Scientific Quarterly Journal of Geosciences, Vol. 36, Issue 3, Serial No. 141, Autumn 2026, pp. 55-78

www.gsjournal.ir

Original Research Paper

Metallogeny in time and space in Sistan and Baluchestan province

Mohammad Bameri* [1]

[1] Department 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-Quatrnary 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.

فصلنامه علمی علوم زمین، پاییز ۱۴۰۵، دوره ۳۶، شماره ۳، پیاپی ۱۴۱، صفحه ۵۵ تا ۷۸

مقاله پژوهشی

پیوند صفحه نخست: www.gsjournal.ir

فلززایی در زمان و مکان در استان سیستان و بلوچستان

محمد بامری*[1]

[1] گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه سیستان وبلوچستان، 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

ماگماتیسم برخوردی و پسابرخوردی

فرورانش

فلززایی

مس پورفیری

چکیده

استان سیستان و بلوچستان در جنوب‌خاور ایران واقع است. زمین‌شناسی، ماگماتیسم و فلززایی (متالوژنی) آن بیشتر تحت تاثیر رویدادهای زمین‌ساختی مرتبط با بازشدن و بسته‌شدن تتیس‌جوان (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 تتیس‌جوان که به‌صورت توالی‌های افیولیتی کرتاسه حفظ شده، میزبان کانه‌زایی‌های کروم، مس، منگنز، آهن، تیتانیم و منیزیم هستند. همراه با گرانیتوییدهای بزمان مرتبط با ماگمای فرورانش کرتاسه، کانه‌زایی‌های آهن، مس، روی، تنگستن و قلع محتمل است. ماگماتیسم فرورانشی و برخوردی ائوسن بالایی تا الیگوسن زیرین به تشکیل سنگ‌های آذرین کالک-آلکالن و گرانیتوییدهای زاهدان شده‌اند و سیالات گرمابی آن باعث کانه‌زایی طلا، آنتیموان و مس شده است. ماگماتیسم پسابرخوردی الیگو-میوسن در بخش شمالی استان، موجب سامانه‌های کانه‌زایی پورفیری، اپی‌ترمال و اسکارنی در مناطق لار، جانجا، سیاستراگی، کفتَارکوه، کله گر و آسَاگی شده است. ماگماتیسم الیگومیوسن مرتبط با فرورانش همچنین موجب ایجاد کانه‌زایی آهن اسکارنی، مس-طلای پورفیری و طلای اپی‌ترمال در مناطق سمسور، میرآباد، قلعه‌صولی، بیدستر، کوه مادفتی، خارستان و سرکهنو گردیده‌اند. ماگماتیسم پلیو-کواترنر مرتبط با فرورانش در تفتان و بزمان از نظر کانه‌زایی طلا و پتانسیل انرژی زمین‌گرمایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۱- پیش‌نوشتار

استان سیستان و بلوچستان در جنوب‌خاوری ایران واقع شده است. تاکنون آمار دقیق 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 چهل‌کوره از سال‌ها پیش مورد بهره‌برداری قرار گرفته و توانایی تولید کنسانتره مس را داراست و در معدن سفیدابه و حیدرآباد، شمش آنتیموان تولید می‌شود. زمین‌شناسی، ماگماتیسم و فلززایی (متالوژنی) این استان تا حد زیادی تحت تاثیر رویدادهای زمین‌ساختی مرتبط با باز شدن و بسته‌شدن اقیانوس تتیس‌جوان قرار داشته 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، به‌واسطه 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 بهره برداری 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 طلای 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

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

ماخذنگاری:

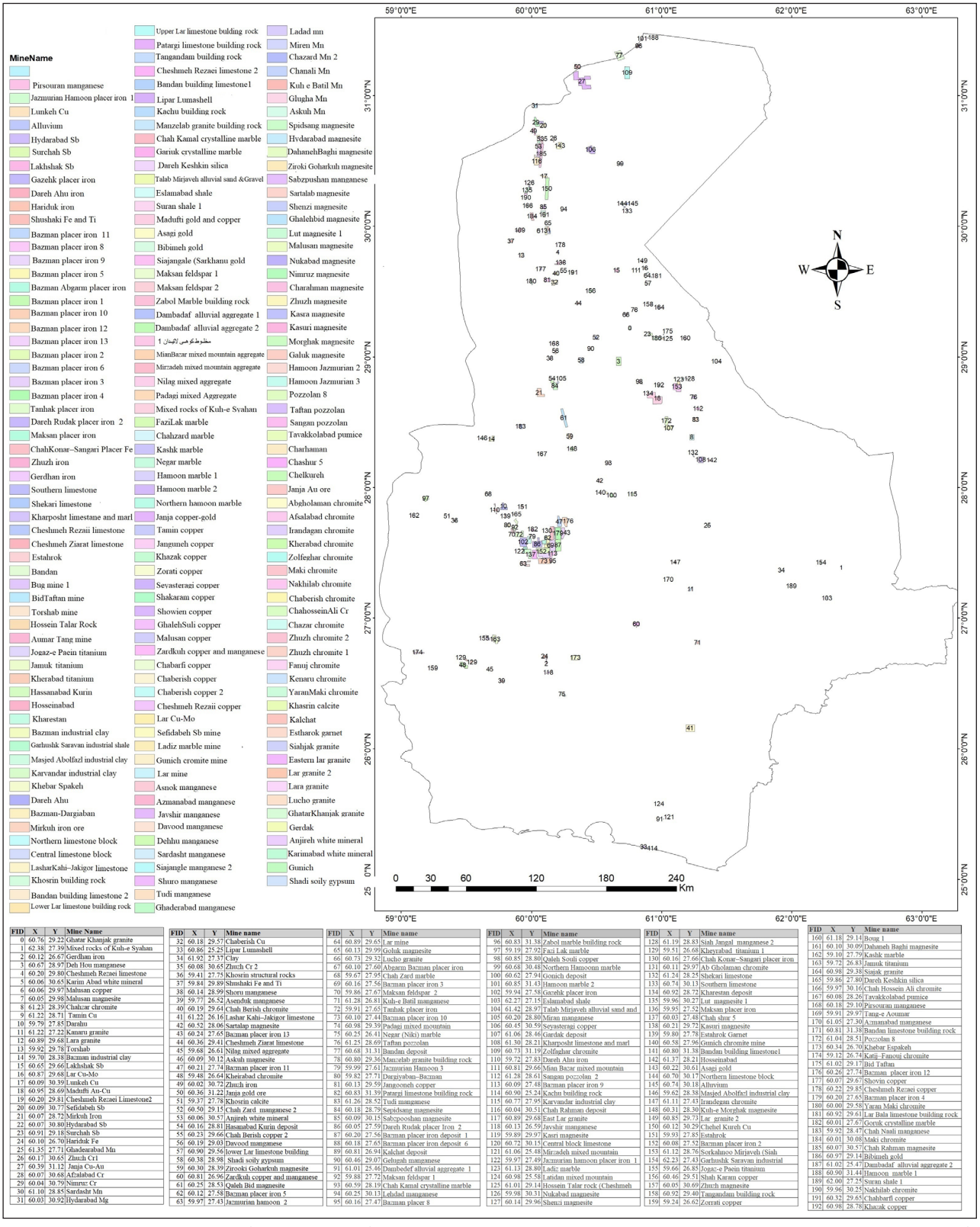
بامری، م.، ۱۴۰۵، فلززایی در زمان و مکان در استان سیستان و بلوچستان. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۶(۳)، ۱۴۱، ۵۵-۷۸. https://doi.org/10.22071/gsj.2026.578880.2248.

doi: 10.22071/gsj.2026.578880.2248 dor: 20.1001.1.10237429.1405.36.3.3.5

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/)

