

Original Research Paper

Metallogeny in time and space in Sistan and Baluchestan province

Mohammad Bameri*¹

¹Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2026 April 20

Accepted: 2026 August 01

Available online: 2026 September 23

Keywords:

Sistan and Baluchestan

Collisional and post-collisional magmatism

Subduction

Metallogeny

Porphyry Cu

ABSTRACT

Sistan and Baluchestan province is located in southeastern Iran. Its geology, magmatism, and metallogeny have been largely controlled by tectonic events related to the opening and closure of the Neotethys. Several magmatic episodes have occurred in the province, some of which are particularly significant for mineralization and metallogeny. Remnants of the Neotethys oceanic crust, preserved as Cretaceous ophiolitic sequences, host mineralizations of chromium, copper, manganese, iron, titanium, and magnesium. The Cretaceous Bazman granitoids are likely associated with iron, copper, zinc, tungsten, and tin mineralization and were generated from magmas related to the subduction. Upper Eocene–Lower Oligocene subduction and collisional magmatism led to the formation of the Zahedan granitoids, and the associated hydrothermal fluids produced gold, antimony, and copper mineralization. Olig-Miocene post-collisional magmatism in the northern parts of the province resulted in the development of porphyry, epithermal, and skarn mineralization systems at Lar, Janja, Seyasteragi, Kaftarkuh, Kalegar, and Asagi. Olig-Miocene magmatism related to subduction also generated skarn iron, porphyry copper–gold, and epithermal gold mineralization in the Samsur, Mirabad, Qalehsouli, Bidster, Kuh-e Madofti, Kharestan, and Sarkahnu areas. The Plio-Quaternary subduction-related magmatism at Bazman and Taftan is particularly important for gold mineralization and geothermal energy potential.

1. Introduction

Sistan and Baluchestan province (SB) is located in the southeast of Iran and has experienced several magmatic events, some of which have played a significant role in mineralization and metallogeny in the region. In the past decade, extensive exploration programs conducted by geologists from universities, government organizations, and mining companies, there has been remarkable progress in understanding the province's mineral potential. As a

result of these efforts, important mineral deposits, some of them globally significant, have been identified and have gone through various stages of exploration and development (Fig. 1). The Janja copper deposit is one of the most important of these achievements, recognized as a world-class deposit, and extraction and development operations are ongoing. Moreover, mining activities have begun at the Lar copper and Kharestan gold mines. With full and sustainable

* Corresponding author: Mohammad Bameri; E-mail: boomeri@science.usb.ac.ir

Citation:

Bameri, M., 2026. Metallogeny in time and space in Sistan and Baluchestan province. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 36(3), 141, 55-78. <https://doi.org/10.22071/gsj.2026.578880.2248>.

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

 doi: 10.22071/gsj.2026.578880.2248

 dor: 20.1001.1.10237429.1405.36.3.3.5



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

exploitation of these mines in the coming years, the SB could become one of the most important mining areas in the country and will play a significant role in supplying Iran's metallic mineral resources. The aim of this study is to present an up-to-date view of the metallogenic and ore-forming status of the province and to clarify its position within the temporal and spatial framework of deposit formation.

The SB like other parts of Iran, is part of the Alpine-Himalayan belt and its geology is mainly related to the opening and closure of the Neotethys (Richard and Sholeh, 2016; Deng et al., 2018) and include following geological zones: Makran, Sistan suture, Central Iran, Lut, and Sanandaj-Sirjan, as well as the Zabol and Jazmourian depressions (Fig. 2). The oldest rocks in the province include the Saradar and Jamal formations of Paleozoic age, which are located in the Central Iran zone. The Bazman granitoid of Upper Cretaceous age intruded these Paleozoic units. The Cretaceous ophiolite sequence is widespread in the Makran and Sistan suture zone (Fig. 3). The Paleocene to Eocene flysch sequence is the most widespread rock sequence in Sistan and Baluchestan, outcropping in both the Makran and Sistan suture zones (Tirrul et al., 1983). These rocks have been locally affected by weak regional and dynamic metamorphism in the Sistan suture zone. Oligo-Miocene sedimentary rocks, mainly *mélange*, conglomerates, and molasses, are exposed in the Makran and Sistan suture zones. Several magmatic events ranging from the Cretaceous to Quaternary have occurred in the SB along with subduction, collision, and post-collision magmatic events leading to the formation of various igneous rocks (Camp and Griffis, 1982) (Fig. 3).

2. Research methodology

This study was based on a synthesis of published literature, theses, geological and exploration reports, field observations, and the authors' data. Geological maps, satellite imagery from Bing and Google Earth accessed through SASPlanet, and field data were integrated and processed in a GIS environment to identify and classify the metallogenic types associated with the tectonomagmatic phases of the province from oldest to youngest.

3. Results and Discussions

Mineralization and metallogeny are closely related to the magmatic events in the SB (Richards and Sholeh, 2016). Metallogeny in Sistan and Baluchestan province can be divided into different types based on time, place and tectono-magmatic events as follows: 1- Metallogeny related to the oceanic crust and ophiolitic sequence during the Cretaceous, 2- Metallogeny related to subduction of the Arabian plate below Makran during the Upper Cretaceous, 3- Metallogeny related to the Urmia-Dokhtar volcanic arc and Quaternary-Pliocene volcanic arc in north of Makran.

4- Subduction-related Metallogeny during the Paleocene-Lower Eocene period in the Sistan suture zone, 5- Metallogeny related to the closure of the Neotethys during the Upper Eocene-Oligocene in the Sistan suture zone, 6- Metallogeny related to magmatic events after the Lut and Afghan block collisions with the Sistan suture zone.

Remnants of the Neo-Tethyan oceanic crust in the Makran and Sistan Metallogeny zone are outcropped as Cretaceous ophiolite sequences. These ophiolites are important for chromium, copper, manganese, iron, and titanium (Fig. 3).

Subduction of the Arabian plate beneath Makran led to intrusion of the Bazman batholith in Paleozoic sedimentary rocks and formation of a broad contact metamorphic aureole and an alteration halo in the surrounding rocks (Fig. 4). In this metamorphic aureole, various hornfels, marble, silicified veins, and numerous metallic mineralization features can be observed, including copper, iron, boron, tungsten, and associated elements, predominantly of hydrothermal origin, and developed as skarn and vein mineralization (Ghodsi et al., 2016b).

Subduction of the Neo-Tethys ocean beneath the Lut block and Afghan block during the late Cretaceous and Eocene led to scattered magmatism in the Sistan Metallogeny zone. This magmatism occurs as both intrusive and extrusive igneous rocks. Sporadic mineralizations of copper-gold and iron are associated with this magmatism such as those of Nakhilab Au-Cu porphyry and Samsur iron skarn deposits.

The southeastern part of the Urmia-Dokhtar magmatic arc continues in the western part of Sistan and Baluchestan. It seems that two subduction events occurred in this area. The first led to widespread mineralization in Oligo-Miocene rocks, while the second created the volcanic arc in SB from the Pliocene to Quaternary, with significant volcanic centers such as Mount Bazman and Mount Taftan in Iran. Near Mount Taftan, sub-volcanic rocks and especially intermediate dykes with Oligo-Miocene and more recent ages are widely exposed in areas such as Mirabad, Qaleh Suli and Kharestan (Fig. 8), where intense alteration often are observed along with copper and gold mineralization (Mokhtari et al., 2015a and b). Intensive and extensive alteration and Au-Ag epithermal mineralization are also observed around Mount Bazman, like those of Chahnali, Shirkhan, and Bazman 2, 3, and 4.

Subduction and collision of the Neotethys led to the emplacement of the Zahedan granitoid, with age 40 to 31 million years (Camp and Griffis 1982; Mohammadi et al., 2016). As a result, antimony-gold mineralization occurs in areas such as Sefidsang, Shurchah, Tuzgi, Lakshak and Baoot, and gold mineralization in Bibimeh and Dargiaban (Figure 11). Additionally, two porphyry Cu deposits occur in Dargiaban and south of Zahedan that are related to the subvolcanic rocks of the Zahedan granitoid.

The post-collision igneous rocks mainly outcrop in a narrow strip from northeast to north and northwest of Zahedan, extending toward the Lut Block (Boomeri et al., 2019; Nazari et al., 2022). These rocks can be divided into two main types of Oligo-Miocene potassic and Pliocene sodic. The Oligo-Miocene potassic type, belonging to the calc-alkaline, high-potassium calc-alkaline, shoshonitic, alkaline, and adakitic magmatic series, is the most significant tectono-magmatic event in the province in terms of mineralization and ore formation (Boomeri et al., 2019). The mineralizations associated with these rocks include porphyry, skarn, epithermal, and mesothermal types. Currently, exploration and exploitation of copper deposits are underway at Lar, Seyasteragi, and Janja. Copper and gold potential also being of interest in Asagi, Tak Talar, and Kaftarkuh and antimony mineralization in the regions of Hyderabad, Sefidabeh, and Zhuzh.

4. Conclusion

The Bazman batholith is the result of the subduction of the Arabian Plate beneath Makran during the Upper Cretaceous, where skarn deposits, particularly copper skarns, have formed in its metamorphic aureole. The Zahedan granitoid was formed by the collision of the Lut and Afghan blocks with the Sistan Metallogeny zone, and is associated with antimony, gold, and porphyry copper mineralization. Magmatism in the Kuh-e-Lar area and in the northern and northwestern parts of Zahedan is a consequence of post-collision processes, which have generated the largest porphyry and epithermal systems in the Sistan and Baluchestan. Concurrent with the subduction that formed the Urmia-Dokhtar magmatic belt in Iran and the Chagai magmatic belt in Pakistan and Afghanistan, the subduction events of the Arabian Plate beneath the SB during the Cenozoic have continued, leading to the formation of numerous epithermal and porphyry deposits.

فلززایی در زمان و مکان در استان سیستان و بلوچستان

محمد بامری*

۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۳۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:

سیستان و بلوچستان

ماگماتیسیم برخوردی و پسابر خورده‌ای

فروران

فلززایی

مس پورفیری

چکیده

استان سیستان و بلوچستان در جنوب‌خاور ایران واقع است. زمین‌شناسی، ماگماتیسیم و فلززایی (متالوژنی) آن بیشتر تحت تأثیر رویدادهای زمین‌ساختی مرتبط با باز شدن و بسته شدن تیتس جوان (نئوتتیس) بوده است. چندین دوره ماگمایی در این استان رخ داده که برخی از آن‌ها نقش بسیار مهمی در کانه‌زایی و فلززایی استان ایفا کرده‌اند. بقایای پوسته اقیانوسی تیتس جوان که به صورت توالی‌های افیولیتی کرتاسه حفظ شده، میزبان کانه‌زایی‌های کروم، مس، منگنز، آهن، تیتانیم و منیزیم هستند. همراه با گرانیتوئیدهای بزمان مرتبط با ماگمای فروران کر تاسه، کانه‌زایی‌های آهن، مس، روی، تنگستن و قلع محتمل است. ماگماتیسیم فرورانشی و برخوردی ائوسن بالایی تا الیگوسن زیرین به تشکیل سنگ‌های آذرین کالک-آلکال و گرانیتوئیدهای زاهدان شده‌اند و سیالات گرمایی آن باعث کانه‌زایی طلا، آنتیموان و مس شده است. ماگماتیسیم پسابر خورده‌ای الیگو-میوسن در بخش شمالی استان، موجب سامانه‌های کانه‌زایی پورفیری، اپی‌ترمال و اسکارنی در مناطق لار، جانجا، سیاستراگی، کفتار کوه، کله گر و آساگی شده است. ماگماتیسیم الیگو-میوسن مرتبط با فروران همچنین موجب ایجاد کانه‌زایی آهن اسکارنی، مس-طلا پورفیری و طلا اپی‌ترمال در مناطق سمسور، میرآباد، قلعه‌صولی، بیدستر، کوه مادفی، خارستان و سرکهنو گردیده‌اند. ماگماتیسیم پلیو-کوآترن مرتبط با فروران در تفتان و بزمان از نظر کانه‌زایی طلا و پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱- پیش‌نوشتار

است (قربانی، ۱۳۸۶؛ Richards and Sholeh, 2016). چندین دوره ماگمایی در این استان رخ داده که برخی از آن‌ها نقش بسیار مهمی در کانه‌زایی و فلززایی استان ایفا کرده‌اند (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱). در دهه اخیر، به واسطه انجام برنامه‌های گسترده اکتشافی، توسط زمین‌شناسان دانشگاه، سازمان‌های دولتی و شرکت‌های معدنی، پیشرفت چشم‌گیری در شناخت پتانسیل‌های معدنی استان رخ داده است. در نتیجه این فعالیت‌ها، کانسارهای مهم و گاه در مقیاس جهانی شناسایی و مراحل مختلف اکتشاف و توسعه را طی کرده‌اند. کانسار مس جانجا یکی از مهم‌ترین این دستاوردهاست که به‌عنوان یک کانسار در کلاس جهانی شناخته می‌شود و عملیات مربوط به استخراج و توسعه آن در حال انجام است. استخراج و بهره‌برداری کانسنگ مس از معدن سیاستراگی آغاز شده و حتی در این محدوده مس خالص در حال استحصال است. معادن کوچک کروم و مس و منیزیت در بخش‌های زیادی از استان فعال است. افزون بر این، فعالیت‌های استخراجی در معادن بزرگ مس لار و طلا خارستان نیز شروع شده و در مراحل اولیه توسعه قرار دارند. در شکل ۱ محدوده‌هایی معدنی دارای پروانه بهره‌برداری نشان داده شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از ویژگی‌های

استان سیستان و بلوچستان در جنوب‌خاوری ایران واقع شده است. تاکنون آمار دقیقی و جامعی از سهم استان سیستان و بلوچستان در ذخایر معدنی کشور منتشر نشده است. با این حال شواهد موجود نشان می‌دهند که در وضعیت کنونی، این استان کم‌ترین سهم نسبی از ذخایر معدنی شناسایی‌شده ایران را دارا است؛ موضوعی که با وسعت، تنوع زمین‌شناسی و پتانسیل‌های ساختاری آن همخوانی ندارد (بومری، ۱۳۹۳). از دیدگاه اصول اکتشاف معدنی، انتظار می‌رود که میزان و تنوع منابع معدنی هر منطقه، تا حدی با وسعت، شرایط زمین‌ساختی و تاریخچه زمین‌ساختی آن متناسب باشد. بر این اساس، این استان بالقوه می‌بایست یکی از غنی‌ترین استان‌های معدنی کشور به‌شمار رود ولی در عمل، معادن بزرگ و در مقیاس جهانی و اقتصادی که به مرحله استخراج صنعتی رسیده‌اند، کمیاب است. در میان معادن فعال قدیمی استان، معدن مس چهل کوره از سال‌ها پیش مورد بهره‌برداری قرار گرفته و توانایی تولید کسناتر مس را داراست و در معدن سفیدابه و حیدرآباد، شمش آنتیموان تولید می‌شود. زمین‌شناسی، ماگماتیسیم و فلززایی (متالوژنی) این استان تا حد زیادی تحت تأثیر رویدادهای زمین‌ساختی مرتبط با باز شدن و بسته شدن اقیانوس تیتس جوان قرار داشته

* نویسنده مسئول: محمد بامری؛ E-mail: boomeri@science.usb.ac.ir

ماخذنگاری:

 بامری، م.، ۱۴۰۵، فلززایی در زمان و مکان در استان سیستان و بلوچستان. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۶(۳)، ۵۵-۷۸. <https://doi.org/10.22071/gsj.2026.578880.2248>

از وضعیت فلزازی و کانه‌زایی استان بر اساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی نویسنده و داده‌های منتشر شده زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی و ساختاری در استان، ارتباط انواع کانی‌زایی با دوره‌های زمین‌ساختی-ماگمایی و فلزازی، و تبیین جایگاه آن در چهارچوب زمانی و مکانی شکل‌گیری کانسارهاست.

کانسارها و اندیس‌های فلزی را به عنوان نمونه در استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد. با بهره‌برداری کامل و پایدار از این معادن در سال‌های آتی، استان سیستان و بلوچستان می‌تواند به یکی از قطب‌های مهم معدنی کشور تبدیل شود و نقش موثری در تامین مواد معدنی فلزی ایران ایفا کند. هدف از این بررسی، ارائه تصویری به‌روز

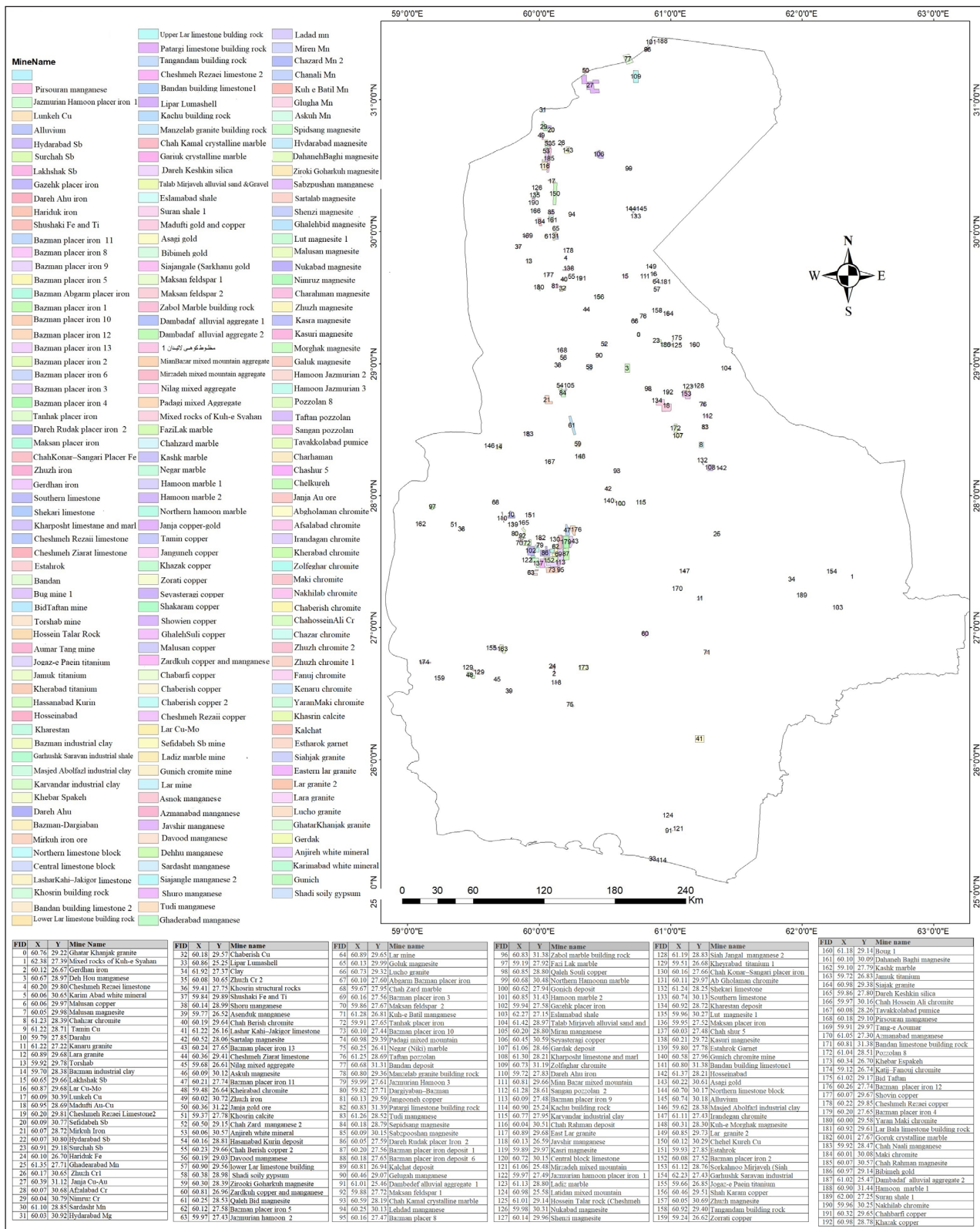


Figure 1. Map of the mining areas with exploration licenses in Sistan and Baluchestan province, the guide to the numbers on the figure is given in the lower part of the figure.

