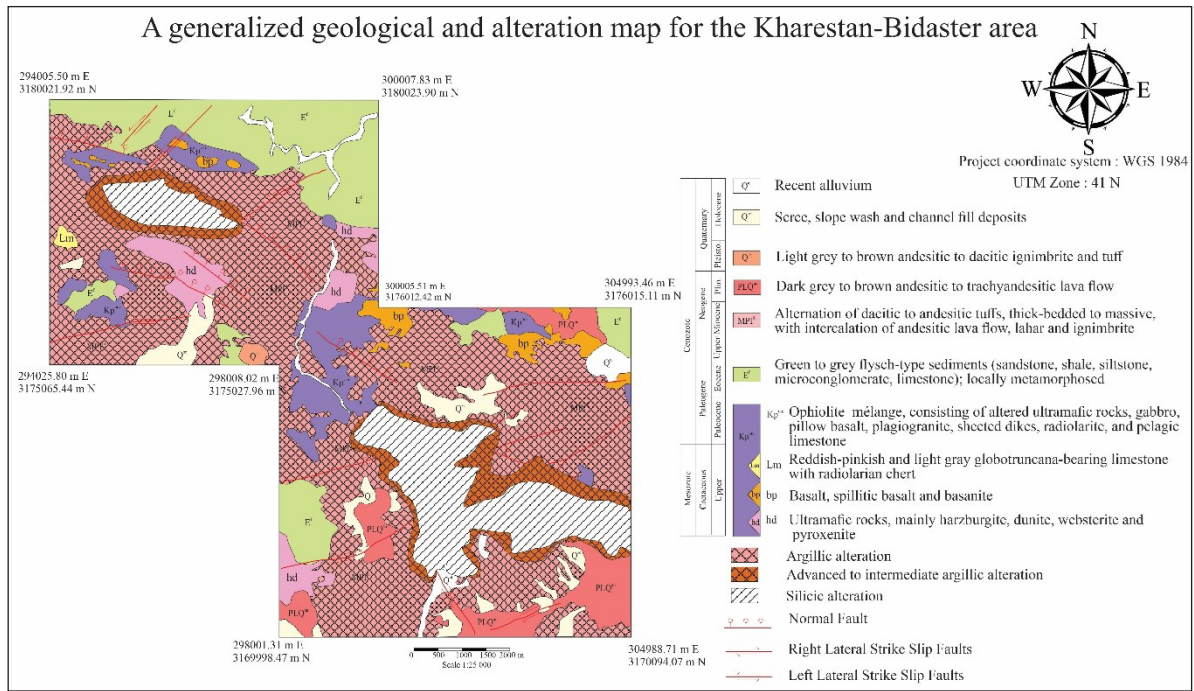
۳-۲- زمین‌شناسی پهنه خارستان - بیدستر

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی در محدوده خارستان-بیدستر و پیرامون آن، شامل یک مجموعه فیولیتی (آمیزه رنگین) کرتاسه است که توسط یک سری رسوبات آواری نوع فلیش ائوسن پوشیده می‌شود. سنگ‌های آتشفشانی پلیوکواترنری با دگرشیبی بر روی این دو مجموعه سنگی قرار می‌گیرد. شکل ۲، نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه خارستان-بیدستر را نشان می‌دهد.

۳- داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

با فرورانش ورق اقیانوسی عمان به زیر مکران-خاور ایران-ایران مرکزی، کمان ماگمایی مکران شکل گرفته است که از ناحیه بزمان در ایران تا ناحیه کوه سلطان و چاگای بلت در پاکستان گسترش دارد (شکل ۱). این کمان که تحول خود را از میوسن آغاز کرده است با چیرگی مجموعه‌های آتشفشانی-نفوذی کالک-آلکالین



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی عمومی ناحیه خارستان-بیدستر. مجموعه‌های دگرسانی نیز مشخص شده است. سن واحدها بر اساس نقشه زمین‌شناسی نوک آباد (افتخارنژاد، ۱۳۶۳) است.

Figure 2. A generalized geological and hydrothermal alteration map of the Kharestan-Bidaster district. The ages are adopted from the Nukabad geological map (Eftekhari-Nezhad, 1984).

۳-۳-۳ دگرسانی گرمایی

در ناحیه خارستان - بیدستر، دگرسانی گرمایی در گستره‌ای وسیع در گدازه‌ها و مواد آذرآواری رخ داده است (شکل‌های ۲ و ۵). این دگرسانی که با تغییر رنگ آشکار سنگ‌ها مشخص می‌شود، به طور عمده شامل سیلیسی و رسی است که به سمت بیرون به دگرسانی پروپیلیتی در زمینه می‌رسند. دگرسانی سیلیسی به شکل خطی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها و همین‌طور در حجم‌های نامنظم رخ داده است (شکل ۶). دگرسانی سیلیسی در هر دو حالت با هاله‌ای از دگرسانی رسی دربرگرفته شده است.

۳-۳-۱ دگرسانی سیلیسی

این دگرسانی با رخداد کوارتز و کمتر از آن، کالسدونی و اپال مشخص می‌شود که به طور فراگیر سنگ میزبان آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده، به گونه‌ای که کانی‌شناسی و بافت سنگ اولیه تا حد زیادی از بین رفته است (شکل ۷-a,b). سنگ سیلیسی با بافت‌های حفره‌ای (vuggy)، توده‌ای (massive) و برشی دیده می‌شود (شکل ۸-a-d). بافت حفره‌ای محصول واکنش یک سیال اکسید و به شدت اسیدی با سنگ‌ها است که در این حالت بیشتر کانی‌های سنگ‌ساز، ناپایدار و تجزیه می‌شوند (Corbett, 2012; Hedenquist and Arribas, 2017); این سیال خود ناشی از تفکیک فاز یک سیال گرمایی ماگمایی در ژرفاهای بیشتر است که با مهاجرت فاز بخار غنی از CO_2 ، SO_2 و دیگر مواد فرار به ترازهای بالاتر همراه است (Cooke et al., 2017; Hedenquist and Arribas, 2017; Hedenquist and Taran, 2013; Sillitoe, 2010). در این دگرسانی، سیال گرمایی با $pH < 2$ تمامی اجزای سنگ میزبان را تجزیه می‌کند و بیشتر یون‌ها، حتی آلومینیم وارد سیال می‌شود (Reed and Palandri, 2006). آن‌چه ضمن این واکنش‌ها پایدار است و می‌تواند باقی بماند، کوارتز است که ممکن است به شکل فیوکریست یا در زمینه سنگ وجود داشته باشد (شکل ۸-a). شکل ۸-a,b تصویر بافت حفره‌ای را در رخنمون طبیعی و نمونه دستی نشان می‌دهد.