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



FID	X	Y	Mine Name
0	60.76	29.22	Ghatar Khanjak granite
1	62.38	27.39	Mixed rocks of Kuh-e Syahan
2	60.12	26.67	Gerdan iron
3	60.67	28.97	Deh Hou manganese
4	60.20	29.80	Cheshmeh Rezaei limestone
5	60.06	30.65	Karim Abad white mineral
6	60.06	29.97	Malusan copper
7	60.05	29.98	Malusan manganese
8	61.23	28.39	Chahzar chromite
9	61.22	28.71	Tamin Cu
10	59.79	27.85	Darahu
11	61.22	27.22	Kanaru granite
12	60.89	29.68	Lara granite
13	59.92	29.78	Torshab
14	59.70	28.38	Bazman industrial clay
15	60.65	29.66	Lakhshak Sb
16	60.87	29.68	Lar Cu-Mo
17	60.09	30.39	Lunkeh Cu
18	60.95	28.69	Madufti Au-Cu
19	60.20	29.81	Cheshmeh Rezaei Limestone2
20	60.09	30.77	Sefidabeh Sb
21	60.07	28.72	Mirkuh Iron
22	60.07	30.80	Hydarabad Sb
23	60.91	29.18	Surchah Sb
24	60.10	26.70	Hariduk Fe
25	61.35	27.71	Ghadeanbad Mn
26	60.17	30.65	Zhuzh Cr1
27	60.39	31.12	Janja Cu-Au
28	60.07	30.68	Afzalabad Cr
29	60.04	30.79	Nimruz Cr
30	61.10	28.85	Sardasht Mn
31	60.03	30.92	Hydarabad Mg

FID	X	Y	Mine name
32	60.18	29.57	Chaberish Cu
33	60.86	25.25	Lipar Lumashell
34	61.92	27.37	Clay
35	60.08	30.65	Zhuzh Cr 2
36	59.41	27.75	Khosrin structural rocks
37	59.84	29.89	Shushaki Fe and Ti
38	60.14	28.99	Shoru manganese
39	59.77	26.52	Asenduk manganese
40	60.19	29.64	Chah Berish chromite
41	61.22	26.16	Lashar Kahi–Jakigor limestone
42	60.52	28.06	Sartalap magnesite
43	60.24	27.65	Bazman placer iron 13
44	60.36	29.41	Cheshmeh Ziarat limestone
45	59.68	26.61	Nilag mixed aggregate
46	60.09	30.12	Askuh magnesite
47	60.21	27.74	Bazman placer iron 11
48	59.48	26.64	Kheirabad chromite
49	60.02	30.72	Zhuzh iron
50	60.36	31.22	Janja gold ore
51	59.37	27.78	Khosrin calcite
52	60.50	29.15	Chah Zard manganese 2
53	60.06	30.57	Anjireh white mineral
54	60.16	28.81	Hasanabad Kurin deposit
55	60.23	29.66	Chah Berish copper 2
56	60.19	29.03	Davood manganese
57	60.90	29.56	lower Lar limestone building
58	60.38	28.98	Shadi soily gypsum
59	60.30	28.39	Zirooki Goharkuh magnesite
60	60.81	26.96	Zardkuh copper and manganese
61	60.25	28.53	Qaleh Bid magnesite
62	60.12	27.58	Bazman placer iron 5
63	59.97	27.43	Jazmurian hamoon 2

FID	X	Y	Mine name
64	60.89	29.65	Lar mine
65	60.13	29.99	Goluk magnesite
66	60.73	29.32	Lucho granite
67	60.10	27.60	Abgarm Bazman placer iron
68	59.67	27.95	Chah Zard marble
69	60.16	27.56	Bazman placer iron 3
70	59.86	27.67	Maksan feldspar 2
71	61.28	26.81	Kuh-e Batil manganese
72	59.91	27.65	Taftak placer iron
73	60.10	27.44	Bazman placer iron 10
74	60.98	29.39	Padagi mixed mountain
75	60.25	26.41	Negar (Nik) marble
76	61.25	28.69	Taftan pozzolan
77	60.68	31.31	Baudan deposit
78	60.80	29.36	Manzelab granite building rock
79	59.99	27.61	Jazmurian Hamoon 3
80	59.82	27.71	Dargiyaban–Bazman
81	60.13	29.59	Jangoomeh copper
82	60.83	31.39	Patargi limestone building rock
83	61.26	28.52	Tudi manganese
84	60.18	28.79	Sepidsang magnesite
85	60.09	30.15	Sabzpooshan magnesite
86	60.05	27.59	Dareh Rudak placer Iron 2
87	60.20	27.56	Bazman placer iron deposit 1
88	60.18	27.65	Bazman placer iron deposit 6
89	60.81	26.94	Kalchat deposit
90	60.46	29.07	Gelugah manganese
91	61.01	25.46	Dambedef alluvial aggregate 1
92	59.88	27.72	Maksan feldspar 1
93	60.59	28.19	Chah Kamal crystalline marble
94	60.25	30.13	Lehdad manganese
95	60.16	27.47	Bazman placer 8

FID	X	Y	Mine name
96	60.83	31.38	Zabol marble building rock
97	59.19	27.92	Fazi Lak marble
98	60.85	28.80	Qaleh Souli copper
99	60.68	30.48	Northern Hamoonn marble
100	60.62	27.94	Gonich deposit
101	60.85	31.43	Hamoon marble 2
102	59.94	27.58	Gazehk placer iron
103	62.27	27.15	Eslamabad shale
104	61.42	28.97	Talab Mirjaveh alluvial sand and
105	60.20	28.80	Miran manganese
106	60.45	30.59	Seyasteraqi copper
107	61.06	28.46	Gardak deposit
108	61.30	28.21	Kharposht limestone and marl
109	60.73	31.19	Zolfaghar chromite
110	59.72	27.83	Dareh Ahu iron
111	60.81	29.66	Mian Bazar mixed mountain
112	61.28	28.61	Saugan pozzolan 2
113	60.09	27.48	Bazman placer iron 9
114	60.90	25.24	Kachu building rock
115	60.77	27.95	Karvandar industrial clay
116	60.04	30.51	Chah Rahman deposit
117	60.89	29.68	East Lar granite
118	60.13	26.59	Javshir manganese
119	59.89	29.97	Kasri magnesite
120	60.72	30.15	Central block limestone
121	61.06	25.48	Mirzadeh mixed mountain
122	59.97	27.49	Jazmurian hamoon placer iron 1
123	61.13	28.80	Ladiz marble
124	60.98	25.58	Latidan mixed mountain
125	61.01	29.14	Hossein Talar rock (Cheshmeh
126	59.98	30.51	Nukabad magnesite
127	60.14	29.96	Shenzi magnesite

FID	X	Y	Mine name
128	61.19	28.83	Siah Jangal manganese 2
129	59.51	26.68	Kheyrabad titanium 1
130	60.16	27.66	Chah Konar–Sangari placer iron
131	60.11	29.97	Ab Gholaman chromite
132	61.24	28.25	Shekari limestone
133	60.74	30.13	Southern limestone
134	60.92	28.72	Kharestan deposit
135	59.96	30.27	Lut magnesite 1
136	59.95	27.52	Maksan placer iron
137	60.03	27.48	Chah shur 5
138	60.21	29.72	Kasuri magnesite
139	59.80	27.78	Estahrok Garnet
140	60.58	27.96	Gunich chromite mine
141	60.80	31.38	Bandan building limestone1
142	61.37	28.21	Hosseinabad
143	60.22	30.61	Asagi gold
144	60.70	30.17	Northern limestone block
145	60.74	30.18	Alluvium
146	59.62	28.38	Masjed Abolfazl industrial clay
147	61.11	27.43	Irandegan chromite
148	60.31	28.30	Kuh-e Morghak magnesite
149	60.85	29.73	Lar granite 2
150	60.12	30.29	Chehel Kureh Cu
151	59.93	27.85	Estahrok
152	60.08	27.52	Bazman placer iron 2
153	61.12	28.76	Sorkahuoo Mirjaveh (Siah
154	62.23	27.43	Garlushk Saravan industrial
155	59.66	26.85	Jogaz-e Paein titanium
156	60.46	29.51	Shah Karam copper
157	60.05	30.69	Zhuzh magnesite
158	60.92	29.40	Tangandam building rock
159	59.24	26.62	Zorrati copper