جدول ۱- مشخصات برخی از ذخایر و اندیس‌های معدنی در استان سیستان و بلوچستان.

Table 1. Characteristics of some mineral deposits and indices in Sistan and Baluchestan province.

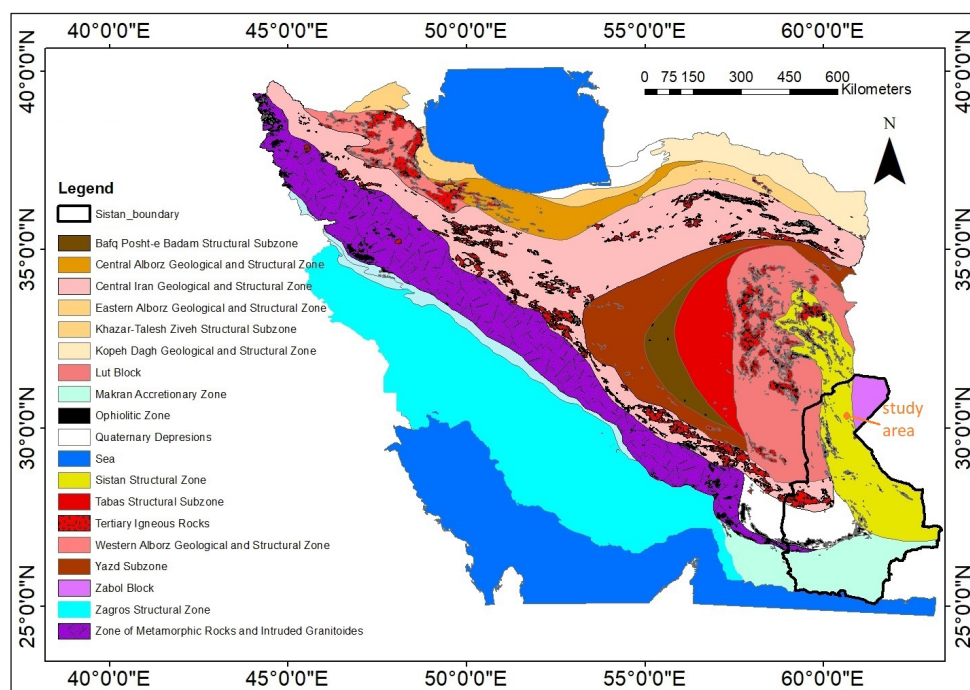
Ore deposit	Type	Host rock	Age	Shape	Tectonic setting	Reference
Cr: Chahberish, Makki, Zardgard, Talarun,	Alpine	Cretaceous ophiolite	Cretaceous	Lenticular	Supra-subduction Zone (SSZ)	Zare-Motlagh and Ariaifar (2010)
Gerbodard copper deposit	Skarn	Permian marble	Late Cretaceous	Vein	Subduction	Jamshidi (2011)
Mn: Sardasht, Espakeh, Junabad, ...	Hydrothermal	Cretaceous ophiolite, Eocene purple shale	Cretaceous-Eocene	Stratiform, Vein	Oceanic crust	Kargari (2012); Rahmatian et al. (2019)
Au: Chahnali, Bazman, and Shirkhan, ...	Epithermal	Neogene intermediate volcanic rocks	Neogene	Vein	Subduction	Boomeri et al. (2015)
Au: Kharestan-Bidester and Madofti	Epithermal, Porphyry	Neogene volcanic rocks	Neogene	Vein, Stock	Subduction	Seyed Salehi Naeini et al. (2024)
Nazil copper	Hydrothermal	Cretaceous gabbro	Oligocene	Vein	Subduction	Kadab (2012)
Qaleh Souli copper	Porphyry	Porphyritic diorite	Oligocene	Stock	Subduction	Sheyhaki (2018)
Siahjangan gold	Epithermal, Porphyry	Porphyritic diorite	Neogene	Stock, Vein	Subduction	Mokhtari (2015)
Nakhilab gold	Porphyry	Porphyritic diorite	Oligocene	Stock, Vein	Subduction	Hedayati et al. (2016)
Mirkouh (Dasht-e Samsur) iron	Skarn	Cretaceous-Eocene limestone and shale	Oligocene	Vein	Subduction	Alian (2012)
Bibimeh gold	Intrusion-related	Granite	Oligocene	Vein	Collision-related	Aghazadeh (2021)
Dargiabab gold	Epithermal, Mesothermal	Eocene flysch, Oligocene subvolcanic rocks	Oligocene	Vein	Collision-related	Bagherifar (2008)
Dargiabab copper	Porphyry	Porphyritic granodiorite	Oligocene	Stock	Collision-related	Aghazadeh (2021)
Shurchah, Sefidsang, and Tozgi antimony	Epithermal, Mesothermal	Eocene schist, Oligocene granite	Oligocene	Vein	Collision-related	Boomeri et al. (2018)
Baout antimony	Epithermal	Cretaceous gabbro, Eocene flysch	Oligocene	Vein	Collision-related	Mojadadi Moghaddam et al. (2021)
Lakhsak antimony	Epithermal, Mesothermal	Eocene schist	Oligocene	Vein	Collision-related	Mojadadi Moghaddam et al. (2022)
South Zahedan copper	Porphyry	Subvolcanic rocks	Oligocene	Stock	Collision-related	Boomeri et al. (2021)
Chahsorbi lead	Epithermal	Eocene flysch, porphyritic diorite	Oligocene	Vein	Collision-related	Boomeri et al. (2020a)
Lar copper	Porphyry, Skarn	Monzonite, hornfels, skarn, marble	Oligocene	Stock, Vein	Post-collisional	Boomeri et al. (2019)
Chelkureh copper	Hydrothermal	Eocene flysch	Oligocene-Miocene	Vein	Post-collisional	Boomeri (2015)
Hamoon copper	Hydrothermal	Gabbro, Oligocene andesite	Oligocene	Vein	Post-collisional	Narouie (2024)
Sahebdad copper	Porphyry, Skarn	Porphyritic granodiorite, hornfels	Oligocene	Stock, Vein	Post-collisional	Khodayari (2024)
Taktelard gold	Porphyry, Epithermal	Eocene flysch, subvolcanic and volcanic rocks	Oligocene	Stock, Vein	Post-collisional	Boomeri et al. (2020b)
Seyasteragi copper-molybdenum	Porphyry, Skarn, Epithermal	Eocene flysch, granodiorite, hornfels	Oligocene	Stock, Vein	Post-collisional	Boomeri (2018)
Kaftarkouh copper	Skarn, Porphyry	Eocene flysch, hornfels, marble	Oligocene	Stock, Vein	Post-collisional	Ahmadi (2016)
Janja copper-gold	Porphyry	Eocene flysch, porphyritic granodiorite	Oligocene	Stock, Vein	Subduction	Zahed (2021)
Sefidabeh antimony	Epithermal	Oligocene conglomerate	Oligocene	Vein	Post-collisional	Koohsari et al. (2025)

۲- روش پژوهش

این پژوهش بر پایه مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی مقالات، پایان‌نامه‌ها و گزارش‌های موجود، بازدیدهای صحرایی و داده‌ها و مشاهدات نگارنده انجام شده است. اطلاعات زمین‌شناسی و معدنی از منابع معتبر، از جمله نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی، گردآوری، بررسی و اصلاح شد. همچنین، نقشه‌های مورد نیاز با تلفیق داده‌های موجود و مشاهدات میدانی در محیط GIS تهیه و پردازش شدند و از تصاویر ماهواره‌ای Bing و Google Earth از طریق نرم‌افزار SASPlanet برای بررسی و تکمیل اطلاعات مکانی استفاده شد. در نهایت، انواع فلززایی (متالوژنی) مرتبط با فازهای زمین‌ساختی-ماگمایی استان، از قدیم به جدید، تفکیک و بررسی شدند.

۳- داده‌ها و اطلاعات و بحث

استان سیستان و بلوچستان همانند سایر بخش‌های ایران بخشی از کمربند آلپ-همالیا و در پهنه برخوردی بین شمال گندوانا (صفحه عربی) با اوراسیا واقع شده است. بر اساس نقشه پهنه‌های زمین‌شناسی ایران (آفانباتی، ۱۳۸۳)، بخش‌هایی از پهنه‌های مکران، زمین‌دز سیستان، ایران مرکزی، لوت و سندج-سیرجان و فرورفتگی‌های زابل و جازموریان در استان سیستان و بلوچستان برون‌زد دارند (شکل ۲). هرچند به سبب این که انتهای جنوب خاوری پهنه سندج-سیرجان با سنگ‌های اولترامافیک سرخ‌بند در استان کرمان پایان می‌یابد، برون‌زد پهنه سندج-سیرجان در این استان مورد تایید نیست (بومری، ۱۴۰۱).

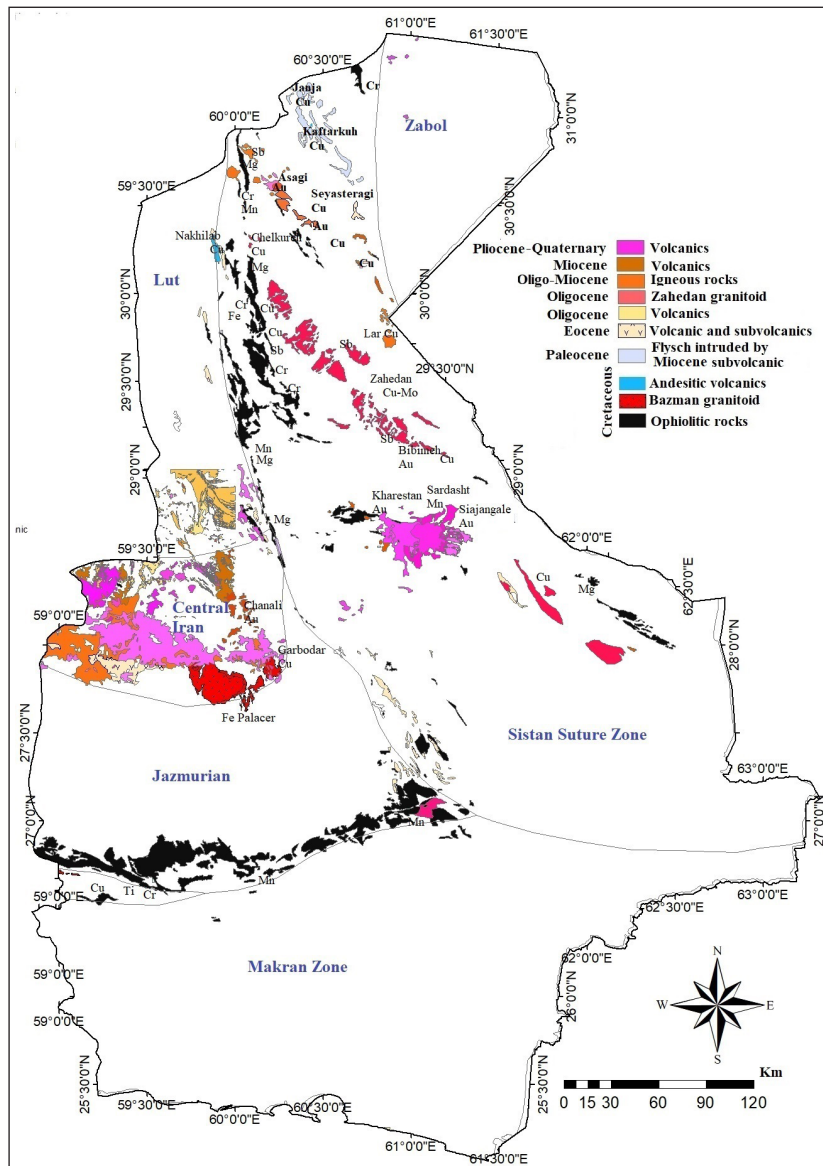


شکل ۲- نقشه پهنه‌های زمین‌شناسی ایران و موقعیت استان سیستان و بلوچستان روی آن (با تغییر از آفانباتی، ۱۳۸۳).

Figure 2. Map of Iran's geological zones and the location of Sistan and Baluchestan province on it (Modified from Aghanabati, 2004).

در پهنه مکران و هم در پهنه زمین‌دز سیستان دارای برون‌زدهای گسترده‌ای می‌باشند و بقایای پوسته اقیانوسی تتیس جوان می‌باشند. توالی فلیشی گسترده‌ترین توالی سنگی در سیستان و بلوچستان است که هم در پهنه مکران و هم در پهنه زمین‌دز سیستان برون‌زد دارند و دارای سن‌های کرتاسه تا ائوسن می‌باشند. این سنگ‌ها بیشتر شامل تناوبی از شیل، مادستون، سیلتستون، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و مارن می‌باشند که به صورت محلی در پهنه زمین‌دز دچار دگرگونی ضعیف ناحیه‌ای و دینامیکی شده‌اند. سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن بیشتر به صورت ملانژ، کنگلومرا و مولاس در پهنه‌های مکران و زمین‌دز برون‌زد دارند. در پهنه ایران مرکزی و بلوک لوت این استان، سنگ‌های آتشفشانی (ولکانیکی) ائوسن تا کواترنری کم‌وبیش گسترش دارند. در پهنه زمین‌دز سیستان همراه با فرورانش، بسته شدن و پس از بسته شدن اقیانوس تتیس جوان رویدادهای ماگمایی متعددی با سن‌های کرتاسه تا کواترنری رخ داده و تنوعی از سنگ‌های آذرین ایجاد شده که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌شود (شکل ۳).

قدیمی‌ترین سنگ‌ها در استان سیستان و بلوچستان شامل سنگ‌های پالئوزویک و به‌ویژه سازندهای سردر و جمال می‌شود که در پهنه ایران مرکزی واقع می‌شوند (وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳ الف، ب). این سنگ‌های رسوبی بخش‌هایی از گندوانای شمالی هستند که طی فازهای کوهزایی هرسی‌نین و سیمیرین پیشین شکل گرفته‌اند. سنگ‌های پرکامبرین و پالئوزویک در پهنه‌های مکران و زمین‌دز سیستان در برخی از نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی گزارش شده که با توجه به موقعیت برون‌زدهای آن‌ها، سن‌های بیان شده اشتباه به نظر می‌رسد و در حقیقت این سنگ‌ها، بخشی از توالی‌های افیولیت و فلیش‌های با سن کرتاسه بالایی -ائوسن می‌باشند و سنگ‌های قدیمی‌تر از کرتاسه در پهنه مکران و زمین‌دز سیستان وجود ندارند. قدیمی‌ترین سنگ‌هایی که در پهنه لوت در سیستان و بلوچستان برون‌زد دارند، سنگ‌های کربناته با سن کرتاسه بالایی می‌باشند. در پهنه ایران مرکزی، گرانیته بزمان با سن کرتاسه بالایی در واحدهای سنگی پالئوزویک نفوذ کرده است که از نظر زمانی با فاز کوهزایی لارامید تطابق دارد. توالی افیولیتی با سن کرتاسه بالایی هم



شکل ۳- انواع سنگ‌های آذرین و کانسارهای مرتبط با آن‌ها در استان سیستان و بلوچستان.

Figure 3. Igneous rocks types and their related ore deposits in Sistan and Baluchestan.

۳-۱- فلززایی

جایگیری مجموعه‌های افیولیتی، کرتاسه بالایی و پیش از انوسن گزارش شده (Lippard et al., 1986؛ دلوری و توکلی، ۱۴۰۴). بخش‌هایی از توالی‌های افیولیتی در دوره‌های بدتر با مجموعه‌های فلیشی مخلوط شده و به تشکیل آمیزه‌های زمین‌ساختی گسترده‌ای انجامیده‌اند (Delaloye and Desmons, 1980). افیولیت‌های پهنه مکران در استان سیستان و بلوچستان در مناطق فوج-مسکوتان و ایرانشهر برون‌زد دارند. این افیولیت‌ها از شمال اسفندقه تا حاجی‌آباد به طول ۳۶۰ کیلومتر با روند باختری-خاوری گسترش دارند (تاجور و همکاران، ۱۴۰۰). افیولیت‌ها در پهنه زمین‌درز سیستان دارای روند شمالی-جنوبی و شمال‌باختر-جنوب‌خاور می‌باشند و شامل زیرپهنه افیولیتی نه و زیرپهنه افیولیتی رتوک و بندان می‌شوند که ۳۰ درصد آن‌ها از افیولیت تشکیل شده است (Tirrul et al., 1983). حد فاصل بین این دو پهنه به حوضه سفیدابه مشهور است که این حوضه نیز دارای برون‌زدهای افیولیتی می‌باشد. افیولیت‌ها در مجموعه نه دارای دو روند است، دسته‌ای که در باختر نصرت‌آباد است با روند شمالی-جنوبی به سمت کورین و باختر خاش ادامه پیدا می‌کند و دسته‌ای که در خاور نصرت‌آباد بوده و از چهل کوره به سمت دومک و کوه تفتان ادامه یافته و تا حاشیه باختری دشت تهراب در نزدیکی مرز پاکستان می‌رسند (قلعه نوعی، ۱۳۹۰). ادامه نوار افیولیتی نه به سوی جنوب تا ایرانشهر ادامه دارد و در نهایت با افیولیت‌های پهنه مکران در هم می‌آمیزد. برون‌زدهای حوضه سفیدابه هم به طور ناپیوسته از خاور

فلززایی در استان سیستان و بلوچستان را بر مبنای زمان و مکان و رویداد ماگمایی می‌توان به انواع مختلفی به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد: ۱- فلززایی مرتبط به پوسته اقیانوسی و مجموعه افیولیتی طی کرتاسه، ۲- فلززایی مرتبط به فروانش صفحه عربی به زیر مکران طی کرتاسه بالایی، ۳- فلززایی مرتبط با کمان آتشفشانی ارومیه -دختر و کمان آتشفشانی پلیوسن-کواترنری شمال مکران، ۴- فلززایی مرتبط به فروانش در دوره پالئوسن -انوسن زیرین در پهنه زمین‌درز سیستان، ۵- فلززایی مرتبط به بسته شدن تیس‌جوان در انوسن بالایی-الیگوسن در پهنه زمین‌درز سیستان، ۶- فلززایی مرتبط با رویدادهای ماگمایی پس‌برخورد بلوک لوت و افغان با پهنه زمین‌درز سیستان.