مجموعه آمیزه رنگین (Cm) شامل سنگ‌های مافیک-اولترامافیک، رادیولاریت و سنگ آهک پلاژیک در شمال و همین‌طور در بخش میانی ناحیه خارستان - بیدستر در همبری با رسوبات آواری دیده می‌شود. سنگ‌های اولترامافیک عموماً به شدت سرپانتینی شده‌اند. در دو شکل ۳-a,b تصاویر صحرایی از این واحدها دیده می‌شوند. واحد فلیش (E_p) شامل یک توالی از ماسه‌سنگ، ماسه‌سنگ آهکی، شیل، سیلت‌استون، کنگلومرا با رخساره فلیش از زمان اتوسن است؛ به طور محلی سنگ‌های آتشفشانی و لایه‌های سنگ آهک نیز وجود دارد. رنگ رخنمون این سنگ‌ها غالباً خاکستری تا سبز روشن و زیتونی است. در لایه‌های شیل، رخ (کلیواژ) اسلیتی توسعه یافته است. واحد فلیش به طور عمده در شمال محدوده مورد مطالعه رخنمون دارد (شکل ۳-c).

سری سنگ‌های آتشفشانی شامل واحدهای آذرآواری میوسن پایانی، گدازه‌های آندزیتی تا تراکی آندزیتی و داسیتی پلیوکواترنری و توف و ایگنمبریت آندزیتی تا داسیتی کواترنری است (شکل ۳-d, e). گدازه‌های پلیوکواترنری با بافت پورفیری تا نهان‌بلور، که در رخنمون‌های طبیعی به رنگ خاکستری دیده می‌شوند، به صورت صخره‌ساز و برجسته در سراسر ناحیه گسترش دارند. این واحد میزبان اصلی کانی‌سازی در خارستان-بیدستر است. تصاویر مقطع میکروسکوپی از گدازه‌های آندزیتی و داسیتی در شکل ۴ دیده می‌شود. سنگ‌های آتشفشانی در ناحیه تفتان عموماً گرایش کالک-آلکانل تا کالک-آلکانل پتاسیم بالا دارند (Biabangard and Moradian, 2008; Richards et al., 2015).

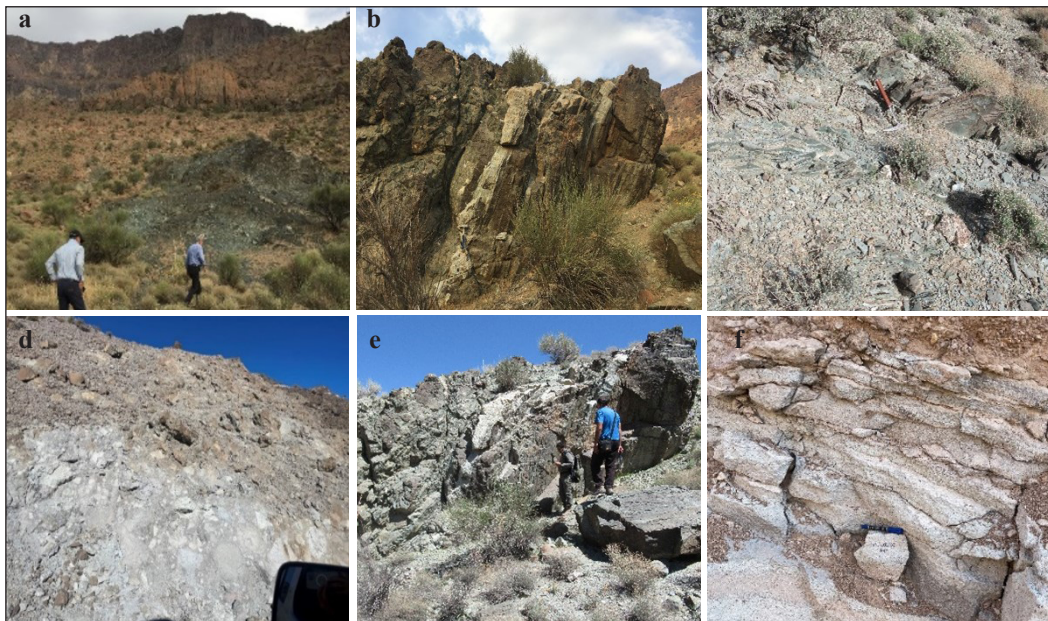
سنگ‌های گوناگون در این ناحیه، کمابیش دگرسان شده‌اند. سنگ‌های اولترامافیک آمیزه رنگین، سرپانتینی و واحدهای آتشفشانی آن اسپیلیتی، کلریتی، کربناتی و اپیدوتی شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی جوان در گستره‌ای وسیع تحت تاثیر دگرسانی‌های گرمایی رسی و سیلیسی قرار گرفته‌اند که درباره آن در بخش دگرسانی گرمایی بحث شده است.

بافت به طور عمده شامل قطعاتی از سنگ سیلیسی در زمینه‌ای از سیلیس نسل دوم و پیریت ریزدانه است (شکل ۸-d). پیریت گاه به حدی فراوان است که زمینه سنگ را تیره کرده است.

۳-۲-۳- دگرسانی رسی (آرزیلیک)

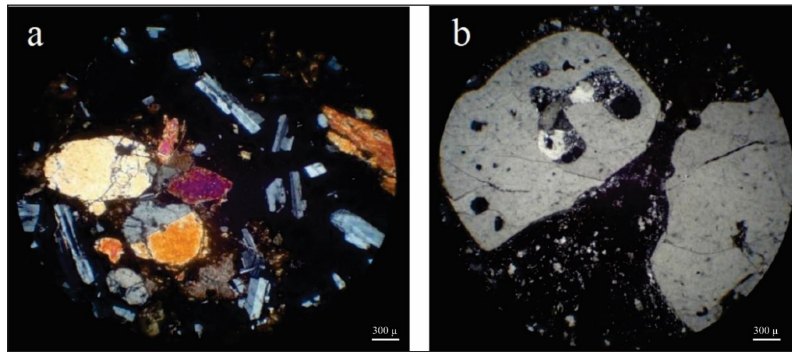
دگرسانی رسی از دگرسانی‌های اصلی همراه با آن دسته از ذخایر معدنی است که در ژرفای کمی از سطح زمین تشکیل شده‌اند. این دگرسانی تابع ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی سیال، به ویژه Eh-pH، دما و همین طور ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی سنگ میزبان است (Hedenquist and Arribas, 2022). این دگرسانی که با فراوانی کانی‌های رسی و دیگر کانی‌های ثانوی غنی از آلومینیم مشخص می‌شود، به ویژه سنگ‌های آذرین را تحت تاثیر قرار می‌دهد که غنی از کانی‌های سیلیکاتی هستند. این دگرسانی با توجه به مجموعه‌های کانی‌شناسی حاصل، به سه گروه اصلی رسی پیشرفته، رسی حد واسط و رسی تفکیک شده است (Hedenquist and Arribas, 2022; Hedenquist and Taran, 2013).