FID	X	Y	Mine name
160	61.18	29.14	Boug 1
161	60.10	30.09	Dahaneh Baghi magnesite
162	59.10	27.79	Kashk marble
163	59.72	26.83	Jamuk titanium
164	60.98	29.38	Siajak granite
165	59.86	27.80	Dareh Keshkin silica
166	59.97	30.16	Chah Hossein Ali chromite
167	60.08	28.26	Tavakkolabad pumice
168	60.18	29.10	Pirsouran manganese
169	59.91	29.97	Tang-e Aoumar
170	61.05	27.30	Azmanabad manganese
171	60.81	31.38	Bandan limestone building rock
172	61.04	28.51	Pozzolan 8
173	60.34	26.70	Khebar Espakeh
174	59.12	26.74	Katij–Fanouj chromite
175	61.02	29.17	Bid Taftan
176	60.26	27.74	Bazman placer iron 12
177	60.07	29.67	Shovin copper
178	60.22	29.85	Cheshmeh Rezaei copper
179	60.20	27.65	Bazman placer iron 4
180	60.00	29.58	Yarau Maki chromite
181	60.92	29.61	Lar Bala limestone building rock
182	60.01	27.67	Goruk crystalline marble
183	59.92	28.47	Chah Naali manganese
184	60.01	30.08	Maki chromite
185	60.07	30.57	Chah Rahman magnesite
186	60.97	29.14	Bibimeh gold
187	61.02	25.47	Dambadaf alluvial aggregate 2
188	60.90	31.44	Hamoon marble 1
189	62.00	27.25	Suran shale 1
190	59.96	30.25	Nakhilab chromite
191	60.32	29.65	Chahbarfi copper
192	60.98	28.78	Khazak copper

شکل ۱- نقشه محدوده‌های معدنی دارای پروانه اکتشاف در استان سیستان و بلوچستان، راهنمای شماره‌های روی شکل در بخش زیرین شکل آورده شده است.

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.

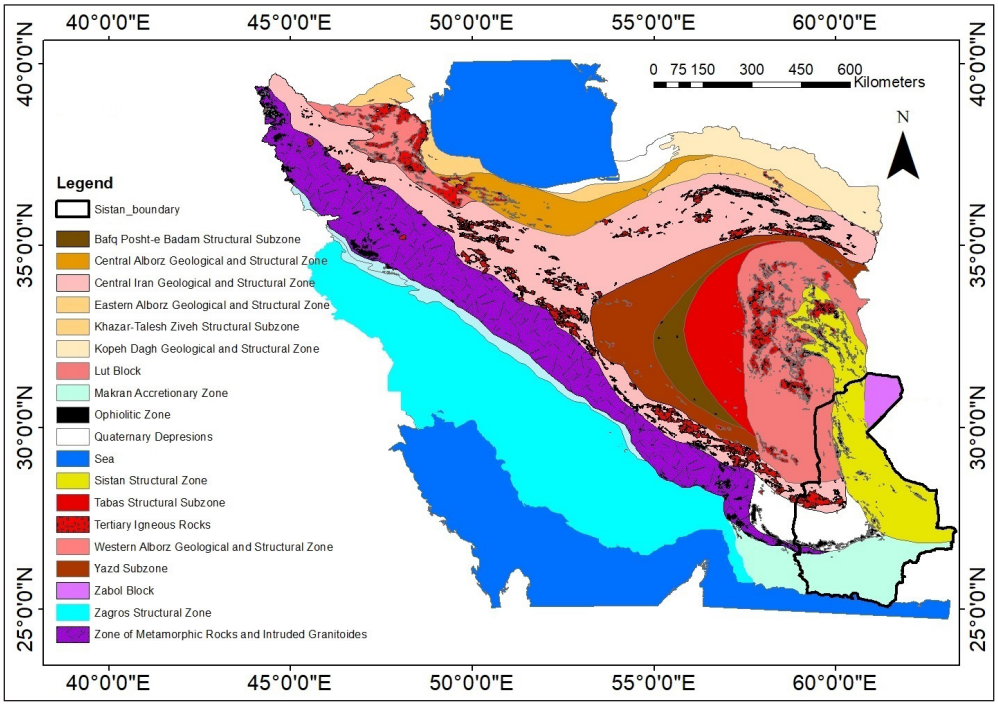
Ore deposit	Type	Host rock	Age	Shape	Tectonic setting	Reference
Cr: Chahberish, Makki, Zardgard, Talarun, ...	Alpine	Cretaceous ophiolite	Cretaceous	Lenticular	Supra-subduction Zone (SSZ)	Zare-Motlagh and Ariafar (2010)
Gerbodar copper deposit	Skarn	Permian marble	Late Cretaceous	Vein	Subduction	Jamshidi (2011)
Mn: Sardasht, Espakeh, Junabad, …	Hydrothermal	Cretaceous ophiolite, Eocene purple shale	Cretaceous–Eocene	Stratifor, 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)
Siahjangal 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)
Dargiaban gold	Epithermal, Mesothermal	Eocene flysch, Oligocene subvolcanic rocks	Oligocene	Vein	Collision-related	Bagherifar (2008)
Dargiaban 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)
Lakhshak 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)
Taktelar 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

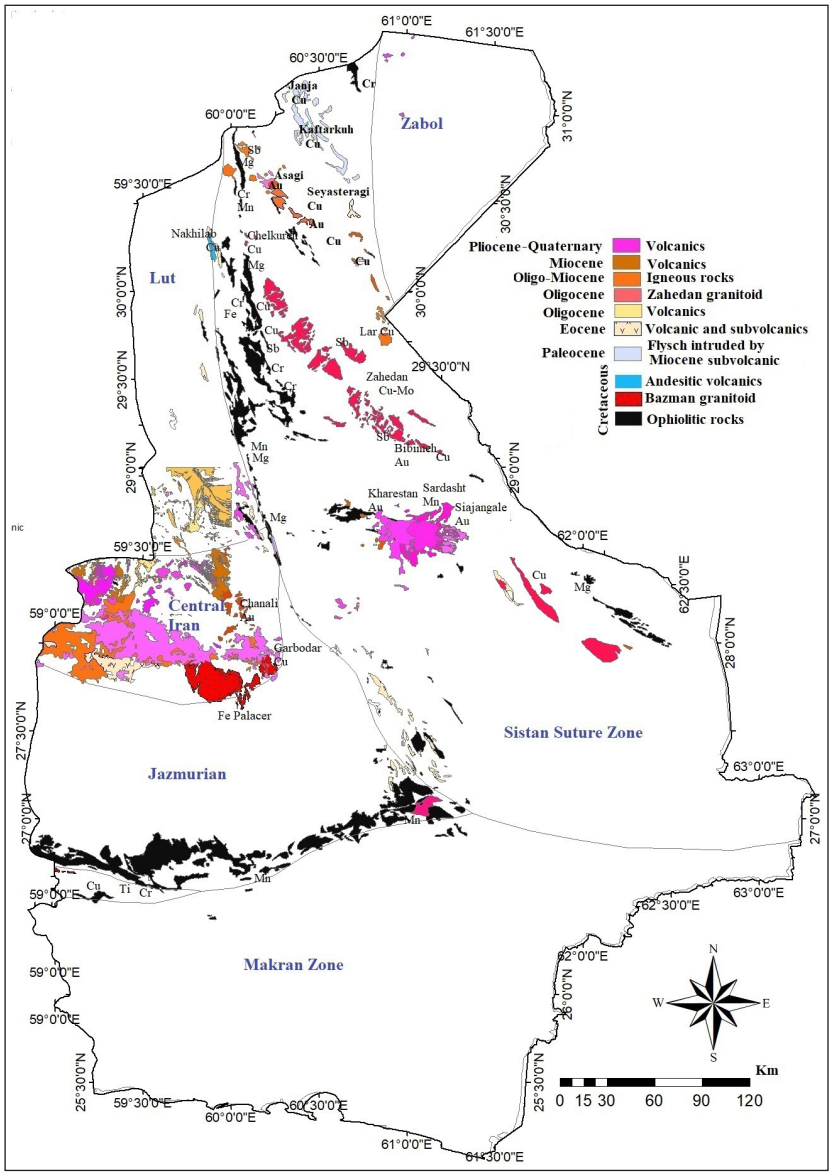
استان سیستان و بلوچستان همانند سایر بخش‌های ایران بخشی از کمربند آلپ-هیمالیا و در پهنه برخوردی بین شمال گندوانا (صفحه عربی) با اوراسیا واقع شده است. بر اساس نقشه پهنه‌های زمین‌شناسی ایران (آقانباتی، ۱۳۸۳)، بخش‌هایی از پهنه‌های مکران، زمین‌درز سیستان، ایران مرکزی، لوت و سنندج-سیرجان و فرورفتگی‌های زابل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