۳-۱-۱- فلززایی مرتبط به پوسته اقیانوسی و مجموعه افیولیتی

توالی‌های افیولیتی در استان سیستان و بلوچستان از گسترش زیادی برخوردار می‌باشند و هم در پهنه زمین‌درز سیستان و هم در پهنه مکران، قدیمی‌ترین توالی‌های سنگی می‌باشند (Shafaii Moghadam and Stern, 2015; Khalatbari Jafari et al., 2013) (شکل ۳). این مجموعه‌ها بقایای پوسته اقیانوس تیس‌جوان می‌باشند. بازشدن و تشکیل تیس‌جوان در خاور ایران از اوایل تریاس و کمی جلوتر شروع و در کرتاسه پایانی-ترشیاری بسته شده است. در استان سیستان و بلوچستان سن

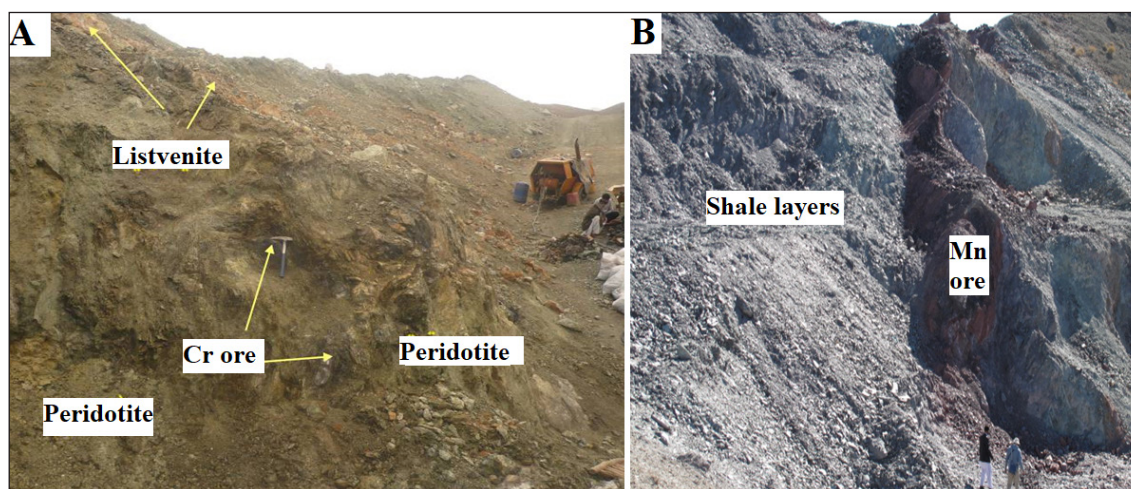
قبرس می‌باشند. کانسنگ‌های منگنز (برای مثال کانسار منگنز سردشت و جون‌آباد) بیشتر همراه با شیل‌های قرمز به شکل رگه‌ای می‌باشند که این‌ها هم در ارتباط با چشمه‌های آب گرم زیردریایی تشکیل شدند (شکل ۴-۲). منشا تمام کانسارهای اولیه و درون‌زاد همراه با افیولیت مثل خودشان وابسته به تشکیل و تکامل پوسته اقیانوسی و شیوه جایگزینی آن‌ها در قاره‌ها می‌باشد. جایگاه زمین‌ساختی افیولیت‌ها در استان بر اساس ژئوشیمی کل سنگ‌های بازالتی (مثلا در توالی افیولیتی نصرت‌آباد، چشمه زیارت و دومک در پهنه زمین‌درز)، پشته‌های میان‌اقیانوسی یا مورب می‌باشد (بومری، ۱۴۰۱) در حالی که بر اساس شیمی کانی‌هایی مثل اولیون، ارتوپروکسن و کرومیت در سنگ‌های اولترامافیک و کرومیت‌های این منطقه، جزایر کمائی می‌باشد (بومری، ۱۴۰۱) و با توجه به محتوای بالای Cr و میزان پایین TiO_2 در کرومیت، ترکیب ماگمای سازنده آن‌ها در حدود نواحی پیش‌کمائی (محدوده یونینیت‌ها) قرار می‌گیرد (بومری، ۱۴۰۱). یونینیت‌ها ماگماهای آندزیتی-بازالتی غنی از Cr-Ni-Mg می‌باشند که در نواحی فرورانش حاشیه قاره‌ها (نواحی پیش‌کمائی) از ذوب بخشی سنگ‌های گوشته بالایی ایجاد می‌شوند (Arai and Yurimoto, 1994). در واقع، بر اساس شیمی کانی‌ها، جایگاه زمین‌ساختی افیولیت‌های پهنه زمین‌درز سیستان در منطقه فرافروانش (سوپراسابداکشن) می‌باشد (بومری، ۱۴۰۱).

افزون بر این، معادن متعددی از منیزیت (نوک‌آباد، قلعه بید کورین، ترشاب، دهنه باغی، زیروکی)، تالک (سیاه بره‌خوار، مانش، سران) و گل سفید (کریم‌آباد، چاه رحمان) در این سنگ‌ها به بهره‌برداری رسیده‌اند (بومری، ۱۳۹۶). معادن آزیست حاجات تنها معدن پنبه نسوز ایران بود که فعلاً متروک شده است.

کوه آساگی و باختر سفیدابه تا شمال و جنوب زاهدان ادامه دارند. افیولیت‌های رتوک در شمال خاور استان برون‌زد دارند و شامل افیولیت‌های بندان می‌شود. افیولیت‌های استان سیستان و بلوچستان از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های آذرین اولترامافیک، مافیک، حدواسط و اسیدی و سنگ‌های رسوبی می‌شوند که سنگ‌های اولترامافیک متداول شامل پریدوتیت و کرومیت، سنگ‌های مافیک شامل گابرو، دیاباز و بازالت‌های بالشی، سنگ‌های حدواسط بیشتر شامل دیوریت و آندزیت و سنگ‌های اسیدی شامل پلاژیوگرنیت، داسیت و ریولیت می‌باشند (ریگی، ۱۴۰۱). پریدوتیت‌ها در توالی‌های افیولیتی استان اغلب به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند.

توالی‌های افیولیتی از نظر فلز زایی برای استان سیستان و بلوچستان پربار بوده و میزبان کانی‌زایی‌های کروم، منگنز، مس، آهن، تیتانیم می‌باشند. پریدوتیت‌های دگرسان شده برای اکتشاف و استخراج تالک، آزیست و منیزیت نیز مهم می‌باشند. از مهم‌ترین معادن در افیولیت‌های استان، می‌توان به معادن کروم مدانچ، آب غلامان، چاه حسینعلی، گونیچ، چهار، ژور و چاه بریش، معادن منگنز آسن دوک، خیبر، اسپکه، جون‌آباد و سردشت، معادن تیتانیم جاموک و جوگر، معدن مس ذرتی (فونج)، معدن آهن گردهان و اندیس نیکل طاه‌ا اشاره نمود.

کانسارهای کروم استان از نوع آلپی هستند که بیشتر به شکل عدسی‌های کوچک در پریدوتیت‌های سرپانتینیت شده مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۲). کانسارهای تیتان و آهن ماگمایی نیز کوچک و بیشتر همراه با گابرو می‌باشند. برخی از اندیس‌های آهن همراه با افیولیت‌ها بر اثر فرایند‌های سوپرژن و از تجزیه رگه‌های سولفیدی حاصل شدند. اندیس‌های مس در این توالی‌ها اغلب رگه‌ای و گاه عدسی می‌باشند که مرتبط با چشمه‌های آب گرم زیردریایی و مشابه با سولفیدهای توده‌ای نوع



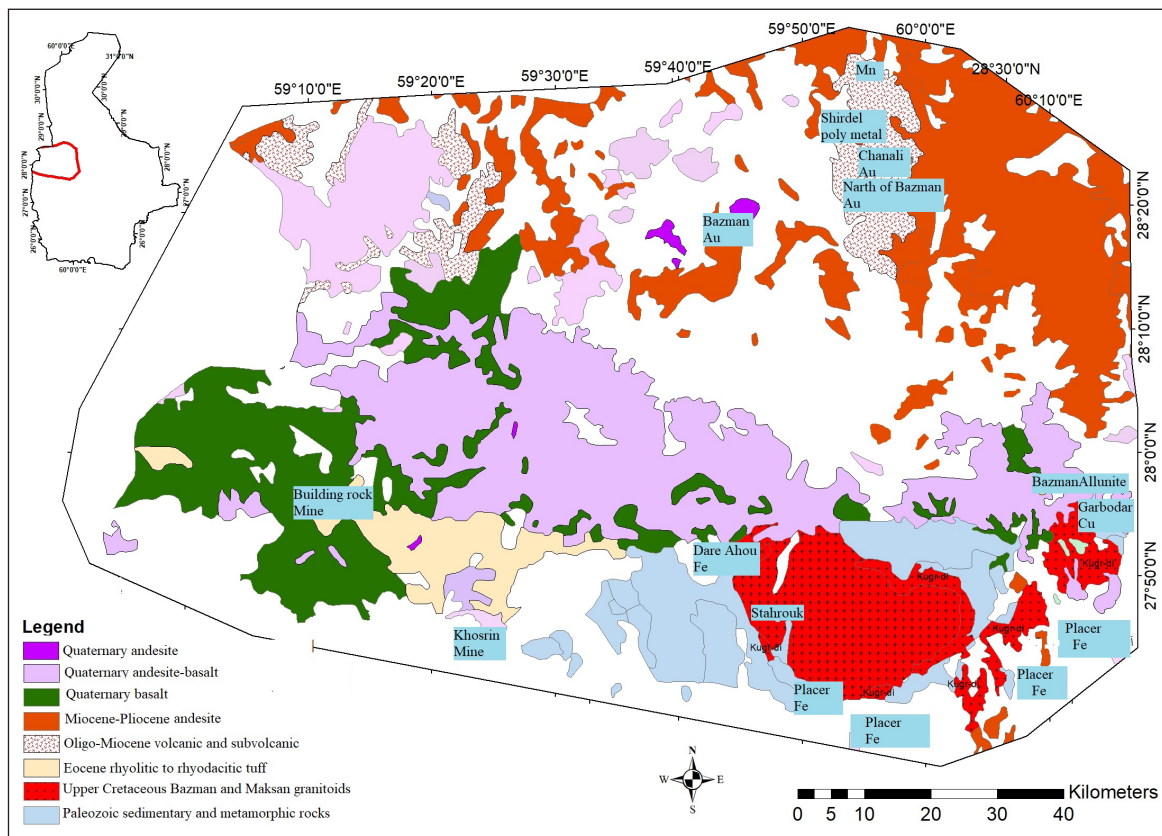
شکل ۴-۲ عکس صحرایی از کانی‌زایی، (A) کروم به شکل عدسی (لنز) در معدن چاپریش و، (B) منگنز به شکل رگه در معدن سردشت.

Figure 4. Field photograph of mineralization of, A) Chromium as lens in Chabrish mine and, B) Manganese as vein in Sardasht mine.

شامل سنگ‌های گابرو، دیوریت، گرانودیوریت، گرانیت و گرانیت پورفیری است. در مقابل، بخش خاوری باتولیت به‌طور عمده از بیوتیت گرانیت، بیوتیت-هورنبلند گرانیت و بیوتیت-مسکوویت گرانیت تشکیل شده است. گرانیتوئیدهای بزمان به‌طور عمده از نوع I بوده و از نظر شیمیایی متاآلومینوس تا پرآلومینوس، کالک-آلکالن پتاسیم بالا و مرتبط با فرورانش حاشیه قاره‌ای هستند. سن‌سنجی‌های انجام‌شده، سن این باتولیت را در بازه ۸۳ تا ۷۲ میلیون سال پیش، متناظر با کرتاسه پایانی، تعیین کرده‌اند (Berberian et al., 1982; Ghodsi et al., 2016a). ۱۳۹۰؛ قدسی و همکاران، ۱۳۹۴).

۳-۱-۲- فلز زایی مرتبط به فرورانش صفحه عربی به زیر مکران در کرتاسه بالایی

باتولیت بزمان در شمال‌باختر ایران‌شهر، در نواحی بزمان و مکسان در پهنه زمین‌شناسی ایران مرکزی واقع است (شکل ۵). این باتولیت در واحدهای سنگی پالئوزوئیک نفوذ کرده و یکی از مهم‌ترین توده‌های نفوذی جنوب‌خاور ایران به‌شمار می‌رود (وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳). باتولیت بزمان حدود ۹۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد و قابل تفکیک به دو بخش خاوری و باختری است. بخش باختری باتولیت بزمان دارای منطقه‌بندی مشخصی از حاشیه به مرکز بوده و

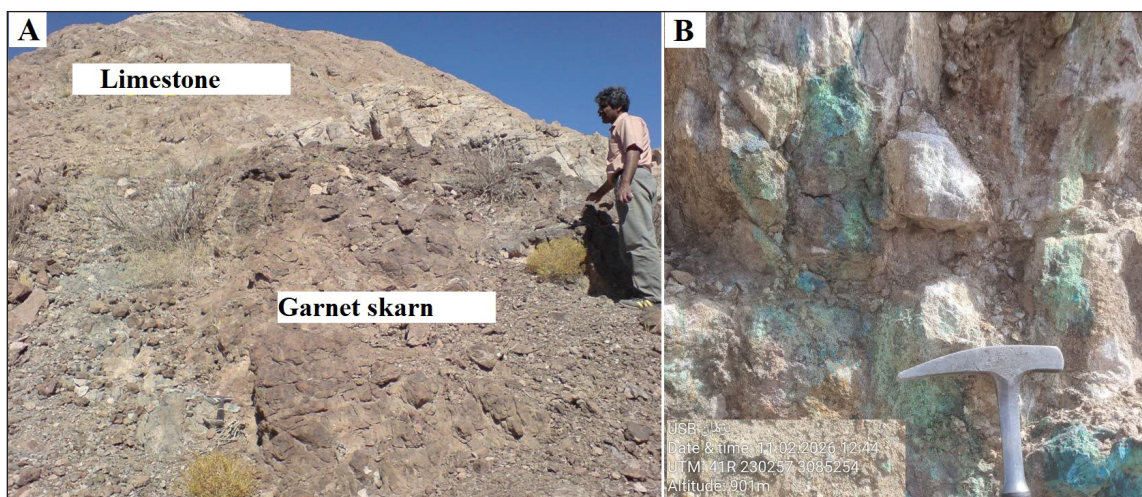


شکل ۵- نقشه زمین‌شناسی ساده شده از پهنه ایران مرکزی در استان سیستان و بلوچستان و محل بعضی از کانسارها روی آن.

Figure 5. A simplified geological map of the Central Iran zone in Sistan and Baluchestan province and location of some ore deposit on it.

از مهم‌ترین ذخایر و معادن مرتبط با این رویداد ماگمایی می‌توان به کانسار آهن دره آهو و کانسار مس گربودر، استحرک، دره آهو و مکسان اشاره کرد. بیشتر کانی‌زایی‌های مرتبط با این توده از نوع اسکارن می‌باشد و پتانسیل کانی‌زایی نوع پورفیری نیز وجود دارد. به عنوان مثال، کانسار مس گربودر در حاشیه شمال خاور باتولیت بزمان در پهنه اسکارن بین سنگ‌های کربناته سازنده جمال با سن پرمین (مرمر) و گرانودیوریت کرتاسه بالایی واقع شده است (شکل‌های ۵ و ۶-A). این پهنه اسکارنی به انواع اسکارن‌های کلسیکی و منیزیمی قابل تفکیک است (جمشیدی، ۱۳۹۰). در اینجا، اسکارن نوع کلسیکی با گسترش گارنت نوع گروسولار-آندرادیت و پیروکسن نوع هدنبریت و اسکارن منیزیمی به وسیله اولیوین و سرپانتین تشخیص داده شده است (جمشیدی، ۱۳۹۰). کانی‌زایی مس سولفیدی به صورت رگه‌ای و پراکنده در اسکارن و توده نفوذی رخ داده است که در مرحله سوپرژن به کربنات مس، سیلیکات مس و فسفات مس تجزیه شدند (شکل ۶-B). داده‌های حاصل از آنالیزهای مختلف نشان می‌دهند که تمرکز و تجمع مس در پهنه اسکارنی غنی از گارنت، و تمرکز سرب و روی در پهنه اسکارنی غنی از پیروکسن قرار دارد (Jamshidi, 2011). افزون بر کانی‌زایی‌های فلزی، ذخایر متعددی از مواد معدنی غیرفلز نیز در ارتباط با این رویداد ماگمایی و دگرگونی مجاورتی شناسایی و در حال بهره‌برداری هستند که از جمله آن‌ها می‌توان به فلدسپات (کانسار فلدسپات مکسان، سیلیس (درگیان و دره آهو)، سنگ چینی (استحرک)، مرمر، تراورتن، گرانیت، گارنت (دره کشکین) و آندالوزیت اشاره کرد (بومری، ۱۳۹۳). کانسارهای آهن پلاسری زیادی به موازات حاشیه جنوبی گرانیتوید بزمان (بخش باختری) در آبراهه و رسوبات کواترنری یافت می‌شود (شکل ۵).

سنگ‌های میزبان باتولیت بزمان واحدهای رسوبی سازنده سردر (کربنفر) شامل شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک، و همچنین سازنده جمال (پرمین) شامل سنگ آهک و دولومیت می‌باشند. در برخی نواحی، این توده نفوذی توسط واحدهای رسوبی معادل سازنده سرخ بالایی و نیز سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر پوشیده شده است (سهنی و پاداشی، ۱۳۸۴؛ وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳ الف). سنگ‌های آتشفشانی دیگری که در این بخش از پهنه ایران مرکزی وجود دارد، شامل آندزیت‌های پالئوسن میانی، سنگ‌های آذرآواری (پیروکلاستیک) اسیدی ائوسن و سنگ‌های آتشفشانی و زیر آتشفشانی الیگوسن است (شکل ۵) که ممکن است مرتبط با ادامه کمان آتشفشانی ارومیه-دختر در سیستان و بلوچستان باشند. نفوذ باتولیت بزمان در سنگ‌های پالئوزویک موجب شکل‌گیری یک هاله دگرگونی مجاورتی گسترده و دگرسانی در سنگ‌های دربرگیرنده شده است. در این هاله دگرگونی، انواع هورنفلس، مرمر، رگه‌های سیلیسی شده و شواهد گوناگونی از کانی‌زایی فلزی مشاهده می‌شود. این کانی‌زایی‌ها شامل عناصر مس، آهن، بور، تنگستن و عناصر وابسته بوده و به‌طور عمده ماهیت گرمایی دارند و در قالب کانی‌زایی‌های اسکارنی و رگه‌ای گسترش یافته‌اند (بومری، ۱۳۹۳). ویژگی‌های ژئوشیمیایی و زمین‌ساختی گرانیتویدهای بزمان، از جمله ماهیت کماتی نوع I و ترکیب کالک-آلکالن پتاسیم بالا، نشان می‌دهد که ماگماهای مولد این توده‌ها تا حد زیادی برای تشکیل اسکارن‌های مس و آهن مرتبط با گرانیتویدها بارور بوده‌اند (Ghodsi et al., 2016b). باتولیت بزمان حاصل رویداد ماگمایی مرتبط با فرایند فرورانش صفحه عربی به زیر مکران و بلوک لوت در دوران مزوزویک در کرتاسه بالایی است. این باتولیت احتمالاً همزمان با فرورانشی است که توده‌های نفوذی کرتاسه بالایی را در پهنه سندر-سیرجان به وجود آورده است.