سیلیس حاصل از تجزیه کانی‌های سیلیکاتی، خود را به صورت سیلیس آزاد (کوآرتز و کمتر از آن کالسدونی و اپال) بازسازی می‌کند و در محل باقی می‌ماند؛ از این رو، به این نوع سیلیس، سیلیس بازماندی (residual silica) می‌گویند (Hedenquist and Arribas, 2017). این نوع دگرسانی در سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی با ترکیب متفاوت از فلسیک تا مافیک، از بسیاری از مجموعه‌های ماگمایی کمانی گزارش شده است (Hovakimyan et al., 2019; Pirajno, 2009; Richards et al., 2018). افزوده شدن سیلیس به محل می‌تواند با گسترش بافت توده‌ای یا کمایش توده‌ای همراه باشد که در این حالت سنگ سیلیسی حفره‌های بسیار کمتر و کوچک‌تری در مقایسه با بافت حفره‌ای دارد (شکل ۸-c). مرز بین این دو نوع سیلیس در رخنمون طبیعی از کمایش ناگهانی تا تدریجی تغییر می‌کند. بخشی از حفره‌ها در سیلیس حفره‌ای و همین طور درز و شکستگی‌ها، با سیلیس نسل دوم که گاه با پیریت ریزدانه همراه است، پر شده است. بافت برشی به طور محلی توسعه یافته است و گسترش آن نظم چندانی ندارد. این



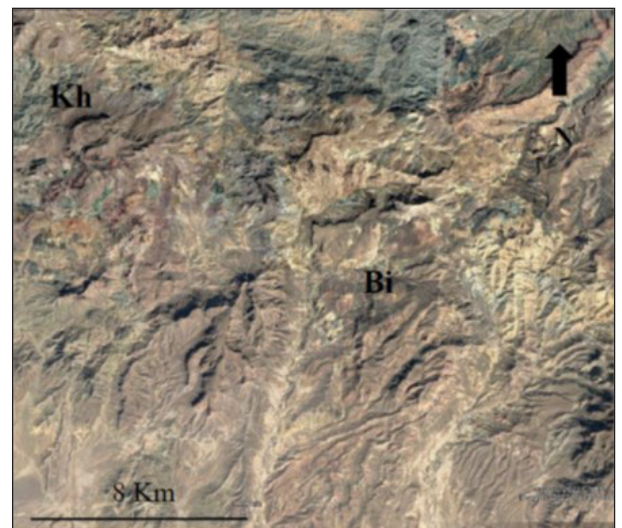
شکل ۳- تصاویری از رخنمون واحدهای سنگی در خارستان-بیدستر. (a) رخنمونی از واحد اولترامافیک (در اینجا پیروکسنیت) کرتاسه در جنوب بیدستر که توسط سنگ‌های آتشفشانی جوان پوشیده شده است؛ دید به سمت باختر. (b) رخنمون سنگ‌های آتشفشانی مافیک و میان‌لایه‌های سنگ آهک از واحد آمیزه رنگین در بیدستر؛ دید به سوی شمال باختر. (c) رخنمونی از تناوب ماسه‌سنگ و شیل از واحد فلیش انوسن؛ شمال خارستان؛ دید به سوی جنوب باختر. (d) رخنمونی از گدازه‌های داسیتی در خارستان؛ دید به سوی شمال؛ (e) رخنمون گدازه آندزیت پورفیری؛ بیدستر؛ دید به سوی شمال خاور؛ (f) رخنمون کریستال لیتیک توف، بیدستر؛ دید به سوی شمال خاور.

Figure 3. Photographs of the main rock types in the Kharestan-Bidester district. a) Outcrop of the Cretaceous ultramafic rocks (here, pyroxenite) in southern Bidester, covered by young volcanic rocks; view to the west. b) Outcrop of Cretaceous mafic volcanic rocks and limestone interbeds in southern Bidester; view to the north. c) Outcrop of the Eocene sandstones, siltstones and shales; northern Kharestan; view to the southwest. d) Outcrop of dacitic lava flow in Kharestan; view to the north. e) Outcrop of porphyritic andesite; southern Bidester; view to the east.



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی ناحیه خارستان-بیدستر. (a) آندزیت پورفیریتیک با فیوکریست‌های کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه نهان‌بلور. (b) گدازه داسیتی با فیوکریست کوارتز در زمینه ریزدانه میکرولیتی. هر دو تصویر در XPL.

Figure 4. Photomicrographs of main volcanic rocks in the Kharestan-Bidester district. a) plagioclase and clinopyroxene phenocrysts in an aphanitic matrix in porphyritic andesite; XPL. b) Quartz and plagioclase phenocrysts in a fine-grained, microlitic matrix.



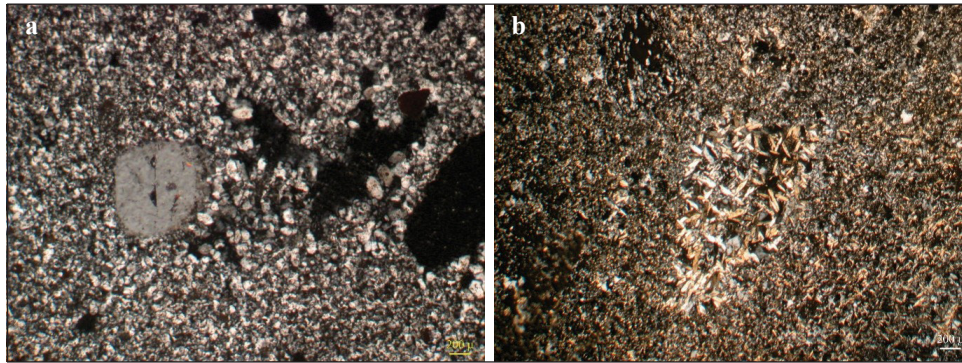
شکل ۵- نمایش موقعیت مناطق خارستان (Kh) و بیدستر (Bi) در تصویر گوگل ارث. دگرسانی رسی (رنگ روشن) که بیشتر، سنگ‌های آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده است، از نمودهای آشکار در این دو منطقه است.

Figure 5. Google Earth image showing the Kharestan (Kh)-Bidester (Bi) district. Argillic alteration (light grey) developed mostly in volcanic rocks, is a distinct feature in the district.



شکل ۶- نمایی از پهنه‌های سیلیسی که با دگرسانی آرزیلیک دربر گرفته شده‌اند؛ (a) بیدستر، دید به سوی باختر؛ (b) خارستان، دید به سوی شمال باختر.

Figure 6. Field photos showing the silicic zones bordered by argillic alteration; a) in Bidester, view to the west; and b) in Kharestan, view to the northwest.



شکل ۷- (a) تصویر میکروسکوپی از آندزیت به شدت سیلیسی. کانی‌شناسی و بافت سنگ اولیه قابل تشخیص نیست. یک فینو کریست کوآرتز، همچنان باقی مانده است؛ XPL. (b) تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از هاله دگرسانی رسی پیشرفته که با فراوانی کوآرتز و آلونیت مشخص می‌شود.

Figure 7-a) Microphotograph of silicified andesite. The original mineralogy and texture are masked. A quartz phenocryst is preserved; XPL. b) Microphotograph of a sample from the advanced argillic halo, showing quartz-alunite association.