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

قدیمی‌ترین سنگ‌ها در استان سیستان و بلوچستان شامل سنگهای پالئوزوییک و به‌ویژه سازندهای سردر و جمال می‌شود که در پهنه ایران مرکزی واقع می‌شوند (وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳الف، ب). این سنگ‌های رسوبی بخش‌هایی از گندوانای شمالی هستند که طی فازهای کوهزایی هرسی‌نین و سیمیرین پیشین شکل گرفته‌اند. سنگ‌های پرکامبرین و پالئوزوییک در پهنه‌های مکران و زمین‌درز 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 زمین‌درز 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، گرانیت بزمان با سن کرتاسه بالایی در واحدهای سنگی پالئوزوییک نفوذ کرده است که از نظر زمانی با فاز کوهزایی لارامید تطابق دارد. توالی افیولیتی با سن کرتاسه بالایی هم در پهنه مکران و هم در پهنه زمین‌درز سیستان دارای برون‌زدهای گسترده‌ای می‌باشند و بقایای پوسته اقیانوسی تتیس‌جوان می‌باشند. توالی فلیشی گسترده‌ترین توالی سنگی در سیستان و بلوچستان است که هم در پهنه مکران و هم در پهنه زمین‌درز 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 زمین‌درز دچار دگرگونی ضعیف ناحیه‌ای و دینامیکی شده‌اند. سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن بیشتر به صورت ملانژ، کنگلومرا و مولاس در پهنه‌های مکران و زمین‌درز برون‌زد دارند. در پهنه ایران مرکزی و بلوک لوت این استان، سنگ‌های آتشفشانی (ولکانیکی) ائوسن تا کواترنری کم‌وبیش گسترش دارند. در پهنه زمین‌درز سیستان همراه با فرورانش، بسته شدن و پس از بسته شدن اقیانوس تتیس‌جوان 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).



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

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 فرورانش 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 فرورانش در دوره پالئوسن -ائوسن زیرین در پهنه زمین‌درز سیستان، ۵- فلززایی مرتبط به بسته شدن تتیس‌جوان در ائوسن بالایی-الیگوسن در پهنه زمین‌درز سیستان، ۶- فلززایی مرتبط با رویدادهای ماگمایی پسابرخورد بلوک لوت و افغان با پهنه زمین‌درز سیستان.

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

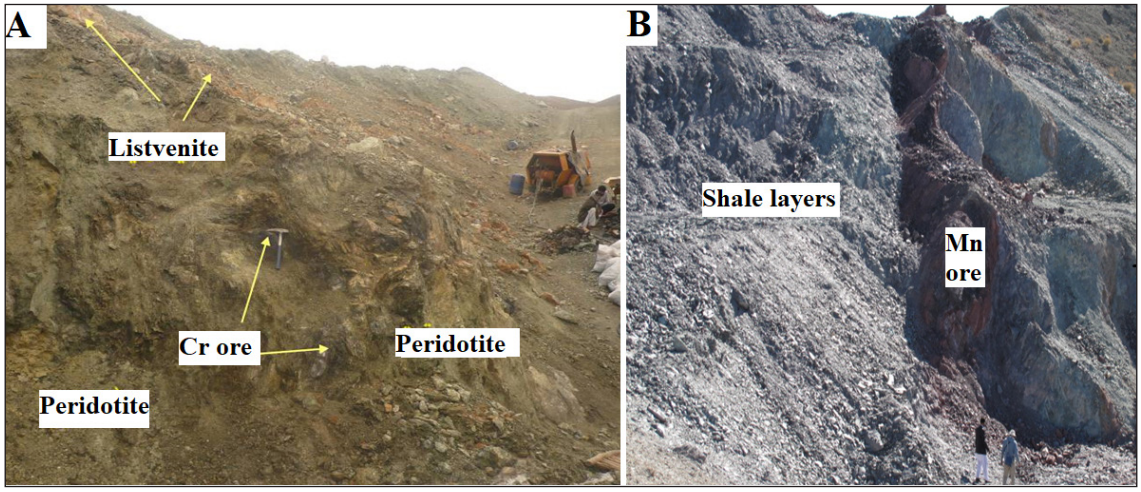
توالی‌های افیولیتی در استان سیستان و بلوچستان از گسترش زیادی برخوردار می‌باشند و هم در پهنه زمین‌درز سیستان و هم در پهنه مکران، قدیمی‌ترین توالی‌های سنگی می باشند (Shafaii Moghadam and Stern, 2015; Khalatbari Jafari et al., 2013) (شکل ۳). این مجموعه‌ها بقایای پوسته اقیانوس تتیس‌جوان می‌باشند. بازشدن و تشکیل تتیس‌جوان در خاور ایران از اوایل تریاس و کمی جلوتر شروع و در کرتاسه پایانی-ترشیاری بسته شده است. در استان سیستان و بلوچستان سن جایگیری مجموعه‌های افیولیتی، کرتاسه بالایی و پیش از ائوسن گزارش شده (Lippard et al., 1986؛ دلاوری و توکلی، ۱۴۰۴). بخش‌هایی از توالی‌های افیولیتی در دوره‌های بعدتر 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 فنوج-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-جنوب خاور 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 می کند و دسته‌ای که در خاور نصرت‌آباد بوده و از چهل کوره به سمت دومک و کوه تفتان ادامه یافته و تا حاشیه باختری دشت تهلاب 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

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 کرومیتیت، سنگ‌های مافیک شامل گابرو، دیاباز و بازالت‌های بالشی، سنگ‌های حدواسط بیشتر شامل دیوریت و آندزیت و سنگ‌های اسیدی شامل پلاژیوگرانیت، داسیت و ریولیت می‌باشند (ریگی، ۱۴۰۱). پریدوتیت‌ها در توالی‌های افیولیتی استان اغلب به سرپانتینیت تبدیل شده‌اند.

توالی‌های افیولیتی از نظر فلززایی برای استان سیستان و بلوچستان پربار بوده و میزبان کانی‌زایی‌های کروم، منگنز، مس، آهن، تیتانیم می‌باشند. پریدوتیت‌های دگرسان شده برای اکتشاف و استخراج تالک، آزبست و منیزیت نیز مهم می‌باشند. از مهم‌ترین معادن در افیولیت‌های استان، می‌توان به معادن کروم مدانچ، آب غلامان، چاه حسینعلی، گونیچ، چهزار، ژوژ و چاه بریش، معادن منگنز آسن دوک، خیر، اسپکه، جون‌آباد و سردشت، معادن تیتانیم جاموک و جوگز، معدن مس ذرتی (فنوج)، معدن آهن گردهان و اندیس نیکل طاها اشاره نمود.