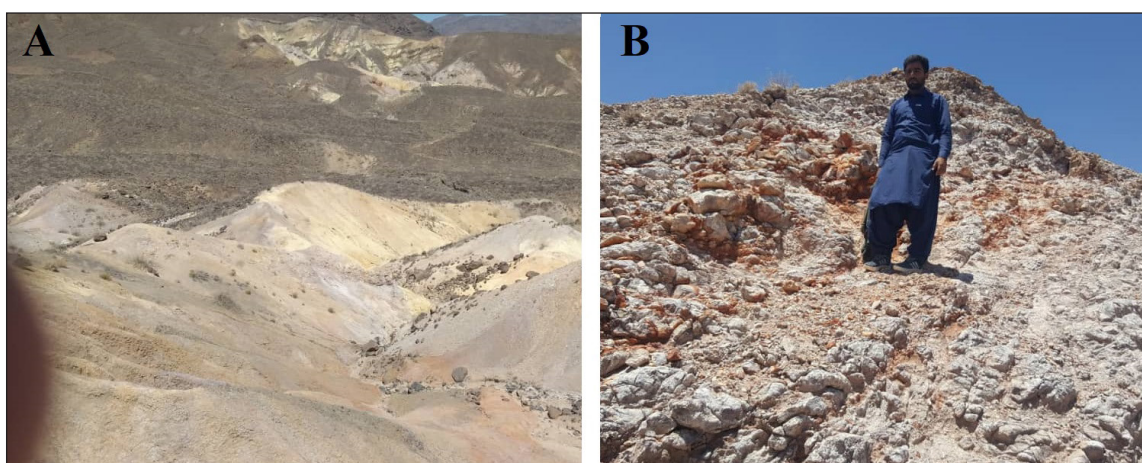
شکل ۶- عکس‌های صحرایی از کانسار مس گربودر. (A) برون‌زد اسکارن در همپری بین سنگ‌های کربناته و گرانیت (دید رو به شمال). (B) کانی‌زایی مس در گارنت اسکارن از نمای نزدیک.

Figure 6. Field photographs of the Garbauder copper deposit. A) Skarn outcropping in the contact between carbonate rocks and granite (view toward north). B) Copper mineralization in skarn garnet from a close-up view.

دختر در باختر استان سیستان و بلوچستان ادامه دارد. سنگ‌های نیمه‌ژرف به شکل استوک در منطقه هودیان دلگان به سمت ریگان کرمان در سنگ‌های رسوبی پالئوسن نفوذ کرده‌اند. هرچند در اینجا، سنگ‌های آتشفشانی کواترنری، بخش زیادی از توده‌های نیمه نفوذی الیگوسن و میوسن را پوشاندند (شکل ۵) با این وجود دگرسانی‌های گسترده در شمال هودیان و جنوب مسجد ابوالفضل دیده می‌شود که متمرکز بر این توده‌ها است (شکل‌های A-۷ و B). این توده‌ها، پتانسیل‌های معدنی مناسبی برای مطالعات اکتشافی در آینده می‌باشند. برای شناسایی و پی‌جویی آن‌ها می‌توان از روش‌های دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی استفاده کرد.

۳-۱-۳- فلز زایی مرتبط با کمان ماگمایی ارومیه-دختر و کمان آتشفشانی جوان شمال مکران

یکی از مهم‌ترین کمان‌های ماگمایی در ایران که میزان کانسارهای بزرگی است، کمان ماگمایی ارومیه-دختر می‌باشد. این کمان که به موازات نوار سندج-سیرجان و کمر بند زاگرس می‌باشد، مهم‌ترین کمر بند فلز زایی مس و طلای ایران است. این کمر بند معلول فازهای کوهزایی آلپی از زمان مزوزویک تا اواخر سنوزویک است. بیشتر کانسارهای مس پورفیری ایران هم در این کمر بند قرار دارند (Bazin and Hubner, 1969; Jonkovic, 1977; Forster, 1978; Shahabpour, 1982; Dimitrijevic et al., 1971). بخش جنوب‌خاوری کمان ماگمایی ارومیه-



شکل ۷- عکس صحرایی از برون‌زدهای دگرسان شده در زیر سنگ‌های آتشفشانی کواترنری شمال خاور روستای هودیان. (A) دیوریت‌هایی که دچار دگرسانی آرژیلیک شدند. (B) دیوریت‌هایی که دچار دگرسانی سیلیسی شدند.

Figure 7. Field photograph of altered outcrops overlaid by Quaternary volcanic rocks in the northeast of Houdian village. A) Diorites that underwent argillic alteration. B) Diorites that underwent silicic alteration.

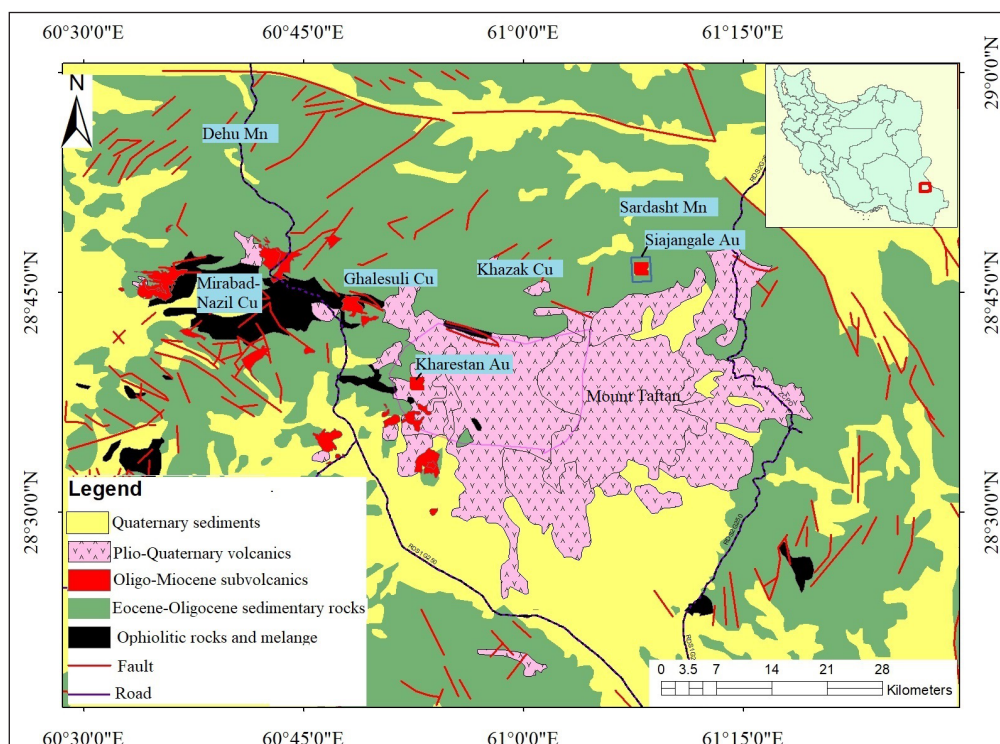
خروج گاز و چشمه‌های آب گرم هنوز در اطراف آن‌ها فعال هست. در طول این نوار آثار و گدازه‌های آتشفشانی متعددی وجود دارد.

آثار دگرسانی شدید کانی‌زایی طلا و نقره‌ای ترمال در اطراف کوه بزمان دیده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به چاه‌نعلی، شیرخان و بزمان ۲، ۳ و بزمان ۴ و غیره اشاره کرد (شکل ۵). سنگ‌های آذرین این منطقه شامل سنگ‌های نیمه‌آتشفشانی (ساب‌ولکانیک) کالک-آلکانل از الیگوسن تا آتشفشانی‌های کواترنری می‌شوند. در محدوده‌های چاه‌نعلی دگرسانی‌های شدید و گسترده و به‌ویژه دگرسانی سیلیسی و آرژیلیک همراه با کانی‌زایی طلا و نقره و فلزات پایه دیده می‌شود تشکیل رگه‌های سیلیسی آگاتی در این محدوده شایان توجه است (بومری و همکاران، ۱۳۹۳). کارهای اکتشافی گسترده‌ای توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی در این محدوده‌ها در حال انجام است.

در نزدیکی کوه تفتان، توده‌های نیمه‌آتشفشانی و به‌ویژه دایک‌های حدواسط با سن الیگو-میوسن و جدیدتر به صورت گسترده در میرآباد، نازیل، قلعه صولی، خارستان، بیدستر، کوه مادوفتی، سرکهنو (سیاه جنگل) برون‌زد دارند (شکل ۸) و دگرسانی شدید و گسترده‌ای که گاه همراه با کانی‌زایی مس و طلا هست در این مناطق دیده می‌شود (Mokhtari et al., 2015a and b؛ کداب، ۱۳۹۰؛ شیحکی، ۱۳۹۶). این سنگ‌ها نیز کالک-آلکانل و متعلق به جایگاه زمین‌ساختی فرورانش حاشیه قاره می‌باشند و برای شناسایی کانسارهای پورفیری و اپی ترمال پتانسیل دارند. در محدوده خارستان-بیدستر و مادوفتی استخراج کانسنگ‌های طلا شروع شده است. برای این کانسار در ۳ بلوک تقریباً ۳۰ میلیون تن کانسنگ اندازه‌گیری شده (قطعی) با متوسط عیار ۱/۰۶ گرم در تن طلا و حدود ۶۹۶ هزار تن با متوسط عیار ۰/۴۵ درصد مس، تخمین زده شده است.

تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر به موجب فرورانش تیس جوان از جنوب باختر به زیر زاگرس می‌باشد. اما ادامه این کمان به سمت سیستان و بلوچستان و پاکستان در این دوره به فرورانش صفحه عربی به زیر بلوک لوت، پهنه زمین‌درز سیستان، کمان ماگمایی چاغی و بلوک افغان در آن زمان نسبت داده می‌شود که موجب ماگماتیسیم‌های پراکنده‌ای در ایران و ماگماتیسیم‌های گسترده‌ای در کمان ماگمایی چاغی در پاکستان شده است. در کمان ماگمایی چاغی در پاکستان حدود ۴۸ کانسار و اندیس مس پورفیری و مس-طلای پورفیری گزارش شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به سیندک و ریکودیک اشاره کرد (Perelló et al., 2008). این کانسارها مرتبط به استوک‌های نیمه نفوذی می‌باشند که بیشتر آن‌ها دارای ترکیب دیوریت پورفیری-گرانودیوریت پورفیری کالک-آلکانل با سن ائوسن میانی، میوسن و پلیوسن هستند.

در جنوب خاور ایران از باختر کوه بزمان و جنوب جیرفت تا جنوب باختر پاکستان و افغانستان در خاور، مراکز آتشفشانی جوانی دیده می‌شوند که متعلق به کمان آتشفشانی پلیوسن-کواترنری شمال مکران می‌باشند (بومری، ۱۳۹۳). کوه‌های آتشفشانی شاهسواران، بزمان، چاه‌شاهی و تفتان در ایران، سلطان در پاکستان و کوه آتشفشانی خان‌نشین در افغانستان نیز در همین راستا است و حاصل فعالیت‌های اخیر فرورانش دریای عمان و اقیانوس هند می‌باشند. پهنه مکران نوعی منشور برافزاینده است که در فرا دیواره یک حوضه فرورانش کم‌ژرفا جای دارد. در این ناحیه، اگرچه عمل فرورانش از کرتاسه پیشین آغاز شده، ولی هنوز برخورد نهایی صفحه‌ها صورت نگرفته است. به همین رو، در حال حاضر عمل کوهزایی در مکران همچنان در حال انجام است. کوه‌های بزمان و تفتان مرتفع‌ترین آتشفشان‌های چین‌های (استراتولکان) در استان سیستان و بلوچستان می‌باشند که از ماگماهای کالک-آلکانل حاصل شدند.

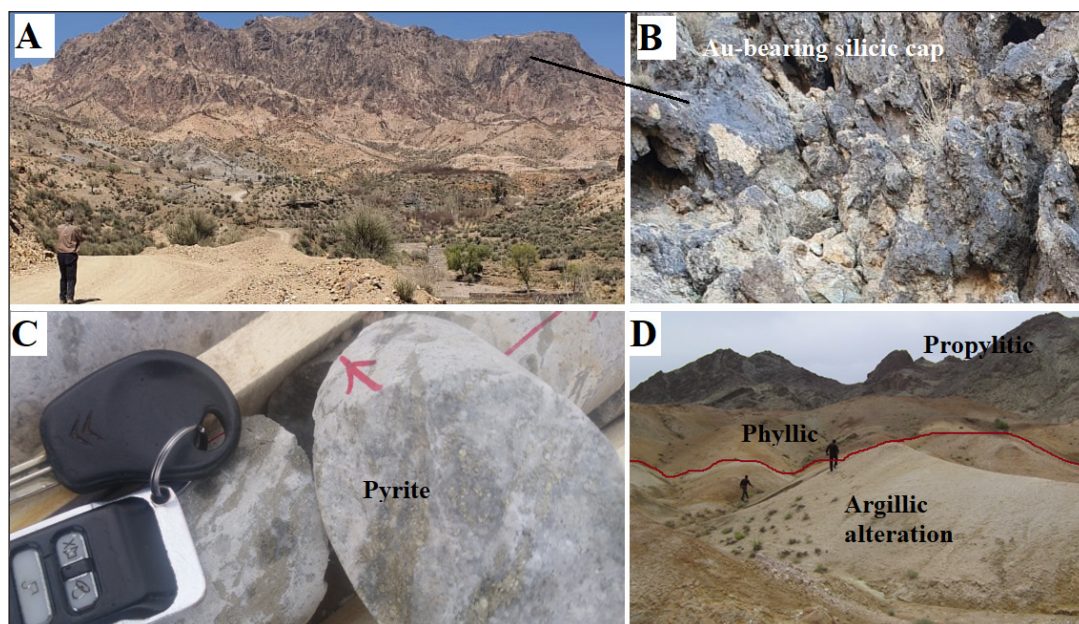


شکل ۸- نقشه زمین‌شناسی ساده شده از نواحی خارستان، بیدستر، سیاجنگل و کوه تفتان و محل بعضی از کانسارها روی آن.

Figure 8. A simplified geological map of Kharestan, Bidster, Sijangal and Mount Taftan areas and location of some ore deposit on it.

بیشتر از ۱ و بیشینه ۲۶ گرم در تن نیز گزارش شده است (Boomeri and Mokhtari, 2016). ویژگی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، دگرسانی، و ژنز کانی‌زایی طلا در این محدوده بارها بررسی شده است (Mokhtari et al., 2015a, 2015b Boomeri and Mokhtari, 2016). بر اساس این مطالعات، در محدوده سیاجنگل (سرکهنو) توده‌های نفوذی دیوریتی با سن میوسن در فلیش‌ها نفوذ کرده و سبب کانی‌زایی پیریت و دگرسانی گسترده‌ای در سنگ‌های میزبان و خودشان شده‌اند. در این محدوده، سولفیدهای درون‌زاد شامل پیریت به مقدار زیاد (شکل ۹-۱) و کالکوپیریت و گالن به مقدار جرئی و محصولات برون‌زاد شامل هیدرواکسیدهای آهن و به‌ندرت کربنات‌های مس می‌باشند. انواع دگرسانی‌ها شامل پروپلیتیک، آرژیلیک و فلیک است (شکل ۹-۲). رگه‌های سیلیسی متعددی نیز در این محدوده وجود دارند که احتمالاً با دگرسانی پتاسیک در ژرفا مرتبط باشند. بررسی سیالات در گیر در رگه سیلیسی در این محدوده نشان دهنده دمای تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری تا ۸۰ درصد وزنی نمک طعام برای این سیالات است (Boomeri and Mokhtari, 2016). الگوی دگرسانی سنگ‌های میزبان و دما و شوری سیال شبیه کانسارهای پورفیری است. افزون بر این، کانی‌زایی رگه‌ای در راستای گسل‌ها و درزه‌های شمال‌خاوری با عیار تا ۱۰ پی پی ام طلا رخ داده است. این رگه‌ها که در زمان باستان تا ژرفای زیادی به طور شدادی استخراج شدند، از نوع اپی‌ترمال می‌باشند (Boomeri and Mokhtari, 2016).

یک واحد نیمه‌ژرف داسیتی در منطقه خارستان شامل بیدستر، مادوفتی و تیلویی دارای دگرسانی‌های سیلیسی، فلیک و آرژیلیکی می‌باشد. گسترش دگرسانی در جنوب‌خاور محدوده (محدوده بیدستر) حدود ۸ کیلومتر مربع و در نواحی شمال‌باختر (خارستان) ۷/۳ کیلومتر مربع می‌باشد. در برخی از قسمت‌ها رگه و رگچه‌های سیلیسی با روند‌های مختلف در آن‌ها نفوذ کرده‌اند که احتمال کانی‌سازی طلا دارند. این پهنه دگرسان شده در برخی از قسمت‌ها کاملاً برشی شده و به صورت محلی، کانی‌های اکسیدی و سولفیدی مس (مالاکیت و آزوریت و کالکوسیت) در آن مشاهده می‌شود. این کانی‌سازی‌ها در کوه مادافتی در چندین نقطه مشاهده شده است. بیشتر رگه‌ها و پوشش‌های سیلیسی در محدوده خارستان و بیدستر در اکتشافات سطحی و ژرفی دارای عیار طلا بوده است. سبترترین پوشش سیلیسی (داسیت سیلیسی) در کوه مادافتی قرار دارد که سبتر برای میانگین آن حدود ۱۰۰ متر می‌باشد (شکل ۹-۲ و ۹-۳). ساختارهای اپی‌ترمال در تیلویی و خارستان در برخی از قسمت‌ها تا ۱ کیلومتر طول دارند که دارای عیار طلای مناسبی نیز هستند. جزئیات کانه‌زایی طلا در منطقه خارستان-بیدستر توسط سید صالحی نائینی و همکاران (۱۴۰۳) شرح داده شده است. محدوده کانی‌زایی طلا در سیاجنگل (سرکهنو) در شمال‌خاور کوه آتشفشانی تفتان واقع است. آثار شدادی و کارهای معدنی که در گذشته انجام شده گویای فعالیت‌های معدن‌کاری در این منطقه از زمان‌های باستانی است. میانگین طلا در نمونه‌های بررسی شده کمتر از ۰/۵ گرم در تن است و در چندین نمونه مقدار آن



شکل ۹-۱) وجود یک پوشش سیلیسی (لیتوکپ) بر روی یک واحد داسیتی دگرسان شده در محدوده مادوفتی، دید به سمت شمال‌خاور، (B) بخشی از پوشش سیلیسی از نمای نزدیک در مادوفتی؛ (C) وجود رگچه‌های پیریت و کوارتز در مغزه‌های حفاری از محدوده سیاجنگل؛ (D) انواع دگرسانی‌ها از محدوده سیاجنگل.