شکل ۸- تصویرهایی از بافت سنگ سیلیسی در خارستان-بیدستر. (a) بافت حفره‌ای در رخنمونی در یک تراشه، بیدستر؛ (b) بافت حفره‌ای در نمونه دستی، خارستان؛ (c) بافت توده‌ای در یک تخته سنگ، بیدستر؛ (d) بافت برشی در رخنمون طبیعی، شامل قطعات سنگ سیلیسی در سیمانی از سیلیس همراه با پیریت ریزدانه، بیدستر.

Figure 8. Photographs showing the textures in silicic rocks in Kharestan-Bidester. a) vuggy texture in an outcrop across a trench; b) vuggy texture in a hand specimen, Kharestan; c) massive texture in a boulder, Bidester; d) breccia texture in an outcrop, consisting of fragments of silicic rocks in a matrix of silica and fine-grained pyrite, Bidester.

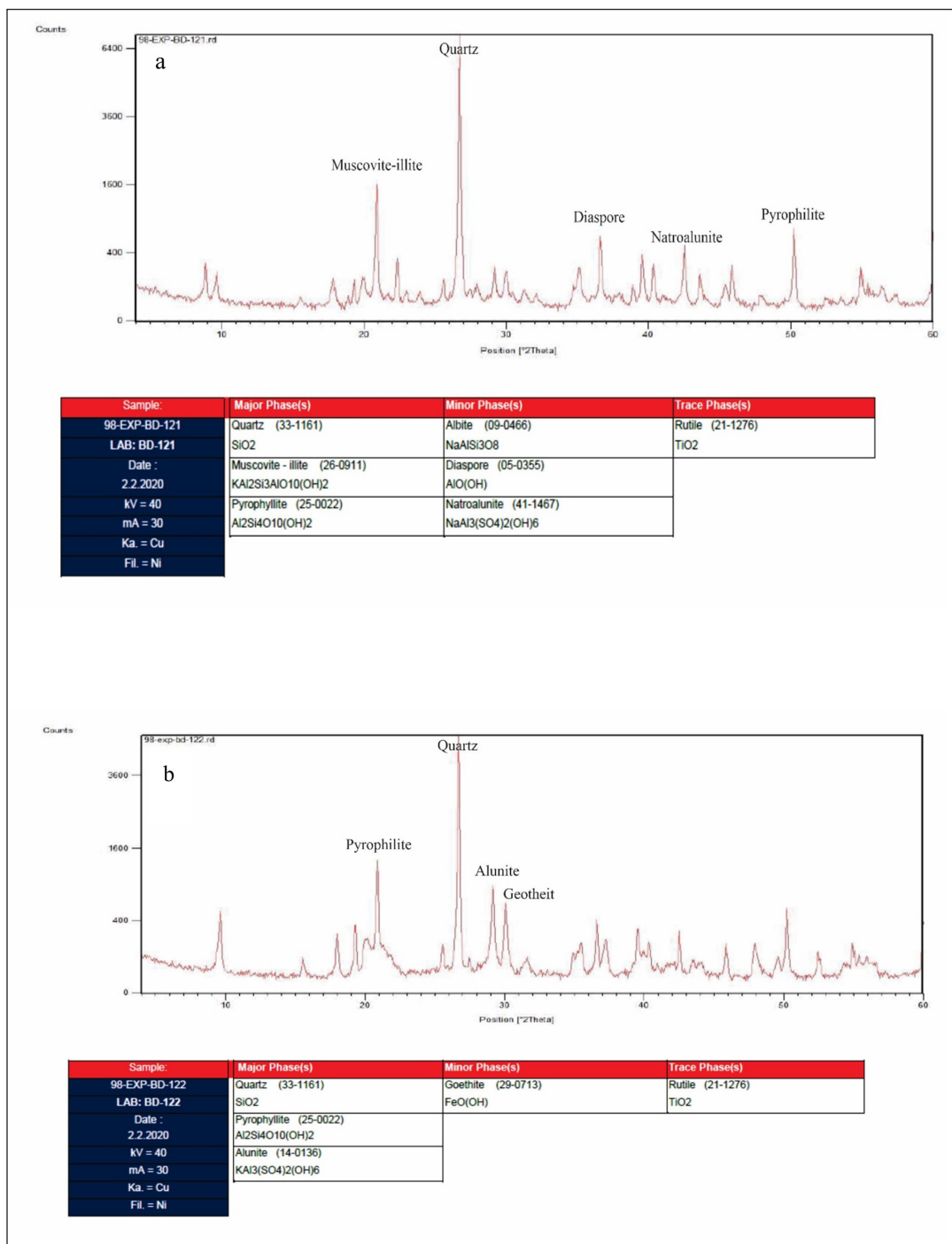
پرتو ایکس نمونه‌هایی از هاله‌های دگرسانی رسی اطراف پهنه‌های سیلیسی در خارستان و بیدستر، حضور کوآرتز، آلونیت، پیروفیلیت، زونیت و دیاسپور را نشان داده است که از کانی‌های شاخص دگرسانی رسی پیشرفته هستند (شکل ۹- a-c).

فرایندهایی که سبب تشکیل این سیال بسیار اسیدی می‌شوند، توسط هدنکوئیست و آریباس (Hedenquist and Arribas, 2022) توصیف شده است. فرایند اصلی، جدایش فاز یک سیال گرمایی اکسیدی در ژرفایی از سطح زمین و آزاد شدن فاز بخار غنی از SO_2 ، Cl و دیگر مواد فرار و مهاجرت آن به ترازهای بالاتر و تراکم آن به مایع است.

— **دگرسانی رسی پیشرفته:** پهنه‌های سیلیسی در خارستان-بیدستر با هاله‌ای از دگرسانی رسی پیشرفته که به تدریج به رسی متوسط و رسی می‌رسد، احاطه شده‌اند. دگرسانی رسی پیشرفته در ناحیه مورد بررسی با همراهی کوآرتز - آلونیت مشخص می‌شود که از ویژگی‌های آشکار سامانه‌های اپی ترمال سولفیداسیون بالا است. گسترش این دگرسانی، از کمتر از یک متر تا چند ده متر تغییر می‌کند. این دگرسانی عموماً محصول واکنش سنگ‌های میزبان آذرین با سیال اسیدی است (Hedenquist and Arribas, 2022; Holley et al., 2016). با افزایش تدریجی pH سیال، آلومینیم که در پهنه سیلیس حفره‌ای شسته شده بود، از سیال خارج می‌شود و در تشکیل کانی‌های غنی از آلومینیم شرکت می‌کند. آنالیز پراش