کانسارهای کروم استان از نوع آلپی هستند که بیشتر به شکل عدسی‌های کوچک در پریدوتیت‌های سرپانتینی شده مشاهده می‌شوند (شکل ۴-A). کانسارهای تیتان و آهن ماگمایی نیز کوچک و بیشتر همراه با گابرو می‌باشند. برخی از اندیس‌های آهن همراه با افیولیت‌ها بر اثر فرایند های سوپرژن و از تجزیه رگه‌های سولفیدی حاصل شدند. اندیس‌های مس در این توالی ها اغلب رگه‌ای و گاه عدسی می‌باشند که مرتبط با چشمه‌های آب گرم زیردریایی و مشابه با سولفیدهای توده‌ای نوع 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-B). 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 اولیوین، ارتوپیروکسن وکرومیت در سنگ‌های اولترامافیک و کرومیتیت‌های این منطقه، جزایر کمانی می‌باشد (بومری، ۱۴۰۱) و با توجه به محتوای بالای Cr# و میزان پایین TiO_2 در کرومیت، ترکیب ماگمای سازنده آن‌ها در حدود نواحی پیش‌کمانی (محدوده بونینیت‌ها) قرار می‌گیرد (بومری، ۱۴۰۱). بونینیت‌ها ماگماهای آندزیتی-بازالتی غنی از Cr-Ni-Mg می‌باشند که در نواحی فرورانش حاشیه قاره‌ها (نواحی پیش‌کمانی) 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 فرافرورانش (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). معدن آزبست حاجات تنها معدن پنبه نسوز ایران بود که فعلا متروکه شده است.



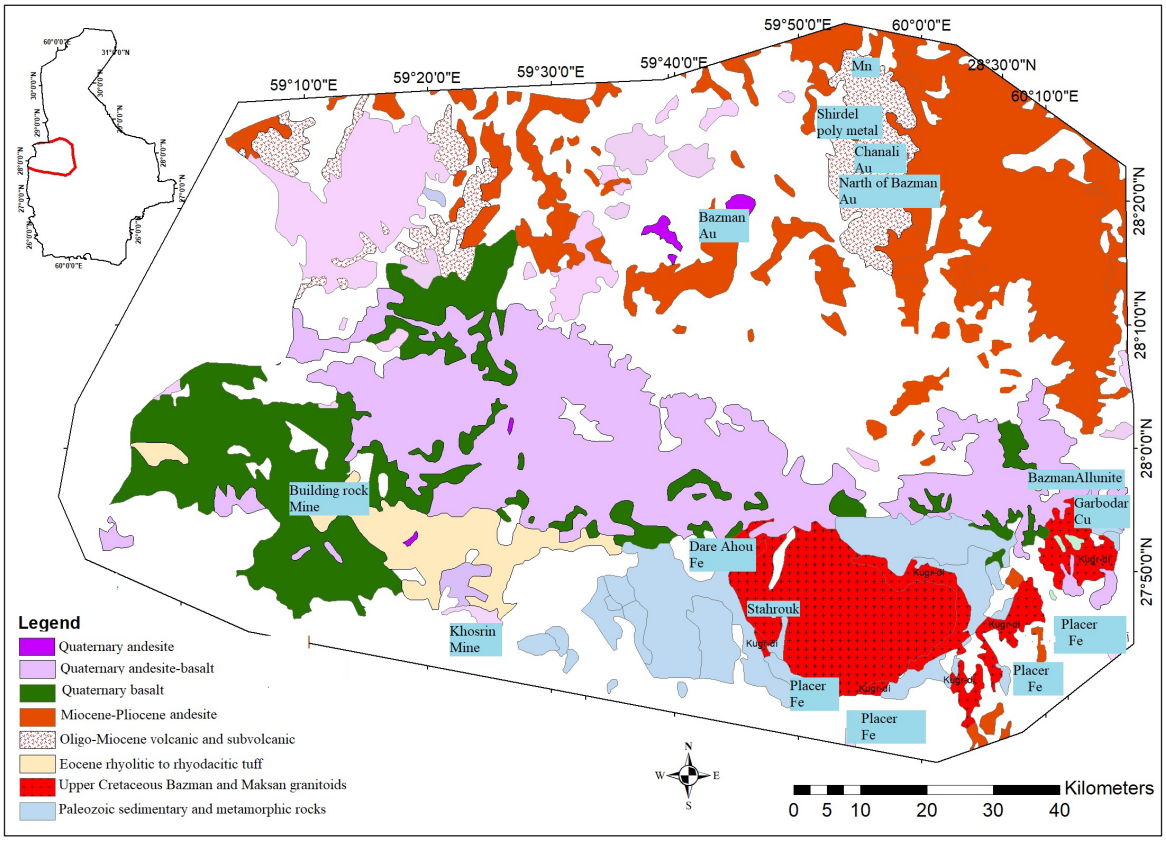
شکل ۴- عکس صحرایی از کانی‌زایی، A) کروم به شکل عدسی (لنز) در معدن چابریش و، B) منگنز به شکل رگه در معدن سردشت.

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

۳-۱-۲- فلززایی 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 پالئوزوییک نفوذ کرده و یکی از مهم‌ترین توده‌های نفوذی جنوب‌خاور ایران به‌شمار می‌رود (وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳ب). 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 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. گرانیتوییدهای 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؛ جمشیدی، ۱۳۹۰؛ قدسی و همکاران، ۱۳۹۴).

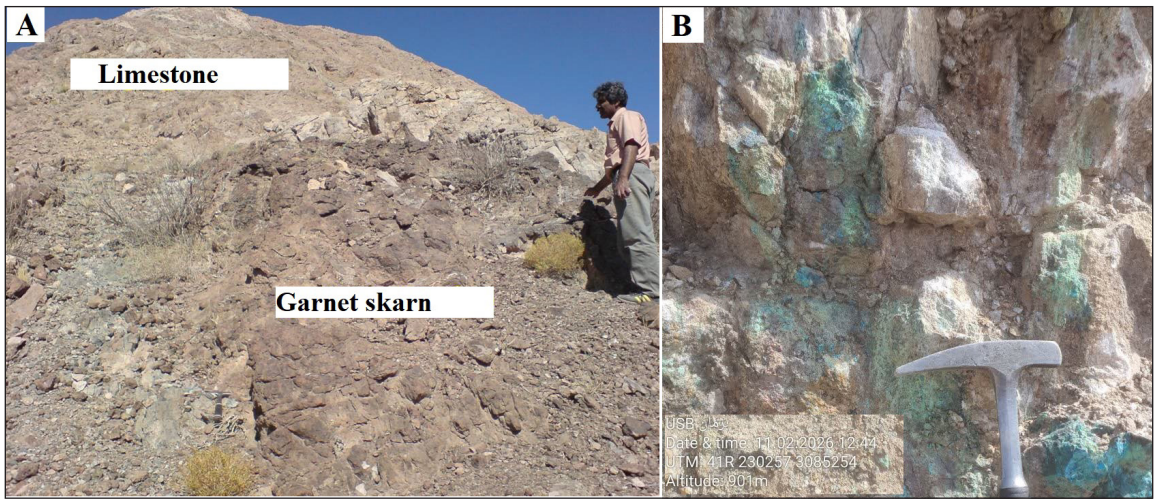


شکل ۵- نقشه زمین‌شناسی ساده شده از پهنه ایران مرکزی در استان سیستان و بلوچستان و محل بعضی از کانسارها روی آن.