Figure 9- A) The presence of a siliceous lithocap on an altered dacitic unit in Madofiti area, (view toward northeast), B) A part of the silicic lithocap from a close-up view at Madofiti area, C) Presence of pyrite and quartz veins in the drill cores of Siajangale area, D) Alteration types from Siajangale area, (view toward southeast).

در ایران بوده‌اند. گزارش‌های اندکی از ماگماتیسیم پالئوسن-ائوسن و کانی‌زایی‌های مرتبط با آن در پهنه زمین‌دورز سیستان در دسترس است. شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهند که همزمان با تنش‌های فلیش‌ها، فعالیت‌های ماگمایی متنوعی نیز رخ داده است؛ به گونه‌ای که میان‌لایه‌هایی از بازالت و آندزیت در بین لایه‌های فلیشی مشاهده می‌شود و یا سنگ‌های نیمه‌نفوذی و خروجی با ماهیت کالک-آلکان به صورت گنبد،

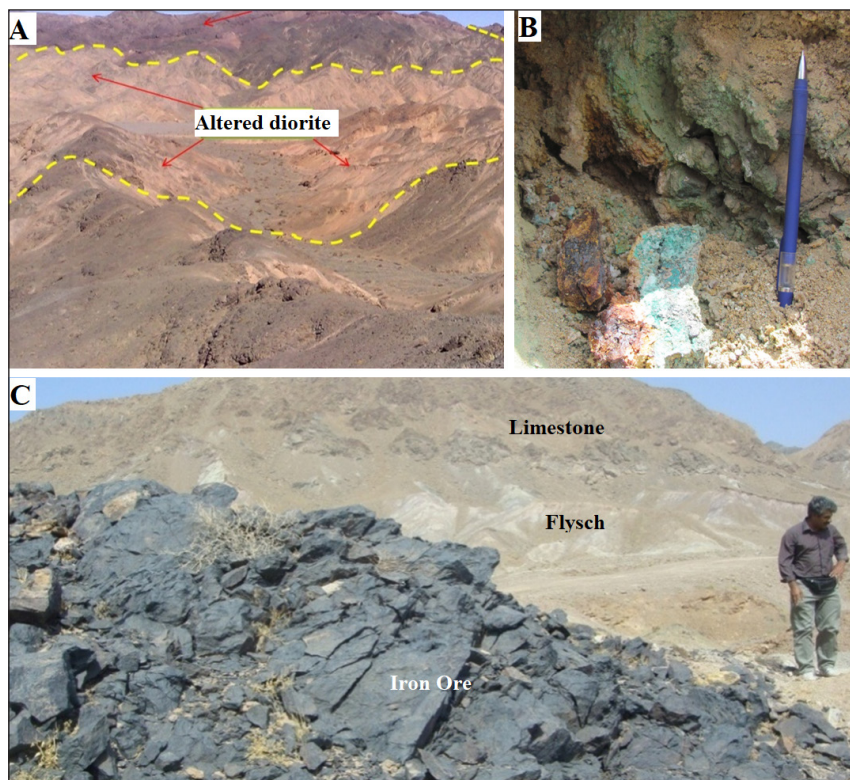
۳-۱-۴- فلز زایی مرتبط به فرو رانش در دوره پالئوسن -ائوسن زیرین در پهنه زمین‌دورز سیستان

فاز آتشفشانی ائوسن شاخص‌ترین رویداد ماگمایی در ایران مرکزی، البرز و حتی بلوک لوت به شمار می‌رود. بسیاری از توده‌های نفوذی بارور جوان‌تر که در درون آتشفشانی‌های ائوسن نفوذ کرده‌اند، عامل اصلی تشکیل کانسارهای مهم مس پورفیری

دایک برونزد داشته و شامل گابرو، دیوریت و گرانودیوریت هستند. در واقع این مجموعه سنگی از نظر ژئوشیمیایی، ویژگی‌های ماگماتیسیم مرتبط با فروورانش در جایگاه حاشیه قاره‌ای را نشان می‌دهد (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۵).

در دشت سمسور (معدن آهن میرکوه)، واقع در باختر پهنه فلش خاور ایران، توده‌هایی از گرانودیوریت‌ها به همراه آندزیت‌ها برونزد دارند که شواهد ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی آن‌ها نیز بیانگر منشأ مرتبط با فروورانش است (عالیان، ۱۳۹۰؛ کاظمی قهفرخی، ۱۳۹۱). سن دقیق این سنگ‌ها به‌طور قطعی مشخص نشده است، اینها از نوع I و کالک-آلکالین بوده و به پهنه فروورانش حاشیه قاره‌ای نسبت داده می‌شوند. در ارتباط با این توده‌ها، اسکارن‌های کلسیک متشکل از گارنت، کلینوپروکسن و مگنتیت در سنگ‌های میزبان تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن بیشتر به صورت توده‌های کوچک پراکنده در فلش‌ها و سنگ‌های کربناته کرتاسه که مجاور با توده‌های نفوذی می‌باشند رخ داده است (شکل ۱۰- C). همچنین سنگ‌های آندزیتی ائوسن با حجم نسبتاً کم در سراسر پهنه زمین‌درز سیستان، به‌ویژه در امتداد بلوک لوت و زابل برونزد دارند. همراه با این واحدها، شواهدی از کانی‌سازی مس مشاهده می‌شود. ارتباط مستقیم این سنگ‌ها با کانی‌سازی‌های اقتصادی مهم استان هنوز به‌طور دقیق مشخص نشده و نیازمند مطالعات تکمیلی است.

گدازه و آذرآواری، فلش‌ها را همراهی می‌کنند. در اثر فروورانش اقیانوس تیس جوان به زیر بلوک لوت و بلوک افغان در اواخر کرتاسه، ماگماتیسیم پراکنده‌ای در پهنه زمین‌درز سیستان شکل گرفته است. این ماگماتیسیم به صورت سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی برونزد داشته و بخش اعظم آن‌ها در امتداد و همراه نوار افیولیتی در مجاورت بلوک لوت قرار گرفته‌اند. مجموعه آذرین نخیلاب در باختر پهنه زمین‌درز سیستان، احتمالاً نمونه‌ای از این ماگماتیسیم است که سن بخشی از آن از کرتاسه تا پالئوسن-ائوسن زیرین گزارش شده است (بومری، ۱۳۹۶). در منطقه نخیلاب، سنگ‌های آذرین بیرونی کرتاسه با ترکیب بیشتر آندزیتی توسط یک توده نفوذی دیوریتی با سن الیگوسن قطع شده‌اند (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۵) (شکل ۱۰- A). این توده نفوذی غنی از پیریت بوده و به‌طور گسترده دچار دگرسانی پروپیلیتیک شده است. یک رگه دارای کانی‌زایی مس نیز در این محدوده برونزد دارد (شکل ۱۰- B). گسترش و الگوی این دگرسانی شباهت شایان توجهی به هاله‌های دگرسانی سیستم‌های پورفیری دارد. سنگ‌های آذرین میزبان این توده در منطقه نخیلاب به‌طور عمده ماهیت خروجی داشته و به صورت گدازه‌ها و واحدهای آذرآواری شامل بازالت، بازالت آندزیتی، آندزیت و ریولیت با سن کرتاسه-پالئوسن تشکیل شده‌اند. سنگ‌های آذرین درونی معادل آن‌ها به صورت استوک و به‌ندرت



شکل ۱۰- A) نفوذ یک استوک دیوریتی دگرسان شده در سنگ‌های آندزیتی در محدوده نخیلاب، دید به سمت جنوب، B) رگه دارای کانی‌زایی مس در محدوده نخیلاب، C) کانی‌زایی آهن در محدوده سمسور (معدن آهن میرکوه).

Figure 10- A) A dioritic stock intruded in andesitic rocks in Nakhilab area, (view toward south), B) A vein with copper mineralization in Nakhilab area, C) Iron mineralization in the Samsur area (Mirkuh iron mine)

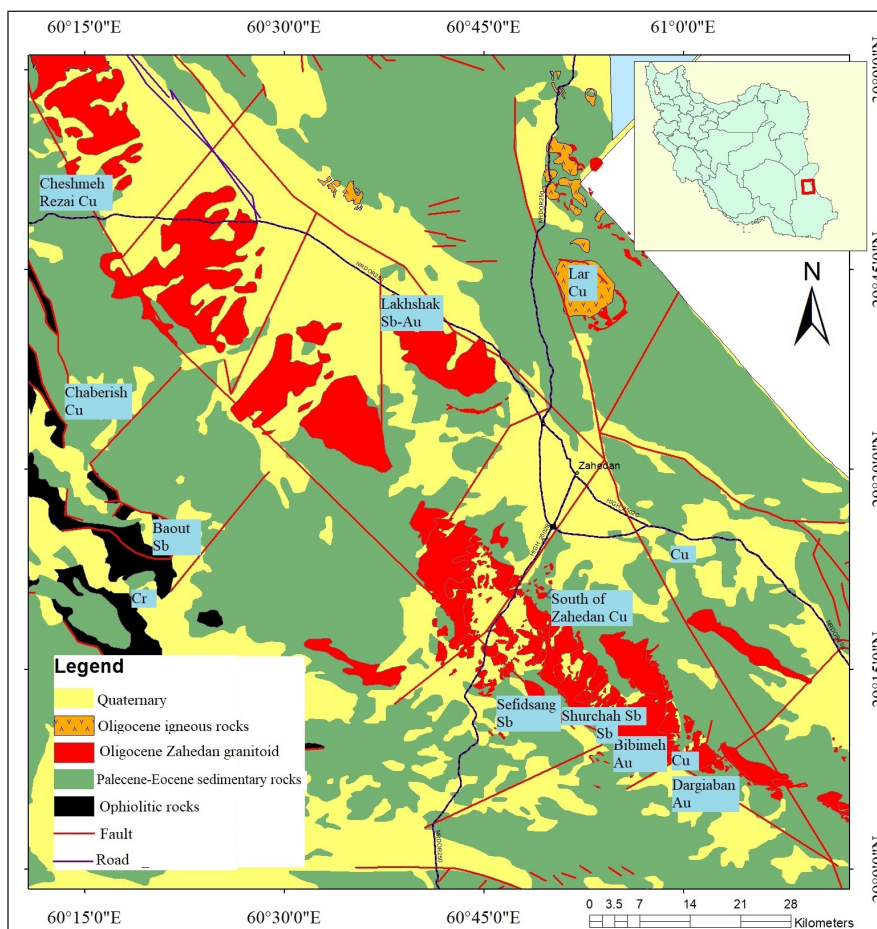
باتولیت زاهدان معروف می‌باشند که مهم‌ترین برونزدهای آن از شمال باختر گراغه تا سراوان ادامه دارد (شکل‌های ۳ و ۱۱). جایگیری این گرانیتوئیدها در ۳۱ تا ۳۲ میلیون سال قبل صورت گرفته است (Camp and Griffis, 1982). مطالعات جدیدتر نشان‌دهنده برونزدهایی با سن قدیمی‌تر تا ۴۰ میلیون سال برای این گرانیتوئید است

۳-۱-۵- فلز زایی مرتبط به بسته شدن تیس جوان در ائوسن بالایی-الیگوسن در پهنه زمین‌درز سیستان

توده‌های عظیم گرانیتوئیدی با سن ائوسن پایانی-الیگوسن از شمال باختر به سمت جنوب خاوری پهنه زمین‌درز سیستان با طول صدها کیلومتر برونزد دارند و به نام

بر اساس مطالعات جدیدتر این گرانیتوید از نوع کالک آلکالن، متاآلومین تا اندکی پرآلومین بوده و بیش از ۹۰ درصد آن به نوع I مگنتیت و ایلمنیت دار و بخش کوچکی از آن از نوع S می باشد (بومری، ۱۳۸۶؛ بومری و همکاران، ۱۳۹۷). همراه و در حاشیه این باتولیت به طور محلی سنگ های نیمه نفوذی پورفیری و گنبد های داسیتی برون زد دارند. هم گرانیتوید و هم سنگ های رسوبی و دگرگونی میزبان، تحت نفوذ دایک های آندزیتی تا داسیتی تیره رنگ با روند شمالی - جنوبی و تنوعی از دیگر دایک ها متعلق به سری کالک آلکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته اند که ممکن است مرتبط با حوادث پس از برخورد باشند (Sadeghian et al., 2005؛ بومری، ۱۳۸۶؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۰ الف).

(Mohammadi et al., 2016). گرانیتوید زاهدان به اشکال باتولیت، استوک و دایک تشکیل شده است و از نظر ترکیب بیشتر محدوده ای از دیوریت تا گرانیت را در بر می گیرند و دارای ییگانه سنگ های (زینولیت) از سنگ های رسوبی - دگرگونی نیز می باشد. کانی های اصلی آن ها عبارتند از پلاژیوکلاز، کوارتز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، هورنبلند سبز و کانی های فرعی معمول آن ها عبارتند از اسفن، مگنتیت، زیرکن، آلانیت، مونازیت و آپاتیت. تورمالین و گارنت در رگه های پگماتییتی یافت می شوند. برخی از برون زدهای آن دارای فابریک جهت یافته و آثار میلونیتی شدن و سیلیسی شدن است. در ابتدا، گرانیتوید زاهدان از نوع S و نشانه ای از برخورد بلوک لوت و افغان در پهنه زمین درز سیستان معرفی شده بود (Camp and Griffis, 1982).



شکل ۱۱- نقشه زمین شناسی ساده شده از بخش مرکزی پهنه زمین درز سیستان. و محل بعضی از کانسارها روی آن.

Figure 11- A simplified geological map of the central part of the Sistan suture zone and location of some ore deposit on it.

تن انجامیده است (آقازاده، ۱۴۰۰). این کانی زایی به صورت رگه ها و رگچه هایی از کوارتز شفاف در گرانیتوید میلونیتیزه تشکیل شده است (شکل ۱۲- C). کانی زایی طلا در این محدوده از نوع طلای آزاد و تلورید های طلا و بیسموت و از نوع مرتبط با گرانیتوید می باشد (آقازاده، ۱۴۰۰). رگه های سیلیسی - کربناتی در درگیابان نیز دارای کانی زایی طلا است و از زمان باستان استخراج شده است. این رگه های طلا دار از نوع اپی ترمال می باشند (باقری فرد، ۱۳۸۷).

کانه زایی مس در درگیابان در یک استوک دگرسان شده، بیشتر به صورت استوک ورک های کوارتزی رخ داده است و در برون زدهای آن آثار ملاکیت دیده می شود (شکل ۱۲- D). میزان ذخیره و عیار آن هنوز مشخص نیست. این نوع کانی زایی با توجه به الگوی دگرسانی و سبک کانی زایی از نوع پورفیری می باشد. در بخش جنوبی این منطقه انواع دگرسانی های پتاسیک، فلیک، آرژیلیک، سیلیسی

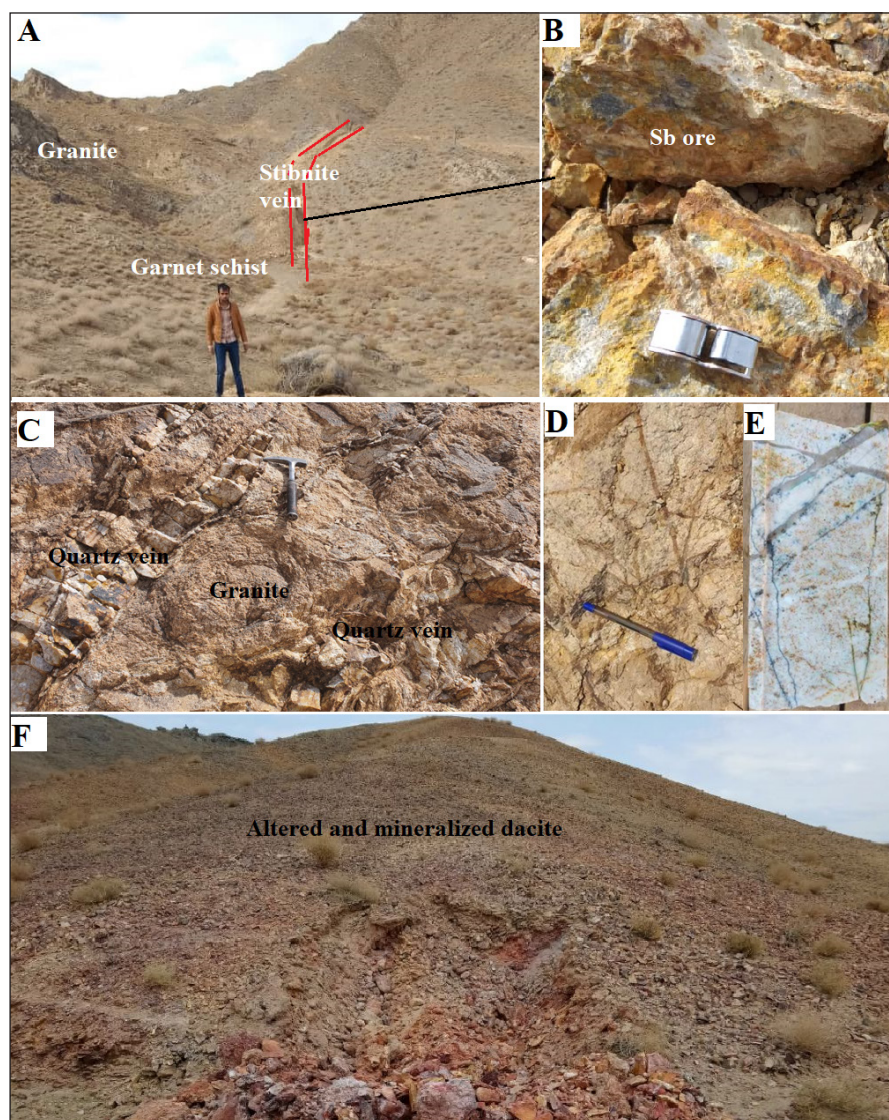
کانی زایی آنتیموان در مناطق سفید سنگ، شورچاه، توزگی، لخشک، باثوت و رگه های طلا دار در کوه بی بی مه و درگیابان در یا مجاور گرانیتوید زاهدان اتفاق افتاده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ بومری و همکاران، ۱۳۹۷؛ مجددی مقدم و همکاران، ۱۳۹۹؛ ۱۴۰۰) (شکل ۱۱). کانی زایی آنتیموان در شورچاه، توزگی، سفید سنگ و لخشک به شکل رگه های استینیت - کوارتز با روند عمومی شمال خاوری - جنوب باختری در یا نزدیک به گرانیت دیده می شود (شکل ۱۲- A و B). این رگه ها معمولاً دارای مقداری طلا و نقره می باشند. براساس این مطالعات رگه های یاد شده از نوع اپی ترمال تا مزوترمال یا نوع کوهزایی می باشند. استخراج رگه های استینیت در محدوده شورچاه توسط شرکت تهیه و تولید مواد معدنی آغاز شده است.