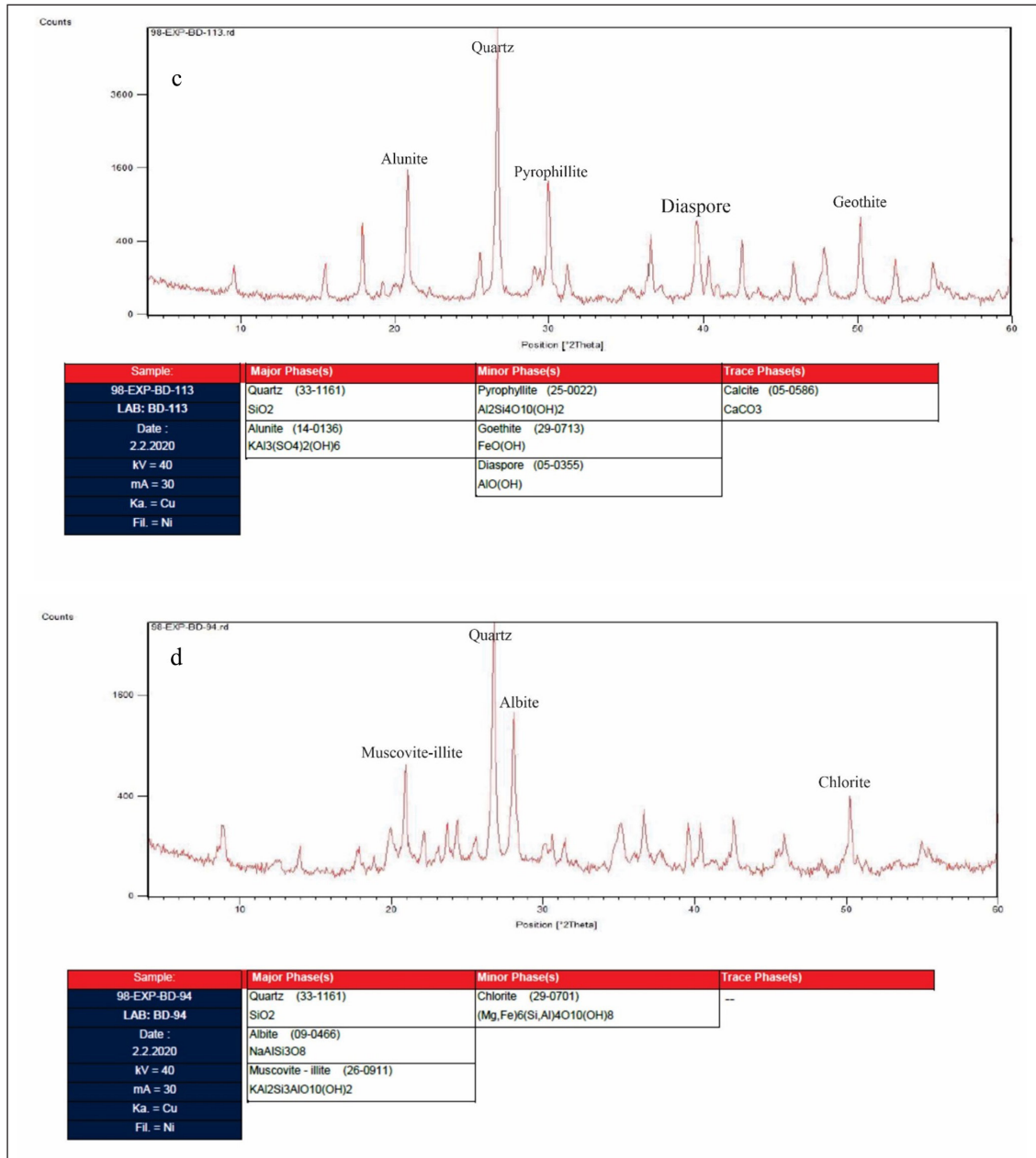
متوسط و دگرسانی رسی دربرگرفته شده‌اند، از ویژگی‌های سامانه‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا است که برای مثال از یاناکوچا، پرو (Turner, 1997) و فار سوت ایست، اندونزی (Hedenquist et al., 1998) گزارش شده است. هاله دگرسانی آرژلیک در ناحیه مورد مطالعه به سمت بیرون به تدریج به مجموعه دگرسانی پروپیلیتی می‌رسد.

– **دگرسانی رسی متوسط و معمولی:** دگرسانی رسی پیشرفته به سمت بیرون به تدریج به پهنه‌های (زون‌های) غنی از کائولینیت (\pm دیکیت) و غنی از ایلیت و مونت‌موریلونیت می‌رسد (شکل ۹-d) که هماهنگ با افزایش pH سیال است. پهنای این پهنه‌ها در بخش‌های مختلف متفاوت است. این منطقه‌بندی دگرسانی، با پهنه‌های سیلیسی که توسط هاله‌هایی از دگرسانی رسی پیشرفته-



شکل ۹- نمایش نتایج آنالیز XRD چهار نمونه از هاله دگرسانی رسی پیشرفته (a, b).

Figure 9. XRD results for four selected samples from advanced (a,b,) argillic alteration zones.



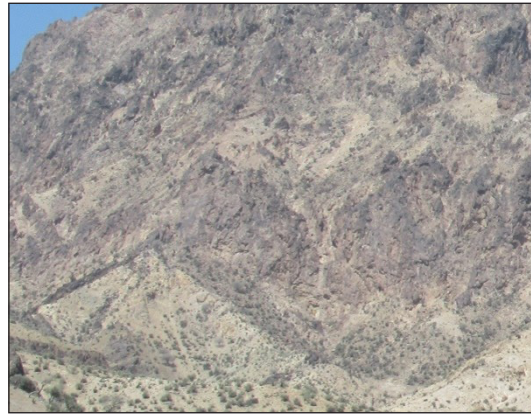
ادامه شکل ۹- نمایش نتایج آنالیز XRD چهار نمونه از هاله دگرسانی رسی پیشرفته (c) و حدواسط (d).

Continued from Figure 9. XRD results for four selected samples from advanced (c) and intermediate (d) argillic alteration zones.

۴-۳- کانی‌سازی

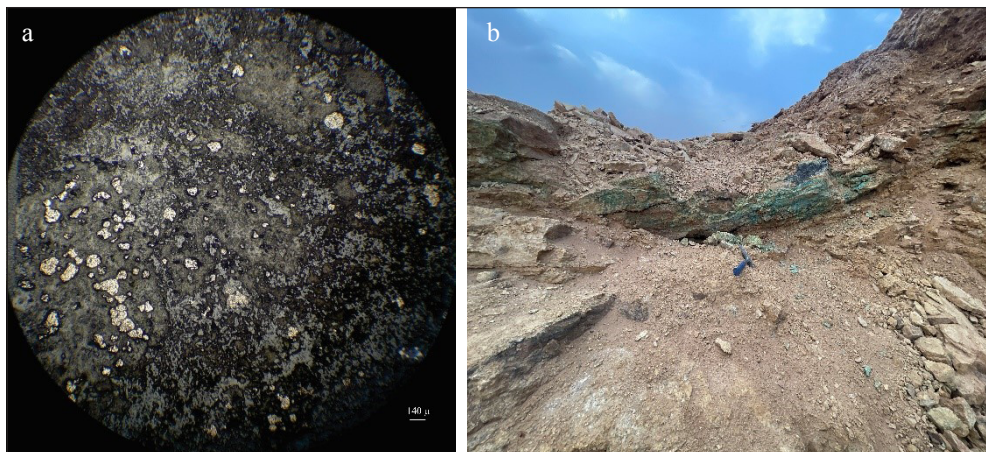
گسترش دارند و به تدریج به سنگ آتشفشانی میزبان با دگرسانی کلریتی-سرسیتی می‌رسند که به نسبت غنی از پیریت است. به منظور ردیابی و شناسایی طلا، بیش از ۲۰ مقطع نازک-صیقلی از کانسنگ سیلیسی و سیلیسی-پیریتی-اکسید آهنی مطالعه شد که در هیچ یک طلای قابل تشخیص یافت نشد. نبود طلا در مقاطع میکروسکوپی کانسنگ‌های آن ممکن است به دلیل مقاومت بسیار کم این فلز در برابر سایش و پولیش باشد. از سوی دیگر، طلا در بسیاری از ذخایر گرمایی آن اساساً بسیار ریزدانه است (در حد میکرون و کوچک‌تر از آن) و کمتر در نمونه دستی و حتی در نمونه‌های میکروسکوپی دیده می‌شود. طلا به طور عمده به صورت ذرات زیرمیکروسکوپی در کانسنگ وجود دارد. آگاهی از چگونگی رخداد طلا در کانسنگ و اندازه ذرات آن، نیازمند مطالعات الکترون-میکروسکوپی روشی SEM (scanning electron microscopy)، الکترون مایکروپروب و برخی روش‌های دیگر است.