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

سنگ‌های میزبان باتولیت بزمان واحدهای رسوبی سازند سردر (کربنیفر) شامل شیل، ماسه‌سنگ و سنگ آهک، و همچنین سازند جمال (پرمین) شامل سنگ آهک و دولومیت می‌باشند. در برخی نواحی، این توده نفوذی توسط واحدهای رسوبی معادل سازند سرخ بالایی و نیز سنگ‌های آتشفشانی جوان‌تر پوشیده شده است (سهندی و پاداشی، ۱۳۸۴؛ وحدتی دانشمند و جرجندی، ۱۳۸۳الف). 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 پالئوزوییک موجب شکل‌گیری یک هاله دگرگونی مجاورتی گسترده و دگرسانی در سنگ‌های دربرگیرنده شده است. در این هاله دگرگونی، انواع هورنفلس، مرمر، رگه‌های سیلیسی‌شده و شواهد گوناگونی از کانی‌زایی فلزی مشاهده می‌شود. این کانی‌زایی‌ها شامل عناصر مس، آهن، بور، تنگستن و عناصر وابسته بوده و به‌طور عمده ماهیت گرمابی دارند و در قالب کانی‌زایی‌های اسکارنی و رگه‌ای گسترش یافته‌اند (بومری، ۱۳۹۳). ویژگی‌های ژئوشیمیایی و زمین‌ساختی گرانیتوییدهای بزمان، از جمله ماهیت کمانی 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 گرانیتوییدها 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 مزوزوییک در کرتاسه بالایی است. این باتولیت احتمالا همزمان با فرورانشی است که توده‌های نفوذی کرتاسه بالایی را در پهنه سنندج-سیرجان به وجود آورده است.

از مهم‌ترین ذخایر و معادن مرتبط با این رویداد ماگمایی می‌توان به کانسار آهن دره‌آهو و کانسار مس گربودر، استحرک، دره‌آهو 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 گربدر در حاشیه شمال خاور باتولیت بزمان در پهنه اسکارن بین سنگ‌های کربناته سازند 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 هدنبرژیت 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 (درگیابان و دره‌آهو)، سنگ چینی (استحرک)، مرمر، تراورتن، گرانیت، گارنت (دره کشکین) و آندالوزیت اشاره کرد (بومری، ۱۳۹۳). کانسارهای آهن پلاسری زیادی به موازات حاشیه جنوبی گرانیتوییید بزمان (بخش باختری) در آبراهه و رسوبات کواترنری یافت می‌شود (شکل ۵).

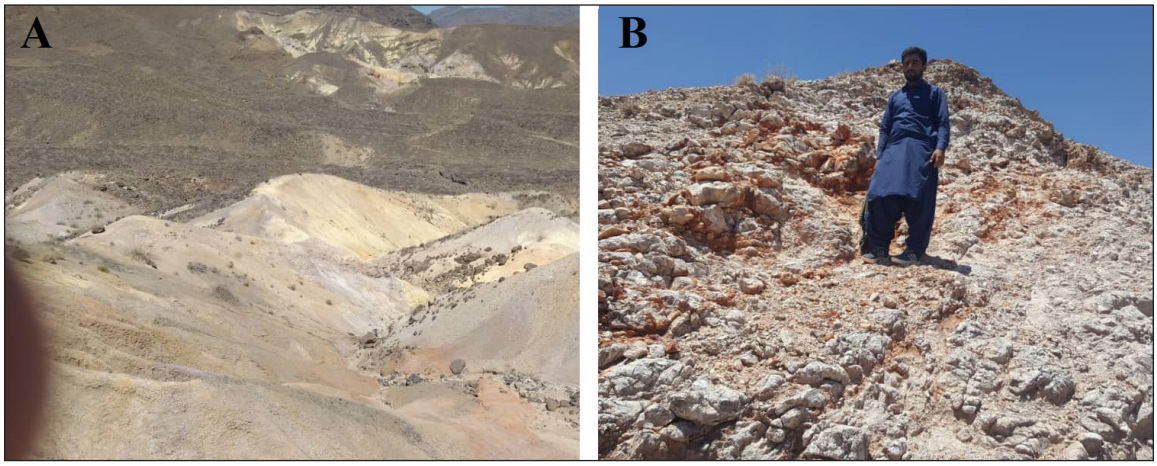


شکل ۶- عکس‌های صحرایی از کانسار مس گربودر. A) برون‌زد اسکارن در همبری بین سنگ‌های کربناته و گرانیت (دید رو به شمال). B) کانی‌زایی مس در گارنت اسکارن از نمای نزدیک.

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.

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

یکی از مهم‌ترین کمان‌های ماگمایی در ایران که میزبان کانسارهای بزرگی است، کمان ماگمایی ارومیه- دختر می‌باشد. این کمان که به موازات نوار سنندج- سیرجان و کمربند زاگرس می‌باشد، مهم‌ترین کمربند فلززایی مس و طلای ایران است. این کمربند معلول فازهای کوهزایی آلپی از زمان مزوزوییک تا اواخر سنوزوییک است. بیشتر کانسارهای مس پورفیری ایران هم در این کمربند قرار دارند (Bazin and Hubner, 1969; Jonkovic, 1977; Forster, 1978; Shahabpour, 1982; Dimitrijevic et al., 1971). بخش جنوب خاوری کمان ماگمایی ارومیه- 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 ۷-A 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.



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 overlayered by Quaternary volcanic rocks in the northeast of Houdian village. A) Diorites that underwent argillic alteration. B) Diorites that underwent silicic alteration.

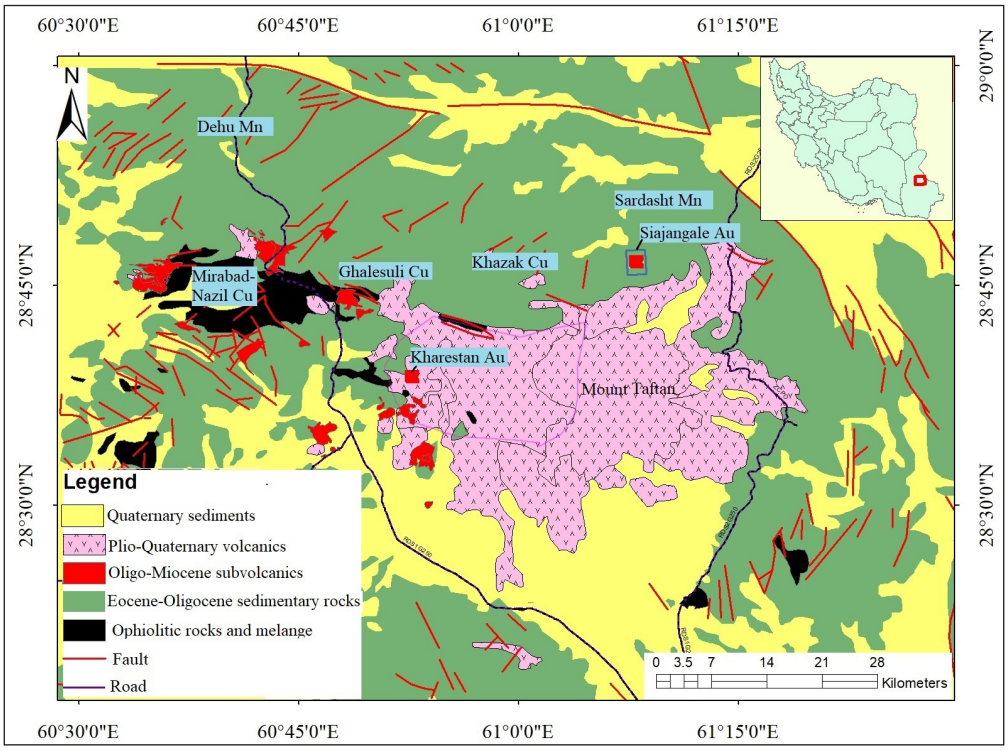
تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر به موجب فرورانش تتیس‌جوان از جنوب باختر به زیر زاگرس می‌باشد. اما ادامه این کمان به سمت سیستان و بلوچستان و پاکستان در این دوره به فرورانش صفحه عربی به زیر بلوک لوت، پهنه زمین‌درز سیستان، کمان ماگمایی چاغی و بلوک افغان در آن زمان نسبت داده می‌شود که موجب ماگماتیسم‌های پراکنده‌ای در ایران و ماگماتیسم‌های 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 کالک‌آلکالن 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 وکوه 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 (استراتوولکان) در استان سیستان و بلوچستان می‌باشند که از ماگماهای کالک‌آلکالن حاصل شدند.