مطالعات اکتشافی در محدوده کوه بی بی مه (۶۰ کیلومتری جنوب خاور زاهدان) به شناسایی ذخیره ای بالغ بر ۶۲۴۲۰۰ تن کانسنگ طلا با عیار میانگین ۱/۰۶ گرم در

کالکوپیریت و کولیت در رگچه‌های داربستی کوارتز و به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند. مالاکیت و آتاکامیت به صورت پراکنده و رگه‌ای در برخی نقاط دیده می‌شوند. دگرسانی آرژلیک و رگه‌های سیلیسی در خاور محدوده گسترش بیشتری دارد. دگرسانی پروپیلیتیک بیشتر همراه با دایک‌های جوان‌تر مشاهده می‌شود و رگچه‌های اپیدوت و کلسیت در خیلی جاها دگرسانی فلیک را قطع کرده است. آثار معدن کاری قدیمی و شدادی در باختر این منطقه وجود دارد. ترانشه‌ها و حفاری‌هایی که در منطقه انجام شده، رگه‌های گالن و آثار کانی‌زایی سولفیدی را در باختر منطقه نمایان کرده است. کانی‌زایی سرب در محدوده اکتشافی چاه سربی در باختر منطقه از نوع رگه‌ای، رگچه‌ای بوده که هم در سنگ‌های دگرگونی و هم در سنگ‌های آذرین حدواسط تا اسیدی درونی و نیمه آتشفشانی دیده می‌شوند (بومری و همکاران، ۱۳۹۹ الف). کانی‌زایی سرب به‌طور عمده سولفید سرب یا گالن می‌باشد که با پیریت، کوارتز، کرنات، گوتیت و سایر اکسیدهای آهن همراهی می‌شود. شکل و سبک کانی‌زایی و دگرسانی‌ها در جنوب زاهدان تا حد زیادی مشابه با کانسارهای مس پورفیری و در چاه سربی از نوع اپی ترمال است.

و پروپیلیتیک در یک استوک دیوریتی و گرانودیوریتی دیده می‌شود (بومری و همکاران، ۱۳۹۷).

اندیس مس پورفیری در ۱۴ کیلومتری جنوب زاهدان از شاخص‌ترین کانی‌زایی‌های نوع پورفیری در گرانیتوئید زاهدان است که در سنگ‌های نیمه نفوذی پورفیری و در مجاورت گرانیتوئید زاهدان رخ داده است (بومری و همکاران، ۱۴۰۰ الف). واحدهای سنگی در این محدوده از قدیم به جدید شامل سنگ‌های فلیش گونه، فلیت و اسلیت می‌باشند که داسیت و کوارتز دیوریت پورفیری و دایک‌های دیوریتی و گرانودیوریتی در آن نفوذ کرده‌اند. فلیش‌های میزبان، داسیت و کوارتز دیوریت پورفیری به‌شدت دگرسان شده و دارای شواهدی از کانی‌زایی مس و مولیدن می‌باشند (شکل ۱۲-۱۲). انواع دگرسانی در این محدوده به‌طور عمده سیلیسی، فلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. دگرسانی فلیک در این محدوده دارای گسترش وسیعی است و به نظر می‌رسد متمرکز بر داسیت‌ها باشد. رگچه‌های داربستی کوارتز نیز در این محدوده به فراوانی گسترش دارند. پیریت به صورت پراکنده و رگچه‌ای در پهنه دگرسانی فلیک فراوان‌تر است. مقدار کمی



شکل ۱۲- A) یک رگه استینیت در معدن شورچاه (دید رو به جنوب)، B) کانسنگ آنتیموان از این رگه (از نمای نزدیک)، C) رگه‌های کوارتز طلا دار در محدوده بی بی مه (از نمای نزدیک)، D و E) بافت استوک‌ورک و رگچه‌های کوارتز در درگیابان (از نمای نزدیک)، F) داسیت‌های دگرسان شده از محدوده جنوب زاهدان (دید رو به شمال خاور).

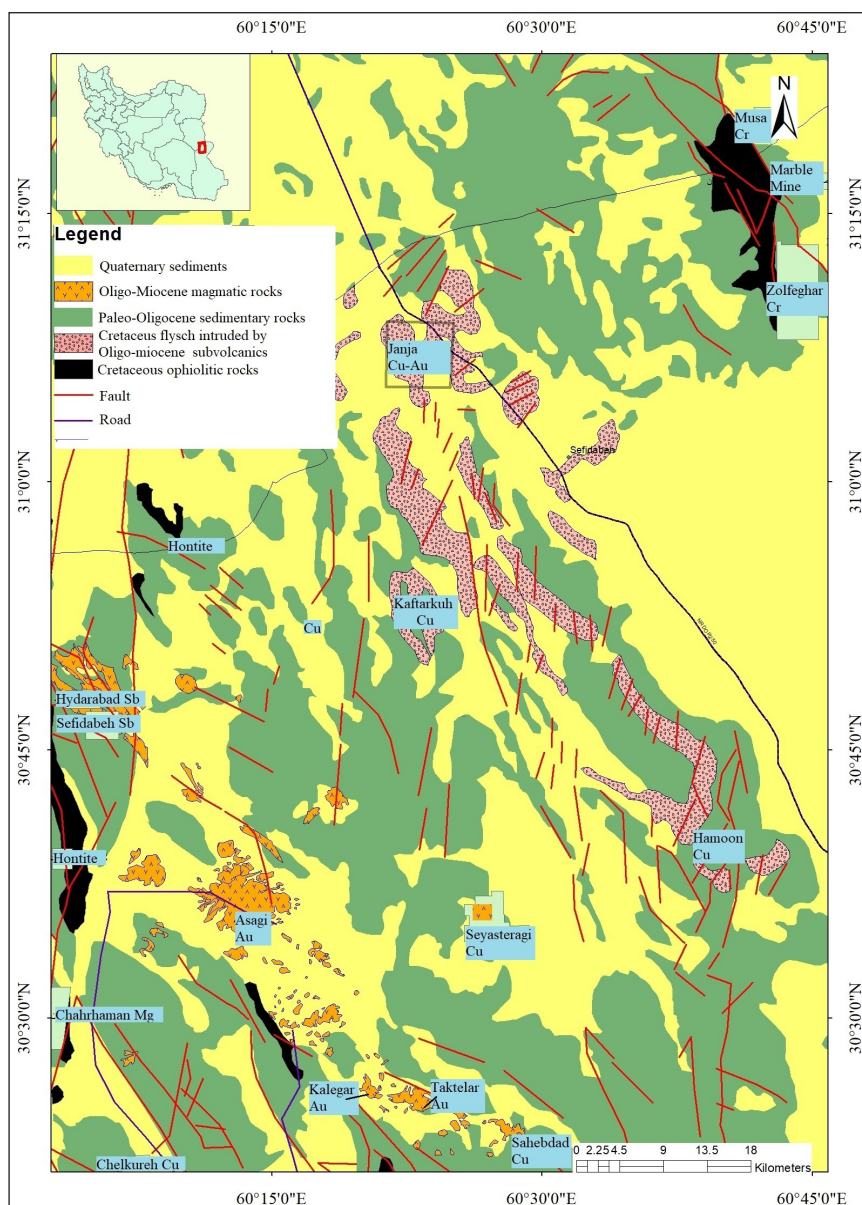
Figure 12-A) The stibnite vein in Shurchah mine (view toward south), B) Antimony ore from this vein (a close-up view), C) Gold-bearing quartz veins in Bibimeh (a close-up view), D and E) The stockwork texture and quartz veinlets in Dargiabab area (a close-up view), F) Altered dacites from south of Zahedan area (view toward northeast).

متعلق به سری ماگمایی کالک آلکالن، کالک الکانل پتاسیم بالا، شوشونیتی، الکانل و آداکتی است، از نظر کانی سازی و فلز زایی مهم ترین رویداد زمین ساختی-ماگمایی در استان می باشد. ترکیب سنگ ها در این رویداد از اولترامافیک تا اسیدی متغیرند و فازهای حد واسط آن فراوان تر و شاخص تر می باشند. همراه با اینها وجود سنگ های لامپروفری هم به صورت نفوذی و هم خروجی قابل ملاحظه است. رویداد ماگمایی پلیوسن از نوع سدیک و فقط به صورت خروجی می باشد و به طور عمده دارای ترکیب بازالتی و آندزی بازالت که از نظر کانی زایی پورفری چندان مهم نبوده و فقط به دلیل ایجاد میدان های زمین گرمایی، احتمالا در کانی زایی های رگ های واپی ترمال نقش داشته است. از مهم ترین نمونه های نوار ماگمایی شمال زاهدان می توان به مجموعه آذرین کوه لار، ملک سیاه، حرمک-هامون، صاحب داد، تک تار، کله گر، آساگی، سیاسترگی، کفتارکوه، ماده کاریز و جانجا نام برد که میزبان کانی زایی های گرمایی می باشند که گاه بسیار شاخص هستند (بومری، ۱۳۹۶؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۱؛ بامری و همکاران، ۱۴۰۴) (شکل های ۳ و ۱۳). ادامه این نوار در پاکستان هم میزبان کانی زایی های مهمی است. این سنگ ها هم به صورت استوک، دایک و محصولات آتشفشانی برون زد دارند. کانی زایی هایی که همراه این سنگ ها دیده می شود از نوع پورفری، اسکارن و رگ های اپی ترمال و مزوترمال می باشند.

۳-۱-۶- فلز زایی مرتبط با رویدادهای ماگمایی پسابرخورد بلوک لوت و افغان با پهنه زمین درز سیستان

سنگ های این رویدادها به طور عمده در یک نوار باریک از شمال خاور زاهدان به سمت شمال و شمال باختر زاهدان تا بلوک لوت (لار-حیدرآباد و لار-جانجا) برون زد دارند (Boomeri et al., 2019, 2020b; Nazari et al., 2022؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۱) (شکل های ۳ و ۱۳).

ادامه این نوار احتمالا از جنوب خاور به داخل پاکستان ادامه دارد. این نوار تا حدی موازی نوار باتولیت زاهدان می باشد که بخشی از آن در جهت شمال به سمت سفیدآبه و کوه جانجا و بخشی از آن به سمت شمال باختر تا بلوک لوت امتداد دارد (شکل ۳). در اصل برون زدهای این نوار تابع گسل های راستالغز بزرگی همچون گسل زاهدان، گسل باختر آساگی و شاخه های گسل نهخاوری می باشد. رویدادهای ماگمایی در این نوار از نظر سنی به دو رویداد قابل تقسیم بندی هست که شامل رویداد ماگمایی الیگوسن-میوسن و رویداد ماگمایی پلیوسن می شوند. رویداد ماگمایی الیگوسن-میوسن هم شامل فازهای خروجی و هم شامل فازهای نفوذی، نیمه نفوذی و به ویژه دایک می شوند. این رویدادها از نظر ترکیب شیمیایی نیز به دو نوع پتاسیک و سدیک قابل تقسیم بندی است که به نظر می رسد نوع پتاسیک که

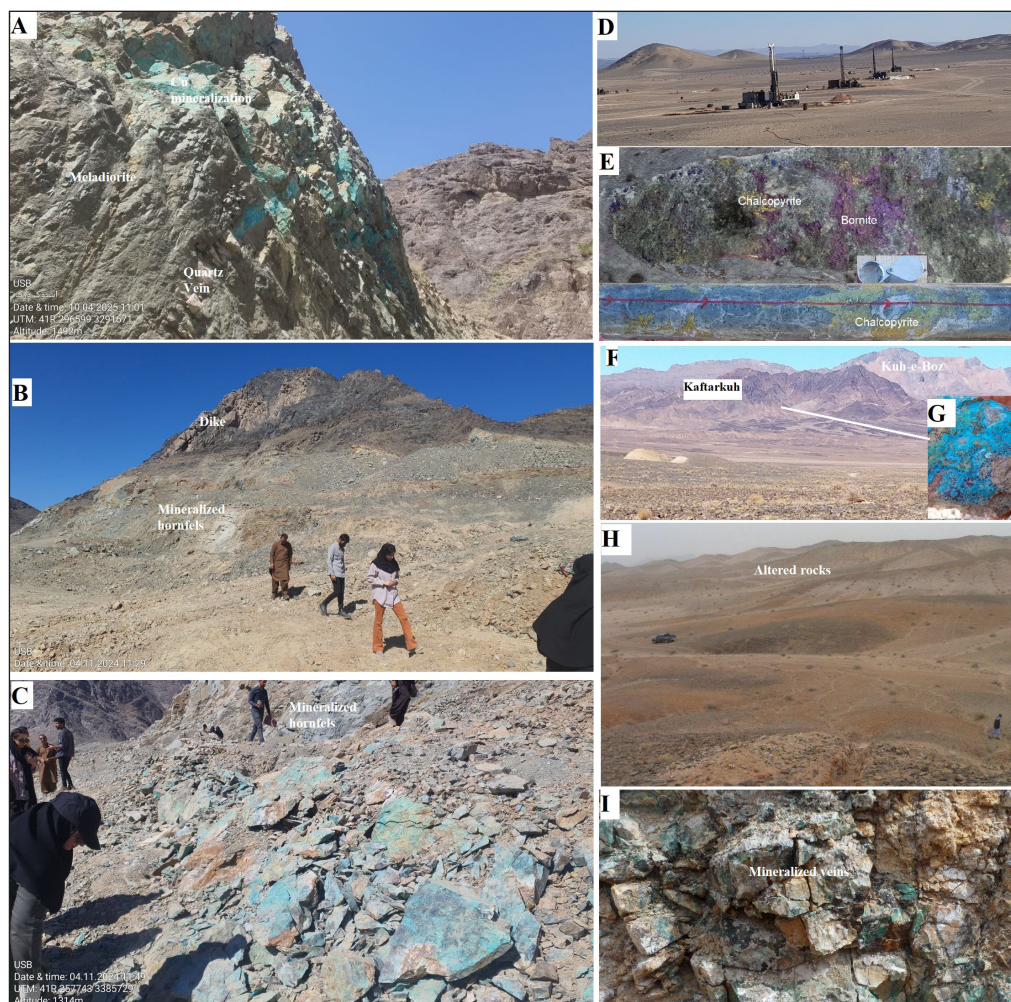


شکل ۱۳- نقشه زمین شناسی ساده شده از بخش شمالی استان سیستان و بلوچستان و محل بعضی از کانسارها روی آن.

Figure 13. A simplified geological map of the northern part of Sistan and Baluchestan and location of some ore deposit on it.

عیار متوسط ۰/۲ درصد مس ارزیابی شده است (Boomeri et al., 2019). در لار شمالی نیز پتانسیل صدها میلیون تن کانسنگ کم عیار وجود دارد ولی هنوز گزارشی از ارزیابی‌های انجام شده منتشر نشده است. در کوه سیاستراگی در ۱۸۰ کیلومتری شمال باختر زاهدان نیز سنگ‌های آذرین گرانودیوریتی به صورت استوک، آپوفیز و دایک درون توالی‌های بسیار چین خورده فلیشی تزریق شده و سنگ‌های دربرگیرنده مجاورش را تا حد هورنفلس، دگرگون کرده است. تعیین سن K-Ar بر روی هورنبلند در گرانودیوریت‌ها، مطابق با اوائل میوسن است (Camp and Griffis, 1982). کانی‌زایی هم در توده نفوذی، هم در هورنفلس و هم در رگه‌های سیلیسی مشاهده می‌شود. آثار کانی‌زایی در توده نفوذی با حضور مالاکیت در حاشیه‌ها و سولفیدها در بخش‌های عمیق‌تر مشاهده می‌شود (شکل‌های ۱۴-B و C). این کانی‌زایی به صورت پراکنده و در استوک و رگه‌های سیلیسی در گرانودیوریت رخ داده است (مشکانی، ۱۳۹۳). این کانی‌زایی شبیه کانی‌زایی‌های پورفیری و اسکاردن است. کانی‌زایی در رگه‌های سیلیسی اپی‌ترمال نیز دارای بی‌هنجاری‌های خوبی از مس، طلا، سرب، روی، آنتیموان و آرسنیک و طلا، نقره و آرسنیک می‌باشد (مشکانی، ۱۳۹۳).

در حال حاضر اکتشاف و بهره‌برداری از کانسارهای مس در کوه لار، کوه سیاستراگی، کانسار مس ماده کاریز (جانجا) شروع شده و پتانسیل‌های مس و طلا در کوه آساگی، تک تار و کفتارکوه مورد توجه هست. کانی‌زایی آنتیموان در مناطق حیدرآباد، سفیدآبه و ژوژ از کانسارهای رگه‌ای می‌باشند که تحت تاثیر فعالیت ماگمایی در این نوار به وسیله محلول‌های گرمایی تشکیل شده‌اند (بومری، ۱۳۹۶؛ بومری، ۱۳۹۳؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۰). مجموعه آذرین لار (کوه لار) در ۲۰ کیلومتر شمال خاور زاهدان واقع است. در اینجا تنوعی از سنگ‌های آذرین به شکل گدازه، آذرآواری، استوک و دایک به سن الیگوسن در فلیش‌های با سن پالئوسن هجوم آوردند و سبب دگرگونی مجاورتی و دگرسانی و کانی‌زایی شده‌اند. در این محدوده، کانی‌زایی مس به صورت رگه‌های سیلیسی یا پراکنده در توده‌های مونزونیتی، سینیتی، دیوریتی و حتی لامپروفیری و در هورنفلس و اسکاردن رخ داده است (شکل ۱۴-A) به گونه‌ای که پتانسیل صدها میلیون تن کانی‌سازی مس (برخی جاها همراه با طلا و مولیبدن) در این محدوده وجود دارد که تنها بخش محدودی از آن‌ها اکتشاف شده است. در کوه لار جنوبی بیش از ۲۰ میلیون تن با



شکل ۱۴- A) کانی‌زایی مس در معدن لار شمالی به شکل استوک و رگه، (دید رو به جنوب باختر)، B و C) کانی‌زایی مس در معدن سیاستراگی، (دید رو به شمال باختر برای B، D) دکل‌های حفاری جهت اکتشاف کانسنگ مس در محدوده جانجا (رو به جنوب باختر)، E) سولفیدهای مس در مغزه‌های حفاری از محدوده جانجا، F) محدوده کفتار کوه، دید رو به جنوب باختر، G) نمونه دستی کانسنگ مس از کفتار کوه، H) دگرسانی‌های گسترده و شدید از محدوده تک تار، دید به سمت جنوب، I) کانی‌زایی مس در محدوده تک تار از نمای نزدیک.