کانی‌سازی در ناحیه مورد مطالعه، همراه با پهنه‌های سیلیسی و کمتر از آن سیلیسی-رسی در گدازه‌های آندزیتی تا داسیتی رخ داده است (شکل ۱۰). سیلیس در قالب کوآرتز و کمتر از آن کالسدونی و اپال، کانی اصلی است؛ کانی‌های دیگر شامل اکسید/هیدروکسید آهن (ناشی از اکسایش پیریت)، ژاروسیت، آلونیت، کائولینیت، ژیس و باریت است. پیریت به طور محلی، به‌ویژه در بخش‌هایی که کانسنگ به شدت سیلیسی است، کمایش حفظ شده است (شکل ۱۱-ا). اندکی مالاکیت، حاصل از اکسایش کانی‌های سولفیدی مس، به طور پراکنده در پهنه‌های سیلیسی وجود دارد. در رخنمون سطحی، تنها در یک محل در خارستان، انباشت مالاکیت قابل توجه است (شکل ۱۱-ب). آثاری از تتراهدريت و انارژیت در مقاطع نازک-صیقلی تشخیص داده شد. پهنه‌های سیلیسی و سیلیسی-رسی کانه‌دار در امتداد شکستگی‌ها و همین‌طور به شکل توده‌های نامنظم وجود دارند. این پهنه‌ها در امتداد قائم تا بیش از ۱۰۰ متر



شکل ۱۰- نمایی از یک پهنه سیلیسی با چهره صخره‌ساز و هاله کوارتز-آلونیت (رنگ روشن در جلو).

Figure 10. View of a rugged silicic zone bordered by a halo of quartz-alunite (light color, in front).



شکل ۱۱- (a) بلورهای نیمه‌شکل‌دار (سایهدرال) تا بی‌شکل (انهدرال) پیریت در زمینه سیلیس در کانسنگ سیلیسی-پیریتی؛ نور انعکاسی، PPL؛ (b) رخنمون مالاکیت، حاصل از اکسید شدن کانی‌های سولفیدی مس، در یک پهنه سیلیسی در خارستان.

Figure 11- a) Subhedral to anhedral pyrite grains in silicic-pyritic ore, b) Exposure of malachite, a product of oxidation of Cu sulfide in a silicic zone in Kharestan.

- کانسنگ سیلیسی، که کانسنگ چیره است و بر اساس بافت به دو زیرنوع سیلیس حفره‌ای و سیلیس توده‌ای تقسیم می‌شود؛
 - کانسنگ سیلیسی-آلومینی یا سیلیسی-آرژلیک؛
 - کانسنگ سیلیسی-پیریتی، که تا حد زیادی دستخوش اکسایش و جانشینی پیریت با اکسید/هیدروکسید آهن شده است.
 با توجه به محیط زمین‌شناسی، ساخت و بافت کانسنگ، دگرسانی گرمایی، و ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناسی کانسنگ، کانی‌سازی طلا در خارستان بیدستر از بسیاری جهات قابل مقایسه با ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا است. برخلاف ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین که کانی‌سازی بیشتر به صورت پرکردن فضاهای

با توجه به داده‌های اکتشاف لیتوژئوشیمیایی، عیار طلا در پهنه‌های سیلیسی از کمتر از ۵ppb تا بیش از ۵ppm تغییر می‌کند (شرکت توسعه معادن پارس تامین، ۱۳۹۹). عیار نقره، از کمتر از ۱ppm تا بیش از ۱۰۰ppm متغیر است و توزیع آن همبستگی مثبت با طلا دارد که نشان می‌دهد حداقل بخشی از طلا در مناطق مورد مطالعه، به صورت الکتروم (آلیاژ طلا-نقره) است. ممکن است بخشی از طلا در فازهای سولفوسالنی مانند تتراهدريت-تنانتیت، فازهای تلوریدی مانند کالاوریت و سیلوانیت و برخی فازهای کانی دیگر وجود داشته باشد. رخداد آنها را ممکن است بتوان با مطالعات SEM-مایکروپروب ثابت کرد.
 کانسنگ طلا در خارستان-بیدستر را می‌توان به سه نوع اصلی تفکیک کرد (شکل ۱۲):

می‌شود. بافت‌های برشی و توده‌ای نیز در بیدستر متداول است که از بافت‌های معمول در این نوع ذخایر به شمار می‌رود.

بخشی از حفره‌ها در سیلیس حفره‌ای و همین‌طور درز و شکستگی‌ها با سیلیس نسل دوم که گاه با پیریت ریزدانه همراه است، پر شده است. کانی‌سازی طلا بیشتر همراه با این سیمان سیلیس نسل دوم رخ داده است. در واقع، تشکیل پهنه‌های سیلیس بازمانده با بافت حفره‌ای، که با افزایش نفوذپذیری سنگ میزبان همراه است، آماده‌سازی زمینه برای نفوذ سیال‌های بعدی غنی از طلا است.

خالی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها رخ می‌دهد و ساخت رگه‌ای دارد، در ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا، بیشتر کانسنگ به صورت جانشینی تشکیل می‌شود. کانی‌سازی در خارستان-بیدستر به طور عمده در پهنه‌های دگرسانی سیلیسی و سیلیسی-رسی در اطراف شکستگی‌ها و گسل‌ها، و نیز به صورت پشته‌های سیلیسی و سیلیسی-رسی دیده می‌شود که با عنوان لیتوکپ (lithocap) شناخته می‌شوند. بافت حفره‌ای که از ویژگی‌های آشکار ذخایر اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون بالا است، در بیدستر به خوبی توسعه یافته است و بخش مهمی از کانسنگ با این بافت مشاهده



شکل ۱۲- تصویرهایی از انواع اصلی کانسنگ: (a) کانسنگ سیلیسی؛ (b) کانسنگ سیلیسی-پیریتی؛ (c) کانسنگ سیلیسی-آلومینی یا سیلیسی آرژیلیک؛ (d) کانسنگ سیلیسی-اکسید آهنی.