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 نقره اپی‌ترمال 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-آلکالن از الیگوسن تا آتشفشانی‌های کواترنری می‌شوند. در محدوده‌های چاه نعلی 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-آلکالن و متعلق به جایگاه زمین‌ساختی فرورانش حاشیه قاره می‌باشند و برای شناسایی کانسارهای پورفیری و اپی‌ترمال پتانسیل دارند. در محدوده خارستان-بیدستر و مادوفتی استخراج کانسنگ‌های طلا شروع شده است. برای این کانسار در ۳ بلوک تقریبا 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.

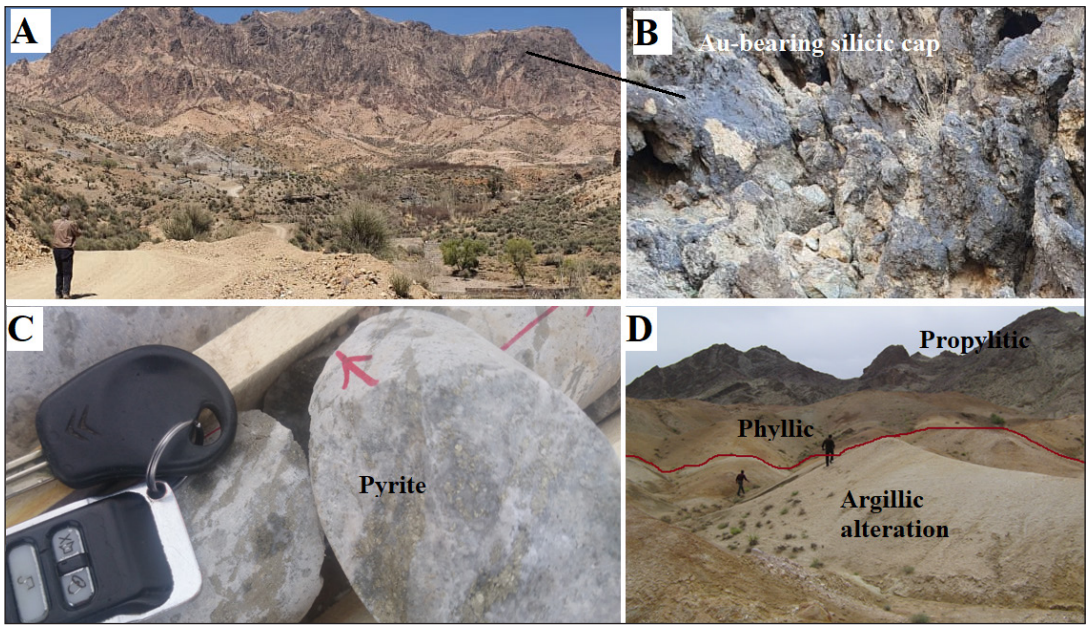


شکل ۸- نقشه زمین‌شناسی ساده شده از نواحی خارستان، بیدستر، سیاجنگل و کوه تفتان و محل بعضی از کانسارها روی آن.

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

یک واحد نیمه‌ژرف داسیتی در منطقه خارستان شامل بیدستر، مادوفتی و تیلویی دارای دگرسانی‌های سیلیسی، فیلیک و آرژیلیکی می‌باشد. گسترش دگرسانی در جنوب‌خاور محدوده (محدده 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 کاملا برشی شده و به صورت محلی، کانی‌های اکسیدی وسولفیدی 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. ستبرترین پوشش سیلیسی (داسیت سیلیسی) در کوه مادافتی قرار دارد که ستبرای میانگین آن حدود ۱۰۰ متر می‌باشد (شکل ۹-A و B). 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 شمال خاور 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 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-C) و کالکوپیریت و گالن به مقدار جزئی و محصولات برون‌زاد شامل هیدرواکسیدهای آهن و به‌ندرت کربنات‌های مس می‌باشند. انواع دگرسانی‌ها شامل پروپیلیتیک، آرژیلیک و فیلیک است (شکل ۹-D). رگه‌های سیلیسی متعددی نیز در این محدوده وجود دارند که احتمالا با دگرسانی پتاسیک در ژرفا مرتبط باشند. بررسی سیالات درگیر 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).



شکل ۹- A) وجود یک پوشش سیلیسی (لیتوکپ) بر روی یک واحد داسیتی دگرسان شده درمحدوده مادوفتی، دید به سمت شمال خاور، 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.

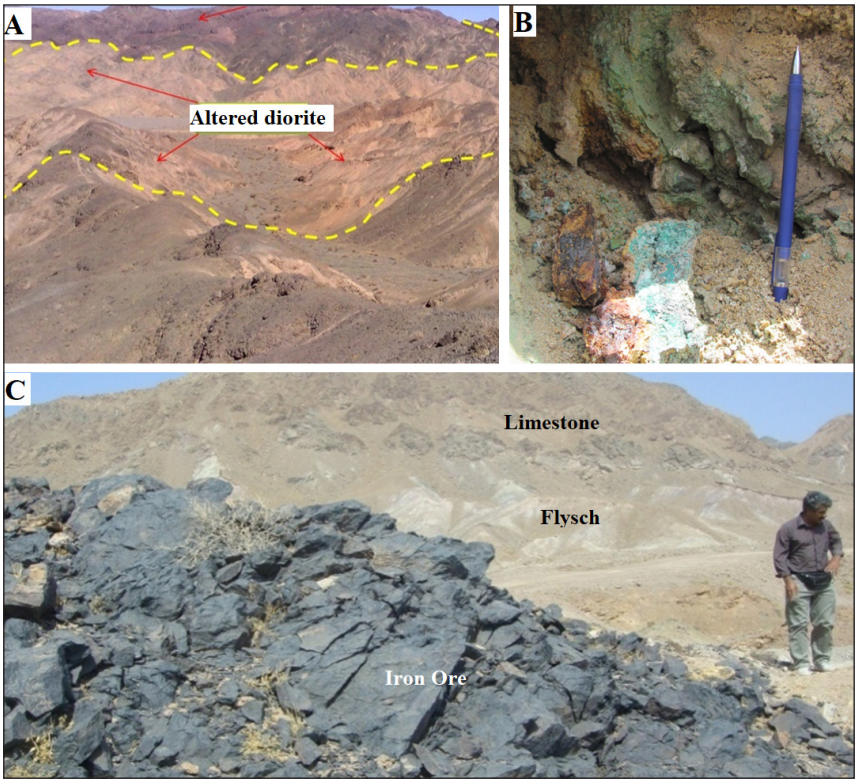
Figure 9- A) The presence of a siliceous lithocap on an altered dacitic unit in Madofti area, (view toward northeast), B) A part of the silicic lithocap from a close-up view at Madofti area, C) Presence of pyrite and quartz veins in the drill cores of Siajangale area, D) Alteration types from Siajangale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

۳-۱-۴- فلززایی مرتبط به فرورانش در دوره پالئوسن -ائوسن زیرین در پهنه زمین‌درز 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 در ایران بوده‌اند. گزارش‌های اندکی از ماگماتیسم پالئوسن-ائوسن و کانی‌زایی‌های مرتبط با آن در پهنه زمین‌درز سیستان در دسترس است. شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهند که همزمان با ته‌نشست فلیش‌ها، فعالیت‌های ماگمایی متنوعی نیز رخ داده است؛ به‌گونه‌ای که میان‌لایه‌هایی از بازالت و آندزیت در بین لایه‌های فلیشی مشاهده می‌شود و یا سنگ‌های نیمه‌نفوذی و خروجی با ماهیت کالک-آلکالن به صورت گنبد،

گدازه و آذرآواری، فلیش‌ها را همراهی می‌کنند. در اثر فرورانش اقیانوس تتیس جوان به زیر بلوک لوت و بلوک افغان در اواخر کرتاسه، ماگماتیسم پراکنده‌ای در پهنه زمین‌درز سیستان شکل گرفته است. این ماگماتیسم 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، احتمالا نمونه‌ای از این ماگماتیسم 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 شایان‌توجهی 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 دایک برونزد داشته و شامل گابرو، دیوریت و گرانودیوریت هستند. در واقع این مجموعه سنگی از نظر ژئوشیمیایی، ویژگی‌های ماگماتیسم مرتبط با فرورانش در جایگاه حاشیه قاره‌ای را نشان می‌دهد (هدایتی و همکاران، ۱۳۹۵).