Figure 14-A) Copper mineralization in the northern Lar mine as stockwork, (view toward southwest), B and C) Copper mineralization in Seyasteragi mine, (view toward northwest for B), D) Drilling rigs for the exploration of copper ore in the Janja area (view toward southwest), E) Copper sulfides in drilling cores from the Janja area, F) Kaftarkuh area (view toward southwest), G) a hand specimen of copper ore from the Kaftarkuh, H) Extensive and intensive alterations from the Taktelar area, (view toward south), I) Copper mineralization in the Taktelar area from a close-up view.

فلیشی شامل شیل و ماسه سنگ به سن انوسن می‌باشد. این سنگ‌ها توسط سنگ‌های آذرین خروجی و نفوذی پوشیده یا قطع شده‌اند. کلیه واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه به شدت دگرسان شده و به سختی ماهیت اولیه آن‌ها قابل تشخیص است (شکل ۱۴-H). در این منطقه ابتدا داسیت و سپس دیوریت پورفیری به صورت استوک در فلیش‌ها نفوذ کرده‌اند. در نهایت دایک‌های آندزیتی و لامپروفیری با روند خاوری-باختری تمام واحدهای قبلی را قطع کرده و خود دچار دگرسانی چندانی نشدند (بومری و همکاران، ۱۳۹۹). عمده‌ترین دگرسانی در این منطقه دگرسانی فیلک است. دگرسانی آرژیلیک و دگرسانی آرژیلیک پیشرفته نیز به طور محلی و به‌ویژه اطراف رگه‌های سیلیسی و مناطق برشی سیلیسی از گسترش شایان توجهی برخوردار است. وجود استوک‌ورک‌های کوارتزی در مناطق دگرسانی فیلک در واحدهای سنگی دیوریت و گرانودیوریت پورفیری از ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه است. دگرسانی پروپلیتیک در حاشیه‌ها و در سنگ‌های کمتر دگرسان شده و به‌ویژه همراه با دایک‌های پس از کانی‌زایی مشاهده می‌شود. در بخش‌های زیادی از محدوده مورد مطالعه و به‌ویژه در حاشیه‌ها آثار و شواهد کانی‌زایی مس همراه با رگه‌های سرب و روی و رگه‌های سیلیسی با کانی‌زایی طلا مشاهده می‌گردد (شکل ۱۴-I). این کانی‌زایی‌ها احتمالاً از نوع اپی‌ترمال می‌باشند. وجود رگه‌های سیلیسی طلای اپی‌ترمال در رخنمون‌ها و عدم حضور دگرسانی پتاسیک در سطح ممکن است نشان‌دهنده وجود کانی‌زایی پورفیری در ژرفا باشد (بومری و همکاران، ۱۳۹۹). به هرحال وجود دو سیستم کانی‌زایی پورفیری و اپی‌ترمال در این منطقه محتمل است.

۴- نتیجه‌گیری

حوادث ماگمایی در استان سیستان و بلوچستان حاصل باز و بسته شدن اقیانوس تتیس جوان است و مراحلی از چرخه ویلسون را می‌توان به‌ویژه در تکامل زمین‌شناسی پهنه زمین‌درز سیستان مشاهده کرد. با بسته شدن تتیس کهن، اقیانوس تتیس جوان در جنوب ایران در محل پهنه‌های زاگرس، مکران و زمین‌درز سیستان شروع به باز شدن می‌کند و در ادامه، به دلیل حرکت صفحات عربی و هندوستان به سمت شمال بسته شدن تتیس جوان آغاز می‌شود و به نظری‌رسد چندین فروانش در زمان‌ها و مکان‌های مختلف رخ داده است. در استان سیستان و بلوچستان، قدیمی‌ترین فروانش آن که به تشکیل باتولیت بزمان انجامیده، همزمان با فروانشی است که کمان ماگمایی سندیج-سیرجان را به وجود آورده است. دومین فروانش که به تشکیل سنگ‌های آذرین کالک-آلکال در انوسن تا الیگوسن انجامیده همزمان با فروانشی است که کمان ماگمایی ارومیه-دختر را در ایران و کمان ماگمایی چاغی را در پاکستان و افغانستان به وجود آورده است. سومین فروانش، فروانش جوان صفحه عربی به زیر پهنه‌های مکران، لوت، زمین‌درز سیستان، کمان ماگمایی چاغی و بلوک افغان می‌باشد که کمان آتشفشانی بزمان-تفتان و کوه سلطان را ایجاد کرده است. رویداد برخوردی در پهنه زمین‌درز سیستان بخشی از گرانیویدهای زاهدان را ایجاد کرده و باعث کانی‌زایی‌های مس پورفیری، طلای مزوترمال و اپی‌ترمال و آنتیموان رگه‌ای شده است. از نظر فلزآزایی ماگماتیسیم پسابروردی در پهنه زمین‌درز سیستان برجسته و باعث بزرگ‌ترین سیستم‌های پورفیری در این پهنه شده است.

کانسار پورفیری مس جانجای (کوه جانجای جنوبی) در مجاورت روستای ماده‌کاریز بزرگ‌ترین کانسار مس در پهنه زمین‌درز سیستان می‌باشد (بومری و همکاران، ۱۴۰۰). عملیات اکتشافی در محدوده کانسار مس-طلای جانجا (شکل ۱۴-D) به شناسایی ذخیره‌ای بالغ بر ۳۰۰ میلیون تن کانسنگ مس با عیار ۰/۲۶ درصد و طلا ۰/۲۸ گرم در تن انجامیده و پیش‌بینی می‌شود با تکمیل مطالعات اکتشافی، ذخیره شناسایی شده تا بیش از یک میلیارد تن افزایش یابد (شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۱۴۰۰). در محدوده جانجای جنوبی، سنگ‌های آذرینی که در سنگ‌های رسوبی نفوذ کرده‌اند به ۲ نوع گرانولار و پورفیری قابل تقسیم‌بندی هستند. بخش اعظم سنگ‌های آذرین از نظر شکل، استوک و دایک هستند. استوک‌ها و دایک‌ها پی در پی و پس از نفوذ یک توده گرانولار تزریق شدند و شامل فازهای پیش، همزمان و پس از کانی‌زایی می‌شوند. سنگ‌های رسوبی به‌طور عمده شیل و سیلتستون هستند که دچار دگرگونی مجاورتی ضعیف و دگرسانی شدید شده‌اند. سنگ‌های آذرین شامل گرانیت، گرانودیوریت پورفیری، کوارتز دیوریت پورفیری، دیوریت پورفیری، مونزونیت پورفیری و آندزیت می‌شوند (زاهد، ۱۴۰۱). انواع دگرسانی‌ها شامل دگرسانی پتاسیک، پتاسیک-فیلک، فیلک و پروپلیتیک می‌شود. کانی‌زایی عمدتاً در دگرسانی پتاسیک و فیلک رخ داده و می‌توان به ۲ نوع درون‌زاد (هیوژن) و برون‌زاد (سوپرژن) تقسیم‌بندی شوند. کانی‌زایی درون‌زاد بسیار گسترده و از سطح تا ژرفای زیاد هم در سنگ‌های آذرین پورفیری و هم در سنگ‌های رسوبی اتفاق افتاده و با کانی‌زایی پراکنده و رگه‌ای و جانیشینی در سرتاسر کانسار مشخص می‌شود کانی‌های درون‌زاد سولفیدی بیشتر کالکوپریت و بورنیت می‌باشند (شکل ۱۴-E). کانی‌زایی برون‌زاد ضعیف و فقط به طور محلی در رخنمون‌ها و بخش‌های سطحی دیده می‌شوند که به صورت کربنات مس خودنمایی می‌کند ولی بخش غنی شده برون‌زاد تاکنون مشاهده نشده است. اندازه بزرگ و عیار کم کانسار، سبک کانی‌زایی، انواع و الگوی دگرسانی‌ها و شکل، بافت، نوع و ترکیب سنگ‌های آذرین مشابه با سیستم‌های مس پورفیری است.

منطقه کفتار کوه در جنوب خاور ایران، در ۲۰۵ کیلومتری شمال باختر شهر زاهدان واقع شده است. در این منطقه دایک‌های دیوریتی تا گرانودیوریتی میوسن به درون سنگ‌های رسوبی نوع فلیش مثل سنگ آهک، شیل و سیلتستون و ماسه سنگ با سن پالئوسن نفوذ کرده‌اند و به مرمر، اسکارن و هورنفلس تبدیل شدند (احمدی، ۱۳۹۴). کفتار کوه و کوه بز به شکل حلقوی نسبت به مناطق اطراف‌شان مرتفع‌تر می‌باشند (شکل ۱۴-F). کانی‌زایی مس و آهن به‌طور عمده در مرز هورنفلس و مرمر با دایک‌ها دیده می‌شود. کانی‌زایی آهن به صورت رگه‌هایی از اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن از نوع مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت است. رگه‌های اولیژیست ورقه‌ای به صورت درون‌زاد در مرمرها یافت می‌شوند. کانی‌زایی مس به صورت سولفیدی (کالکوپریت) و کربنات‌های آب‌دار مس به‌ویژه (مالاکیت و آزوریت) می‌باشد (شکل ۱۴-G). به نظر می‌رسد که کانی‌زایی مس و آهن در محدوده کفتار کوه از نوع رگه‌ای، اسکارن و پورفیری باشند (احمدی، ۱۳۹۴).

منطقه تک‌تلا و کله‌گر در ۱۷۰ کیلومتری شمال باختر زاهدان در پهنه جوش‌خورده سیستان واقع است. قدیمی‌ترین واحد زمین‌شناسی موجود در این محدوده واحد

کتابنگاری

- احمدی، م.، ۱۳۹۴، ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های نفوذی و زون‌های مس‌دار مرتبط با آن‌ها در کوه کفتار، شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۷۳ ص.
- آفازاده، ۱۴۰۰، گزارش پایان عملیات اکتشاف کوه بی‌بی‌مه، سازمان صنعت، معدن و تجارت سیستان و بلوچستان، ۳۵۲ ص.
- آقاباتی، س. ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷۰۷ ص.
- باقری‌فرد، ع.، ۱۳۸۷، اکتشافات ژئوشیمیایی طلا در منطقه درگیان، جنوب شرق زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۱ ص.
- بامری، م.، عباسی، ر. و پرتابیان، ع.، ۱۴۰۴، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگهای آتشفشانی و نیمه آتشفشانی در جنوب مجموعه آذرین آساگی، شمال باختری زاهدان، پهنه زمین‌درز سیستان، پترولوژی، سال شانزدهم، شماره ۳، ص ۷۵-۱۰۰. [Doi.org/10.22108/ijp.2025.146089.1367](https://doi.org/10.22108/ijp.2025.146089.1367).
- بومری، ۱۴۰۱، مقایسه شیمی کانی و سنگ کل در پتروژنز سنگهای مافیک، نمونه‌هایی از کانسارهای کرومیت فاریاب و پهنه زمین‌درز سیستان، سی‌امین همایش ملی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- بومری، م.، ۱۳۸۶، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگهای گرانیتی زاهدان، طرح پژوهشی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۰۵ ص.
- بومری، م.، ۱۳۹۳، کانسارها و اندیس‌های معدنی استان سیستان و بلوچستان، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
- بومری، م.، ۱۳۹۶، کانسارهای پورفیری در پهنه جوش‌خورده سیستان، استان سیستان و بلوچستان، جنوب شرق ایران، نهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بیرجند.
- بومری، م.، بیابانگرد، ح.، ناکاشیما، ک. و غلامی، م. ج.، ۱۳۹۳، کانه‌نگاری و شیمی سولفیدها در رگه‌های سیلیسی طلادار چاه نعلی، شمال بزمان، جنوب شرق ایران، پترولوژی، سال ششم، شماره ۲۲، ص ۴۹-۷۰.
- بومری، م.، نارویی، س. و قدسی، م. ر.، ۱۳۹۹ الف، پتروگرافی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و کانی‌زایی سرب در محدوده چاه سربی، جنوب زاهدان، فصلنامه علوم زمین، سال بیست‌ونهم، شماره ۱۱۶، ص ۳-۱۴. <https://doi.org/10.22071/gsj.2019.135671.1490>.
- بومری، م.، پیری، ع.، نهتانی‌فر، ع. ب. و سلوکی، ح.، ۱۳۹۹ ب، کانی‌زایی مس و طلا و سنگ‌نگاری و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین در تکت‌تار، شمال‌غرب زاهدان، پژوهش‌های دانش زمین، سال یازدهم، شماره ۲۴، ص ۱۰۹-۱۲۸. <https://doi.org/10.52547/esrj.11.4.109>.
- بومری، م.، پیری، ع. و نهتانی‌فر، ع. ب.، ۱۴۰۱، ب، دگرسانی و تغییر جرم در سنگ‌های آذرین در محدوده تکتار، شمال‌غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، زمین‌شناسی اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۳، ص ۶۵-۹۳. [econg.2022.69941.1017/10.22067](https://doi.org/10.22067/econg.2022.69941.1017/10.22067).
- بومری، م.، جان‌آبادی، ل. و قدسی، م. ر.، ۱۳۹۸، کانی‌زایی مس پورفیری زاهدان، جنوب شرق ایران، یازدهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- بومری، م.، روستا، م. و مرادی، ر.، ۱۴۰۰ الف، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین در محدوده پدگی، جنوب زاهدان، پهنه زمین‌درز سیستان، پترولوژی، سال دوازدهم، شماره ۴۶، ص ۷۱-۹۴. <https://doi.org/10.22108/ijp.2021.123837.1189>.
- بومری، م.، قدسی، م. ر.، سالاری، ا. و دهمرده، م. ر.، ۱۴۰۰ ب، کانی‌زایی مس پورفیری جانجا، پهنه زمین‌درز سیستان، سیزدهمین همایش ملی و اولین همایش بین‌المللی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان.
- بومری، م.، مجددی‌مقدم، ح. و بیابانگرد، ح.، ۱۳۹۷، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و کانی‌زایی آنتیموان و طلا در منطقه سفیدسنگ و درگیان، پترولوژی، سال نهم، شماره ۳۵، ص ۱۹۳-۲۱۶. <https://doi.org/10.22108/ijp.2018.110097.1077>.
- تاجور، ع.، خطیب، م. م. و زرین‌کوب، م. ح.، ۱۴۰۰، بررسی جایگاه زمین‌ساختی افیولیت ملائز شمال مکران بر اساس شیمی کانی‌ها، جنوب خاوری ایران، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، سال یازدهم، شماره ۱، ص ۴۳-۶۲. <https://doi.org/10.22055/aag.2020.31127.2041>.
- جمشیدی، م.، ۱۳۹۰، تشکیل اسکارن و کانی‌زایی مس گربودار، جنوب شرق آتشفشان بزمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲۰۵ ص.
- خداپاری، ا.، ۱۴۰۳، بررسی دگرسانی و کانه‌زایی مس و طلا با استفاده از روش‌های دورسنجی، زمین‌شناسی و لیوژئوشیمیایی در منطقه صاحب‌داد، شمال‌غرب زاهدان، ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ۲۰۱ ص.
- دلاوری، د. و توکلی، ف.، ۱۴۰۴، ژئوشیمی واحدهای بازالتی مجموعه آمیزه رنگین در خاور رودان (جنوب خاور ایران): شواهدی از تحولات ژئودینامیکی حوضه اقیانوسی تیس جوان در منطقه مکران، فصلنامه علوم زمین، سال سی و پنجم، شماره ۴، ص ۱-۱۸. [doi. org/10.22071/gsj.2025.530425.2206](https://doi.org/10.22071/gsj.2025.530425.2206).
- رحمتیان، م. ر.، لطفی، م. و قادری، م.، ۱۳۹۸، ژئوشیمی کانسار منگنز جون‌آباد، شمال خاش، استان سیستان و بلوچستان، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، سال یازدهم، شماره ۱، ص ۸۱-۱۰۳.
- ریگی، ا.، ۱۴۰۱، شناسایی نیکل در افیولیت‌های دهانه باغی با استفاده از روش‌های ژئوشیمیایی، در شمال‌غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲۰۶ ص.
- زارع‌مطلق، س. و آریافر، ع.، ۱۳۸۹، مطالعات آماری برای تعیین عوامل مؤثر بر اکتشاف و بهره‌برداری اقتصادی از ذخایر کرومیت در استان سیستان و بلوچستان، مجموعه مقالات نخستین همایش زمین‌شناسی اقتصادی ایران، مشهد، ایران.
- زاهد، م. ی.، ۱۴۰۱، ماگماتیسیم در منطقه جانجا با نگرشی بر کانه‌زایی مس-طلا، شمال سفیدآبه، شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۲۰ ص.
- سامانی، ب. و اشتیری، ش.، ۱۳۷۱، تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان، فصلنامه علوم زمین، سال اول، شماره ۴، ص ۱۵-۲۵.
- سهندی، م. ر. و پاداشی، م.، ۱۳۸۴، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش بزمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- سیدصالحی‌نانبی، ب.، علیرضایی، س. و نوری، م. ن.، ۱۴۰۳، دگرسانی گرمایی و کانی‌سازی طلا در منطقه خارستان-بیدستر، ناحیه نفتان، جنوب خاور ایران، فصلنامه علوم زمین، سال سی‌وچهارم، شماره ۳، ص ۱-۱۶. <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.436419.2130>.
- شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران، ۱۴۰۰، گزارش پایان عملیات اکتشاف جانجا، سازمان صنعت، معدن و تجارت سیستان و بلوچستان، ۳۲۹ ص.
- شیحکی، ز.، ۱۳۹۶، کانی‌شناسی، دگرسانی و طرز تشکیل کانی‌زایی مس در منطقه قلعه‌صولی، جنوب زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۰۹ ص.
- عالیان، ف.، ۱۳۹۰، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی توده‌های مگنتیتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲۰۳ ص.