Figure 12. Photographs showing the main ore types based on the mineralogy and texture: a) silicic; b) silicic-pyritic; c) silicic-aluminous (silicic-argillic); d) silicic-iron oxide.

فلزات گرانبها و مس همراه باشند. داده‌های اکتشاف ژئوشیمیایی محیط سنگی در ناحیه خارستان-بیدستر نشانگر کانی‌سازی طلا در پهنه‌های سیلیسی و کمتر از آن در پهنه‌های سیلیسی-رسی پیرامون آن‌ها است. طلا به طور عمده به صورت ذرات زیرمیکروسکوپی وجود دارد. مقداری پیریت که در بخش‌های سطحی اکسیده شده است، به طور محلی وجود دارد.

پهنه‌های سیلیسی با بافت حفره‌ای و دگرسانی رسی پیشرفته-متوسط در اطراف آن‌ها محصول واکنش یک سیال بسیار اسیدی با سنگ‌های میزبان آتشفشانی است. سیال اسیدی می‌تواند مرتبط با جدایش فاز سیال‌های گرمایی در زرفاهای بیشتر باشد که حاصل آن جدا شدن یک فاز بخار آب غنی از مواد فرار و بنیان‌های اسیدی است که به ترازهای بالاتر مهاجرت می‌کند. تراکم این فاز بخار و ورود آن به آب زیرزمینی می‌تواند حجم‌های بزرگی از سیال به شدت اسیدی تولید کند که مسئول واکنش‌های هیدرولیتیکی است (Hemley and Jones, 1964). در این شرایط تمام کانی‌های سیلیکاتی اولیه سنگ آذرین میزبان متلاشی شده، سیلیس و کانی‌های

۴- بحث

مجموعه آتشفشانی در ناحیه خارستان-بیدستر بخشی از کمان ماگمایی جوان مکران است که در یک پهنه فرورانش فعال پدید آمده است و از این رو، این فرصت را در اختیار می‌گذارد تا فرایندهای ماگمایی و کانی‌سازی-دگرسانی گرمایی در بخش‌های بالایی این مجموعه‌ها را که در بسیاری از مجموعه‌های کمانی دیگر در ایران فرسایش یافته‌اند، بررسی کرد. سنگ‌های آتشفشانی در ناحیه تفتان عموماً گرایش کالک-آلکالین پتاسیم بالا دارند که جایگاه اصلی آن‌ها کمان‌های ماگمایی همبسته با فرورانش است.

ناحیه مورد مطالعه، با دگرسانی‌های گسترده سیلیسی و رسی مشخص می‌شود که به صورت خطی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها و همین‌طور در حجم‌های نامنظم با ابعاد متفاوت پدید آمده‌اند. بیشتر پهنه‌های سیلیسی در این ناحیه، با بافت حفره‌ای و کمتر از آن بافت توده‌ای مشخص می‌شوند و با هاله‌هایی از دگرسانی رسی پیشرفته و متوسط با گسترش متفاوت دربر گرفته شده‌اند. این آرایش دگرسانی از ویژگی‌های سامانه‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا است که می‌تواند با کانی‌سازی

این پهنه‌های سیلیسی-رسی از نظر ساخت، بافت و کانی‌شناسی، قابل مقایسه با لیتوکپ‌ها هستند که در بخش‌های بالایی سامانه‌های پورفیری پدید آمده‌اند. ذخایر طلای ناحیه تفتان از بسیاری جنبه‌ها قابل مقایسه با ذخایر اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا هستند که جایگاه اصلی آن‌ها کمان‌های ماگمایی کالک-آلکالن همبسته با فرورانش/برخورد است.

کمان ماگمایی مکران در مقایسه با مجموعه‌های ماگمایی دیگر در ایران، مانند کمر بند کرمان در بخش جنوبی کمان ارومیه-دختر و مجموعه ماگمایی البرز-آذربایجان و مجموعه آتشفشانی-نفوذی خاور ایران، به نسبت جوان است و دستخوش فرسایش چندانی نشده است؛ از این رو، فرصت مناسبی برای بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی و توان معدنی در بخش‌های بالایی کمان‌های ماگمایی را در اختیار می‌گذارد.

ثانوی غنی از آلومینیم مانند آلونیت، پیروفیلیت، کائولینیت، دیکیت و دیاسپور تشکیل می‌شوند. رخداد آلونیت فراوان و به طور محلی باریت نشانگر اکسیدی بودن سیال است. H_2S مورد نیاز برای تشکیل پیریت در اثر هیدرولیز سیال اکسیدی غنی از SO_2 و تفکیک آن به سولفات و سولفید تامین می‌شود که پدیده‌ای شناخته شده در سامانه‌های پورفیری و اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا است.

۵- نتیجه گیری

کانی‌سازی طلا در خارستان-بیدستر به طور عمده در پهنه‌های دگرسانی سیلیسی یا در واقع سیلیس بازماندی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها، و نیز به صورت پشته‌ها و توده‌های سیلیسی رخ داده است که با پهنه‌های دگرسانی رسی پیشرفته-متوسط با کانی‌های شاخص آلونیت، پیروفیلیت، دیاسپور و کائولینیت دربر گرفته شده‌اند.

کتابنگاری

- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۶۳، نقشه زمین‌شناسی نوک آباد در مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سامانی، ب.، ۱۳۶۹، بررسی پتانسیل‌های معدنی منطقه خارستان - بیدستر، شرکت توسعه علوم زمین.
- سامانی، ب.، باباخانی، ع.، ۱۳۷۲، مطالعات اکتشاف تفصیلی منطقه خارستان-بیدستر، شرکت توسعه علوم زمین.
- شرکت توسعه معادن پارس تامین، ۱۳۹۹، گزارش داخلی مطالعات ژئوشیمی اکتشافی، ۳۵۶ صفحه.
- شرکت زرناب اکتشاف، ۱۳۹۲، اکتشافات ژئوشیمیایی Soil Sampling در منطقه اکتشافی خارستان - بیدستر.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۸۸، گزارش مطالعات زمین‌شناسی و عملیات اکتشافی منطقه خارستان - بیدستر.
- شرکت ملی صنایع مس ایران، ۱۳۹۲، گزارش بررسی دگرسانی‌های منطقه خارستان - بیدستر.
- قاسمی، ب. و بومری، م.، ۱۳۹۳، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و طرز تشکیل زون‌های دگرسانی در اطراف کانی‌زایی مس در بیدستر، جنوب زاهدان، جنوب شرق ایران. ششمین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران.
- قلمقاش، ج.، اکبری، م.، جمال، ر.، ۱۴۰۱، زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژن آتشفشان تفتان: رهیافتی برای ژئودینامیک کمان ماگمایی مکران -چگای. فصلنامه علمی علوم زمین، زمستان ۱۴۰۱، دوره سی و دوم، شماره ۴، پیاپی ۱۲۶، ۸۳-۱۰۲. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.323660.1969>