- قدسی، م.ر. و بومری، م. و باقری، س.، ۱۳۹۴، استفاده از شیمی کانی آمفیبول جهت دما-فشارسنجی گرانیتوئید بزمان، جنوب شرق ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست چهارم، شماره ۱، ص ۵۸۵-۵۹۶.
- قربانی، م.، ۱۳۸۶، زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، نشر آراین زمین، تهران، ۴۹۲ص.
- قلعه نوعی، ر.، ۱۳۹۰، ژئوشیمی و منشا کرومیت‌های پودیفرم از شمال غرب تا جنوب غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲۷۲ص.
- کارگری، ف.، ۱۳۹۱، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز سردشت، جنوب شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
- کاظمی قهفرخی، س.م.، ۱۳۹۱، ژنز آنومالی آهن در دشت سمسور، جنوب غرب زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۲۵ص.
- کداب، ن.، ۱۳۹۰، بررسی زمین‌شناسی اقتصادی و کانه‌زایی مس در منطقه نازل، جنوب زاهدان، واقع در زون شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- کوهساری، م.م.، بومری، م. و باقری، س.، ۱۴۰۴، کانی‌شناسی و ژنز کانه‌زایی آنتیموان در معادن سفیدابه و حیدرآباد، پهنه زمین‌درز سیستان، جنوب شرق ایران، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال سی‌ودوم، شماره ۳، ص ۵۰۹-۵۲۴.
- مجددی‌مقدم، ح.م.، بومری، م. و بیابانگرد، ح.، ۱۳۹۹، بررسی کانی‌زایی آنتیموان و انتقال جرم در سنگ‌های میزبان، بانوت، غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، زمین‌شناسی اقتصادی، سال دوازدهم، شماره ۴، ص ۴۷۱-۴۸۹.
- مجددی‌مقدم، ح.م.، بومری، م. و بیابانگرد، ح.، ۱۴۰۰، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین و کانی‌زایی آنتیموان در لخشک، شمال‌غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال پانزدهم، شماره ۵۷، ص ۸۷-۱۰۶.
- مختاری، ز.، ۱۳۹۴، ژئوشیمی و تعیین محیط فیزیکی‌شیمیایی کانه‌ها، باطله‌ها و زون‌های دگرسانی در سرکهنو جنوب زاهدان، رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۳۳۲ص.
- مرادی، ر.م.، بومری، م.م.، باقری، س. و زاهدی، ا.، ۱۳۹۴، تعیین شرایط فیزیکی‌شیمیایی و عوامل کنترل کننده کانه‌زایی با استفاده از کانه نگاری، روابط پاراژنری، و میانبارهای سیال در کانسار استیبنیت-طلا شورچاه، جنوب شرق زاهدان، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال بیست سوم، شماره ۱، ۱۲۱-۱۳۴.
- مشکانی، س.ا.، ۱۳۹۳، گزارش عملیات پی جویی در محدوده سیاسترگی، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سیستان و بلوچستان، گزارش شرکت مهندسین مشاور زر آذین گستر، جلد ۱، ۱۱۵ص.
- نارویی، ف.، ۱۴۰۳، اکتشاف لیتوژئوشیمیایی مس در مک‌سرخ، شمال‌غرب زاهدان، پهنه زمین‌درز سیستان، ۱۶۰ص.
- هدایتی، ن.م.، بومری، م. و بیابانگرد، ح.، ۱۳۹۵، ویژگی‌های ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی مجموعه آذرین نخیلاب، شمال‌باختر زاهدان، پترولوژی، سال پنجم، شماره ۲۶، ص ۲۳-۴۴. <https://doi.org/10.22108/ijp.2016.20840>
- وحدتی دانشمند، ف. و جرجندی، م.، ۱۳۸۳الف، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش مکسان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- وحدتی دانشمند، ف. و جرجندی، م.، ۱۳۸۳ب، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش هودیان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Aghanabati, A., 2004. *The Geology of Iran, Geological Survey of Iran, Tehran, 586pp. (In Persian).*
- Aghazadeh, 2021. *Final report of exploration operations at Kouh-e Bibimeh. Sistan and Baluchestan Industry, Mine and Trade Organization, Zahedan, Iran, 352 pp. (In Persian).*
- Ahmadi, M., 2016. *Geochemical characteristics of intrusive rocks and related Cu-bearing zones in the Kaftar Kuh, east of Iran. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 173 pp. (In Persian).*
- Alian, F., 2012. *Geology, mineralogy, and geochemistry of magnetite bodies and their host rocks in Samsur plain, southwest of Zahedan. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 203 pp. (In Persian).*
- Arai, S., and Yurimoto, H., 1994. Podiform chromitites of the Tari-Misaka ultramafic complex, southwestern Japan, as mantle-melt interaction products. *Economic Geology* 89: 1279-1288.
- Bagherifar, A., 2008. *Gold geochemical explorations in Dargiaban area (SE Zahedan), Iran. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 154 pp. (In Persian).*
- Bameri, M., Abasi, R., and Partabian, A.R., 2025. *Petrology and geochemistry of volcanic and subvolcanic rocks in the south of Asagi igneous complex, northwest of Zahedan, Sistan Suture Zone, Petrology, 16(3), 75-100, doi:10.22108/ijp.2025.146089.1367 (In Persian).*
- Bazin, D., and Hubner, H., 1969. Copper deposits in Iran. *Geological Survey of Iran, Report No. 13, 232 p.*
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and Early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and central Iran. *Journal of the Geological Society of London*, 139: 605-614.
- Boomeri, M., 2007. *Petrography and geochemistry of the Zahedan granitic rocks. Research project, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 105 p. (In Persian).*
- Boomeri, M., 2015. *Ore deposits and mineral indexes of Sistan and Baluchestan province. Proceedings of the 6th Conference of the Iranian Society of Economic Geology, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. (In Persian).*
- Boomeri, M., 2018. *Porphyry ore deposits in Sistan suture zone, southeast Iran, Sistan and Baluchestan Province. Proceedings of the 9th National Conference of the Iranian Society of Economic Geology, University of Birjand, Birjand, Iran. (In Persian).*
- Boomeri, M., and Mokhtari, Z., 2016. Fluid inclusion studies on a quartz vein in Sijajangal gold deposit, southeast of Iran. *Asian Current Research on Fluid Inclusions (ACROFI-VI), Indian Institute of Technology Bombay, Extended Abstracts' Volume, 121-126.*
- Boomeri, M., Biabangard, H., Nakashima, K., and Gholami, M.J., 2015. *Mineralograpy and chemistry of sulfides in Chah Nali Au-bearing silicic veins, north Bazman, southeast of Iran. Petrology, 6(22): 49-70. (In Persian).*

- Boomeri, M., Mojaddadi Moghadam, H., and Biabangard, H., 2018. Petrology and geochemistry of igneous rocks and Sb–Au mineralization in Sefidsang and Dargiabab areas (southeast Iran). *Petrology*, 9(35): 193–216. (In Persian). <https://doi.org/10.22108/ijp.2018.110097.1077>.
- Boomeri, M., Moradi, R., Stein, H., and Bagheri, S., 2019. Geology, Re–Os age, and S–O isotopic composition of the Lar porphyry Cu–Mo deposit, southeast Iran, *Ore Geology Reviews*, 104, 477–494, doi:10.1016/j.oregeorev.2018.11.018.
- Boomeri, M., Janabadi, L., and Ghodsi, M.R., 2019. Porphyry copper mineralization of Zahedan, southeast Iran. *Proceedings of the 11th National Conference of the Iranian Society of Economic Geology, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (In Persian)*.
- Boomeri, M., Narouyi, S., and Ghodsi, M.R., 2020a. Petrography and geochemistry of igneous rocks and Pb mineralization in the Chah Sorbi area, south of Zahedan, southeast Iran. *Geosciences*, 29(116): 3–14. (In Persian). [Doi.org/10.22071/gsj.2019.135671.1490](https://doi.org/10.22071/gsj.2019.135671.1490).
- Boomeri, M., Moradi, R., and Bagheri, S., 2020b. Petrology and origin of the Lar igneous complex of the Sistan Metallogeny Zone, Iran, *Geologos*, 26(1), 51–64, doi:10.2478/logos-2020-0004.
- Boomeri, M., Piri, A., Nohtanifar, A., and Soloki, H.2, 2020c. Copper and gold mineralization and petrography and geochemistry of igneous rocks in Taktalar, northwest of Zahedan, Sistan and Baluchestan province. *Researches in Earth Sciences*, 11(44): 109–128. (in Persian). <http://www.doi.org/10.52547/esrj.11.4.109>.
- Boomeri, M., Rusta, M., and Moradi, R., 2021a. Petrography and geochemistry of the Padagi dikes, south of Zahedan, Sistan Suture Zone, *Petrology*, 12(46), 71–94, doi:10.22108/ijp.2021.123837.1189. (In Persian).
- Boomeri, M., Ghodsi, M.R., Salari, A., and Dahmardeh, M.R., 2021b. Porphyry copper mineralization of Janja, Sistan Suture Zone. *Proceedings of the 13th National Conference and 1st International Conference of the Iranian Society of Economic Geology, Lorestan University, Iran (In Persian)*.
- Boomeri, M., 2022. Comparison of mineral chemistry and whole-rock geochemistry in the petrogenesis of mafic rocks, examples from the Faryab chromite deposits and the Sistan Suture Zone. *Proceedings of the 30th National Conference on Crystallography and Mineralogy of Iran, Zahedan, University of Sistan and Baluchestan, Iran (In Persian)*.
- Boomeri, M., Piri, A., and Nohtanifar, A., 2022. Alteration and mass balance of igneous rocks in the Taktalar area, northwest of Zahedan, southeast Iran, *Journal of Economic Geology*, 14(3), 65–93, doi:10.22067/ECONG.2022.69941.1017 (In Persian).
- Camp, V.E., and Griffis, R.J., 1982. Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan Metallogeny zone, eastern Iran. *Lithos*, 15: 221–223.
- Delaloye, M., and Desmons, J., 1980. Ophiolites and melange terranes in Iran: A geochronological study and its paleotectonic implications. *Tectonophysics*, 68 (1–2): 83–111.
- Delavari, D. and Tavakoli, F., 2025. Geochemistry of basaltic units of the Colored Mélange Complex in east Rudan, southeastern Iran: Evidence for geodynamic evolution of the Neo-Tethys oceanic basin in the Makran region, *Journal of Geosciences*, 35(4), 1–18, doi:10.22071/gsj.2025.530425.2206 (In Persian).
- 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>.
- Dimitrijevic, M.C., Dimitrijevic, M.N., Djordjevic, M., and Djokovic, I., 1971. Geological map of Shar-e-Babak II (1:100000 scale), Geological Survey of Iran.
- Forster, H., 1978. Mesozoic and Cenozoic metallogenesis in Iran. *Journal of the Geological Society of London*: 132(4): 443–455.
- Ghaleh-Noei, R., 2011. Geochemistry and origin of podiform chromitites from northwest to southwest of Zahedan, southeastern Iran. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 272 p. (In Persian).
- Ghodsi, M.R., Boomeri, M., and Bagheri, S., 2015. Application of amphibole mineral chemistry for thermobarometry of the Bazman granitoids, southeastern Iran, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 24(1), 585–596 (In Persian).
- Ghodsi, M. R., Boomeri, M., Bagheri, S., Ishiyama, D., and Corfu, F., 2016a. Geochemistry, zircon U–Pb age, and tectonic constraints on the Bazman granitoid complex, southeast Iran. *Turkish Journal of Earth Sciences* 25 (4): 311–340.
- Ghodsi, M.R., Boomeri, M., Bagheri, S., Lentz, D., and Ishiyama, D., 2016b. Metallogeny and mineralization potential of the Bazman granitoids, SE Iran. *Resource Geology*, 66(3): 286–302.
- Ghorbani, M., 2007. *Economic Geology of Mineral and Natural Resources of Iran*. Arian Zamin Publication, Tehran, Iran, 492 p. (In Persian).
- Hedayati, N., Boomeri, M., and Biabangard, H., 2016. Petrography and geochemical characteristics of Nakhilab igneous complex, northwest of Zahedan, *Petrology*, 7(26), 23–44, doi:10.22108/ijp.2016.20840. (In Persian).
- Iranian Mines and Mining Industries Development and Renovation Organization (IMIDRO), 2021. Final report of exploration operations at the Janja prospect. Sistan and Baluchestan Province Industry, Mine and Trade Organization, Iran, 329 p. (In Persian).
- Jamshidi, M., 2011. Skarn formation and copper mineralization in Garbodar, southeast of Bazman Volcano. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 205 p. (In Persian).

- Jonkovic, S., 1977. The copper deposits and geotectonic setting of the Tethyan Eurasian metallogenic belt. *Mineralium Deposita*, 12(1): 37–47.
- Kadab, N., 2012. *Economic geology and Cu mineralization in Nazil area, south of Zahedan, east of Iran*. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 164 pp. (In Persian).
- Kargari, F., 2012. *Mineralogy, geochemistry, and genesis of Sardasht manganese deposit, southeast of Iran*. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran. (In Persian).
- Kazemi Ghahfarokhi, S.M., 2012. *Genesis of the iron anomaly in the Samsur Plain, southwest of Zahedan*. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 125 p. (In Persian).
- Khalatbari Jafari, M., Rahmani, A., and Shafaii Moghadam, H., 2013. Mineralogical and geochemical investigation of chromite ores from ophiolite complexes of southeast Iran. *Iranian Journal of Earth Sciences*, 5(2): 75–92.
- Khodayari, A., 2024. *Investigation of alteration and Cu and Au mineralization using remote sensing, geological, and lithogeochemical methods in Sahebdad area, northwest of Zahedan, Iran*. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 201 pp. (In Persian).
- Koohsari, M., Boomeri, M., and Bagheri S., 2025. Mineralogy and genesis of antimony mineralization in the Sefidabeh and Heydarabad mines, Sistan Suture Zone, southeast Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 32(3): 509–524. (In Persian).
- Lippard, S.J., Shelton, A.W., and Gass, I.G., 1986. The Ophiolite of Northern Oman. Geological Society of London, Memoir No. 11, Basil Blackwell, Oxford, 178 p.
- Meshkani, S.A., 2014. *Report of prospecting operations in the Siyasetragi area. Sistan and Baluchestan Province Industry, Mine and Trade Organization, Iran, Zar-Azin Gostar Consulting Engineers Company, Vol. 1, 115 p. (In Persian).*
- Mohammadi, A., Burg, J.P., Bouilhol, P., and Ruh, J., 2016. U–Pb geochronology and geochemistry of Zahedan and Shah Kuh plutons, southeast Iran: Implications for closure of the south Sistan Metallogeny Zone, *Lithos*, 248–251, 293–308, doi:10.1016/j.lithos.2016.02.003.
- Mojadadi Moghadam, H., Boomeri, M., and Biabangard, H., 2021. Antimony mineralization and mass transfer in host rocks, Baout, west of Zahedan (southeast of Iran). *Journal of Economic Geology*, 12(4): 471–489. (In Persian).
- Mojadadi Moghadam, H., Boomeri, M., and Biabangard, H., 2022. Petrography and geochemistry of igneous rocks and antimony mineralization in Lakhshak, northwest of Zahedan, southeast of Iran. *Iranian Journal of Geology*, 15(57): 87–106. (In Persian).
- Mokhtari, Z., 2015. *Geochemistry of igneous rocks and associated alteration zones in the Siah-Jangale area, north of Mount Taftan, southeast of Iran: with a special approach to exploration and origin of gold*. Ph.D. Dissertation, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 332 pp. (In Persian).
- Mokhtari, Z., Boomeri, M., and Bagheri, S., 2015a. Application of multifractal modeling technique in systematic lithogeochemical survey to identify Au–Cu anomalies in the Siah-Jangal area, Southeastern of Iran. *Arabian Journal of Geoscience*, 8: 9517–9530. DOI 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 Indian Society Remote Sensing*, 43 (2): 363–377. DOI 10.1007/s12524-014-0422-4.
- Moradi, R., Boomeri, M., Bagheri, S., and Zahedi, A., 2015. Determination of physicochemical conditions and controlling factors of mineralization using mineralogy, paragenetic relationships, and fluid inclusions in the Shourchah stibnite–gold deposit, southeastern Zahedan, *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 23(1), 121–134. (In Persian).
- Narouie, F., 2024. *Lithogeochemical exploration of copper in Mak Sorkh, northwest of Zahedan, Sistan Suture Zone*, 160 pp. (In Persian).
- Nazari, M., Boomeri, M., Biabangard, H., and Nakashima, K., 2022. K- and Na-rich volcanic rocks of Asagi igneous complex, eastern Iran. *Araian Journal of Geosciences* 15: 1025. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10173-8>.
- Perelló, J., Razique, A., Schloderer, J., and Ur-Rehman, A., 2008. The Chagai porphyry copper belt, Baluchistan Province, Pakistan. *Economic Geology*, 103: 1583–1612. DOI:10.2113/gsecongeo.103.8.1583.
- Rahmatian, M.R., Lotfi, M., and Ghaderi, M., 2019. Geochemistry of the Joun Abad manganese deposit, north Khash, Sistan and Baluchestan Province. *Journal of Economic Geology*, 11(1): 81–103. (In Persian).
- Richards, J. P., and Sholeh, A., 2016. The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran. *Economic Geology Special Publication*, 19: 193–212.
- Rigi, A., 2022. *Identification of nickel in the Dahan-e Baghi ophiolites using geochemical methods, northwest of Zahedan, southeastern Iran*. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 206 p. (In Persian).
- Sadeghian, M., Bouchez, J.L., Nédélec, A., Siqueira, R., and Valizadeh, M.V., 2005. The granite pluton of Zahedan (SE Iran): A petrological and magnetic fabric study of a syntectonic sill emplaced in a transtensional setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25: 301–327. DOI:10.1016/S1367-9120(04)00071-9.
- Sahandi, M.R. and Padashi, M., 2005. *Geological map of the Bazman quadrangle, scale 1:100,000*. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (In Persian).

- Samani, B. and Ashtari, S., 1992. Geological evolution of the Sistan and Baluchestan region, *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 1(4), 15–25 (In Persian).
- Seyed Salehi Naeini, P., Alirezaei, S., and Nouri, M.N., 2024. Hydrothermal alteration and gold mineralization in the Kharestan–Bidestar district, Taftan area, southeast Iran. *Journal of Geosciences*, 34(3): 1–16. (In Persian). <https://doi.org/10.22071/gsj.2024.436419.2130>.
- Shafaii Moghadam, H., and Stern, R. J., 2015. Ophiolites of Iran: Keys to understanding the tectonic evolution of SW Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 100: 31–59. DOI:10.1016/j.jseaes.2014.12.016.
- Shahabpour, J., 1982. Aspects of alteration and mineralization at the Sar-Cheshmeh copper–molybdenum deposit, Kerman, Iran. Ph.D. Thesis, University of Leeds, UK, 342 p.
- Sheyhaki, Z., 2018. Mineralogy, alteration, and genesis of copper mineralization in Qaleh Souli, south of Zahedan. M.Sc. Thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 129 pp. (In Persian).
- Tajvar, A., Khatib, M.M., and Zarrinkoub, M.H., 2021. Investigation of the tectonic setting of the North Makran ophiolitic mélange based on mineral chemistry, southeastern Iran, *Advanced Applied Geology*, 11(1), 43–62, doi:10.22055/aag.2020.31127.2041. (In Persian).
- Tirrul R., Bell L. R., Griffis R. J., and Camp V. E., 1983. The Sistan Metallogeny zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94 (1): 134-150.
- Vahdati Daneshmand, F. and Jarjandi, M., 2004a. Geological map of the Maksan quadrangle, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (In Persian).
- Vahdati Daneshmand, F. and Jarjandi, M., 2004b. Geological map of the Hudian quadrangle, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran (In Persian).
- Zahed, M.Y., 2021. Magmatism in Janja area with emphasis on copper–gold mineralization, north of Sefidabeh, eastern Iran. M.Sc. thesis, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, 120 p. (In Persian).
- Zare Motlagh, S., and Aryafar, A., 2010. Statistical studies for determining the influential factors affecting the exploration and economic exploitation of chromite deposits in Sistan and Baluchestan Province. *Proceedings of the First Iranian Economic Geology Conference*, Mashhad, Iran. (In Persian).