References

- Arjmandzadeh, R., Alirezaei, S., and Almasi, A., 2022. Tectonomagmatic reconstruction of the Upper Mesozoic - Cenozoic Neotethyan arcs in the Lut block, East Iran : a review and synthesis. 1-25. <https://doi.org/10.55730/yer-2204-7>.
- Biabangard, H., and Moradian, A., 2008. Geology and geochemical evaluation of Taftan volcano, Sistan and Baluchestan Province, southeast of Iran. *Geochemistry* 27(4):356-369. <https://doi.org/10.1007/s11631-008-0356-z>.
- Burg, J., Kober, F., Haghypour, N., Burg, J., Kober, F., Zeilinger, G., and Ivy-ochs, S., 2019. Rate of crustal shortening and non-Coulomb behaviour of an active accretionary wedge : The folded fluvial terraces in Makran (SE, Iran), *Earth and Planetary Science Letters*, 355-356(October 2012), 187-198. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2012.09.001>.
- Cooke, D., White, N., Zhang, L.-J., Chang, Z., and Chen, H., 2017. Lithocaps - characteristics, origins and significance for porphyry and epithermal exploration. 291-294.
- Corbett, G., 2012. Structural Controls to, and Exploration for, Epithermal Au-Ag Deposits Classification of Epithermal Deposits. figure 1, 43-47.
- Deng, C., Wan, B., Dong, L., Talebian, M., Windley, B. F., Dadashzadeh, H., Mohammadi, B., and Barati, B., 2018. Miocene porphyry copper deposits in the Eastern Tethyan orogenic belt: Using Sr, O isotopes and Sr/Y ratios to predict the source of ore-related and ore-barren magmas. *Gondwana Research*, 62(March), 14-26. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2018.03.007>.
- Eftekhari-Nezhad, J., 1984. *Geological map of Nuk-Abad on a scale of 1:100,000. Geological Survey of Iran. (In Persian)*.

- Ghلامghash, J., Akbari, M., and Jamal, R., 2022. *Geology, geochemistry and petrogenesis of Taftan volcano: An approach to geodynamic of Makran-Chagai magmatic arc. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 32(4), 83–102. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.323660.1969>. (In Persian).*
- Ghasemi, B., and Boomeri, M., 2014. *Mineralography, geochemistry and formation of alteration zones, near copper mineralization of Bidester area, south Zahedan, southeast Iran, 6th conference of Iran's Economic Geology. (In Persian).*
- Hedenquist, J. W., and Arribas, A., 2022. Exploration Implications of Multiple Formation Environments of Advanced Argillic Minerals. *Economic Geology, 117(3), 609–643. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4880>.*
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., and Reynolds, T. J., 1998. Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system; Far Southeast-Lepanto porphyry and epithermal Cu-Au deposits, Philippines. *Economic Geology, 93(4), 373–404. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.93.4.373>.*
- Hedenquist, J. W., and Arribas, A., 2017. Epithermal ore deposits : first-order features relevant to exploration and assessment. SGA Biennial Meeting, August, 47–50. <https://www.researchgate.net/publication/319272359>.
- Hedenquist, J. W., and Taran, Y. A., 2013. Modeling the formation of advanced argillic lithocaps: Volcanic vapor condensation above porphyry intrusions. *Economic Geology, 108(7), 1523–1540. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.7.1523>.*
- Hemley, J. J., and Jones, W. R., 1964. Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Economic Geology, 59(4), 538–569. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.59.4.538>.*
- Holley, E. A., Bissig, T., and Monecke, T., 2016. The Veladero High-Sulfidation Epithermal Gold Deposit , El Indio-Pascua Belt , Argentina : Geochronology of Alunite and Jarosite. 311–330.
- Hovakimyan, S., Moritz, R., Tayan, R., Melkonyan, R., and Harutyunyan, M., 2019. Cenozoic strike-slip tectonics and structural controls of porphyry Cu-Mo and epithermal deposits during geodynamic evolution of the southernmost Lesser Caucasus, Tethyan metallogenic Belt. *Economic Geology, 114(7), 1301–1337. <https://doi.org/10.5382/econgeo.4662>.*
- Le Pichon, X., 1968. Sea-floor spreading and continental drift. *Journal of Geophysical Research (1896-1977), 73(12), 3661–3697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/JB073i012p03661>.*
- Mokhtari, Z., Boomeri, M., and Bagheri, S., 2015a. Application of multifractal modeling technique in systematic lithochemical survey to identify Au–Cu anomalies in the Siah-Jangal area, Southeastern of Iran. *Arabian Journal of Geosciences, 8(11), 9517–9530. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-1860-1>.*
- Mokhtari, Z., Boomeri, M., and Bagheri, S., 2015b. Digital Image Processing and Analysis Techniques for Detection of Hydrothermal Alteration Zones: A Case Study in Siah-Jangal Area, North of Taftan Volcano, Southeastern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 43(2), 363–377. <https://doi.org/10.1007/s12524-014-0422-4>.*
- National Iranian Copper Industries Company (NICICO), 2009. Report of geological studies and exploratory operations in the Kharistan-Bidestar region. (In Persian).*
- National Iranian Copper Industries Company (NICICO), 2013. Report of Investigation of the Kharistan-Bidestar region alterations. (In Persian).*
- Pars Tamin Mines Development Company, 2019. Internal Report, 356 Pages. (In Persian).*
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral systems. In *Hydrothermal Processes and Mineral Systems. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8613-7>.*
- Reed, M. H., and Palandri, J., 2006. Sulfide mineral precipitation from hydrothermal fluids. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 61(1), 609–631.*
- Richards, J. P., 2016. The Tethyan Tectonic History and Cu-Au Metallogeny of Iran. *Economic Geology Special Publication, 19, 193–212.*
- Richards, J. P., 2014. A Review of Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogen. *Acta Geologica Sinica - English Edition, 88(s2), 923–925. https://doi.org/10.1111/1755-6724.12377_13.*
- Richards, J. P., Razavi, A. M., Spell, T. L., Locock, A., Sholeh, A., and Aghazadeh, M., 2018. Magmatic evolution and porphyry–

- epithermal mineralization in the Taftan volcanic complex, southeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 95(November 2017), 258–279. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.02.018>.
- Samani, B., 1990. *Study the potential of mineralization in the Kharestan-Bideter area. Tose'e Olume Zamin Co. (In Persian)*.
- Samani, B., and Babakhani, A., 1993. *A detailed study of mineralization in the Kharestan-Bidester region, Tose'e Olume Zamin Co. (In Persian)*.
- Siddiqui, R. H., Khan, M. A., and Jan, M. Q., 2008. Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc , Baluchistan , Pakistan : Implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits. *40(2007)*, 1–23.
- Sillitoe, R. H., 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3–41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>.
- Turner, S. J., 1997. Yanacocha epithermal gold deposits, northern Peru: high-sulfidation mineralization in a flow dome setting, The. Colorado School of Mines. Arthur Lakes Library. <http://hdl.handle.net/11124/177400>.
- Zarnab Ekteshaf, 2002. *Soil sampling in the Kharestan-Bidester Exploration Area. (In Persian)*.