در دشت سمسور (معدن آهن میرکوه)، واقع در باختر پهنه فلیش خاور ایران، توده‌هایی از گرانودیوریت‌ها به همراه آندزیت‌ها برونزد دارند که شواهد ژئوشیمیایی و سنگ‌شناسی آن‌ها نیز بیانگر منشا مرتبط با فرورانش است (عالیان، ۱۳۹۰؛ کاظمی قهفرخی، ۱۳۹۱). سن دقیق این سنگ‌ها به‌طور قطعی مشخص نشده است، اینها از نوع I و کالک-آلکالن بوده و به پهنه فرورانش حاشیه قاره‌ای نسبت داده می‌شوند. در ارتباط با این توده‌ها، اسکارن‌های کلسیک متشکل از گارنت، کلینوپیروکسن و مگنتیت در سنگ‌های میزبان تشکیل شده‌اند. کانی‌زایی آهن بیشتربه صورت توده‌های کوچک پراکنده در فلیش‌ها و سنگ‌های کربناته کرتاسه که مجاور با توده‌های نفوذی می‌باشند رخ داده است (شکل ۱۰-C). همچنین سنگ‌های آندزیتی ائوسن با حجم نسبتا 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.



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).

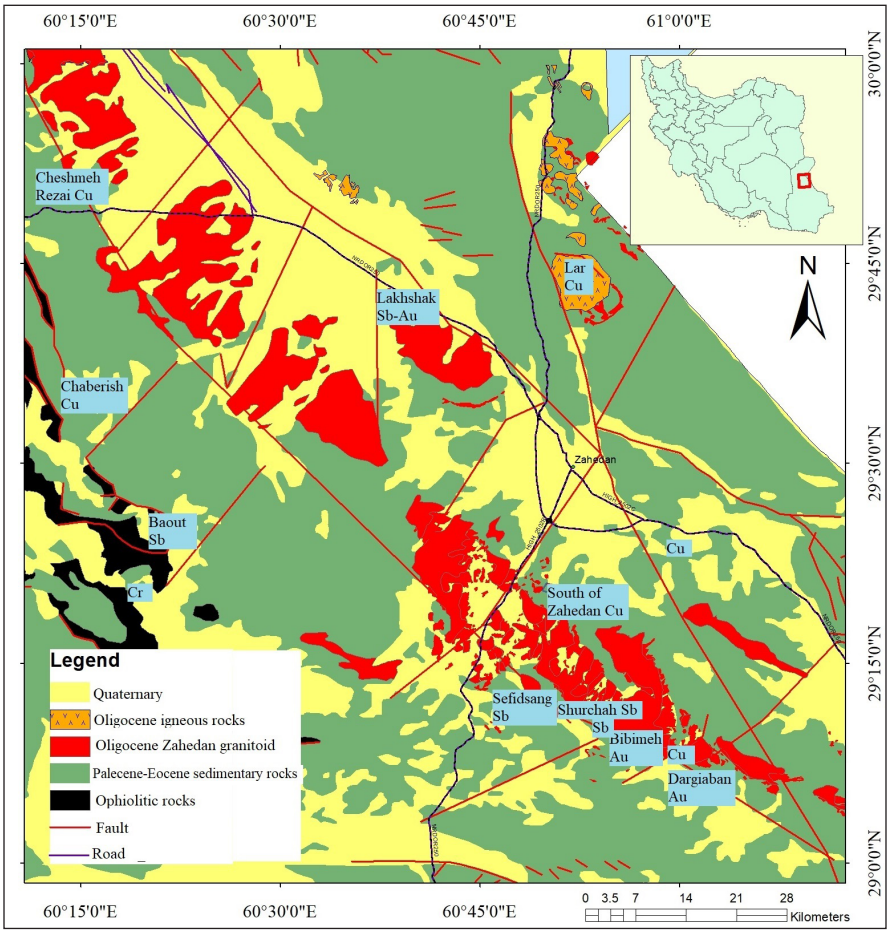
Figure 10- A) A dioritic stock intruded in andesitic rocks in Nakhilab area, (view toward south), B) A vein with copper mineralization in Nakhilab area, C) Iron mineralization in the Samsur area (Mirkuh iron mine)

۳-۱-۵- فلززایی مرتبط به بسته شدن تتیس‌جوان در ائوسن بالایی-الیگوسن در پهنه زمین‌درز سیستان

توده‌های عظیم گرانیتوییدی با سن ائوسن پایانی-الیگوسن از شمال باختر به سمت جنوب خاوری پهنه زمین‌درز سیستان با طول صدها کیلومتر برونزد دارند و به نام باتولیت زاهدان معروف می‌باشند که مهم‌ترین برونزدهای آن از شمال‌باختر گراغه تا سراوان ادامه دارد (شکل‌های ۳ و ۱۱). جایگیری این گرانیتوییدها در ۳۱ تا۳۲ میلیون سال قبل صورت گرفته است (Camp and Griffis, 1982). مطالعات جدیدتر نشان‌دهنده برونزدهایی با سن قدیمی‌تر تا ۴۰ میلیون سال برای این گرانیتوید است

(Mohammadi et al., 2016). گرانیتوییدزاهدان به اشکال باتولیت، استوک و دایک تشکیل شده است و از نظر ترکیب بیشتر محدوده‌ای از دیوریت تا گرانیت را در بر می‌گیرند و دارای بیگانه‌سنگ‌هایی (زینولیت) از سنگ‌های رسوبی – دگرگونی نیز می‌باشد. کانی‌های اصلی آن‌ها عبارتند از پلاژیوکلاز، کوارتز، فلدسپات پتاسیم، بیوتیت، هورنبلند سبز و کانی‌های فرعی معمول آن‌ها عبارتند از اسفن، مگنتیت، زیرکن، آلانیت، مونازیت وآپاتیت. تورمالین و گارنت در رگه‌های پگماتیتی یافت می‌شوند. برخی از برون‌زدهای آن دارای فابریک جهت یافته و آثار میلونیتی شدن و سیلیسی شدن است. در ابتدا، گرانیتوییدزاهدان از نوع S و نشانه‌ای از برخورد بلوک لوت و افغان در پهنه زمین‌درز سیستان معرفی شده بود (Camp and Griffis, 1982).

بر اساس مطالعات جدیدتر این گرانیتوییدازنوع کالک‌آلکالن، متاآلومین تا اندکی پرآلومین بوده و بیش از ۹۰ درصد آن به نوع I مگنتیت و ایلمنیت‌دار و بخش کوچکی از آن از نوع S می‌باشد (بومری، ۱۳۸۶؛ بومری و همکاران، ۱۳۹۷). همراه و در حاشیه این باتولیت به طور محلی سنگ‌های نیمه‌نفوذی پورفیری و گنبدهای داسیتی برون‌زد دارند. هم گرانیتوییدو هم سنگ‌های رسوبی و دگرگونی میزبان، تحت نفوذ دایک‌های آندزیتی تا داسیتی تیره رنگ با روند شمالی – جنوبی و تنوعی از دیگر دایک‌ها متعلق به سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند که ممکن است مرتبط با حوادث پس از برخورد باشند (Sadeghian et al., 2005؛ بومری، ۱۳۸۶؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۰الف).



شکل ۱۱- نقشه زمین‌شناسی ساده شده از بخش مرکزی پهنه زمین‌درز 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.

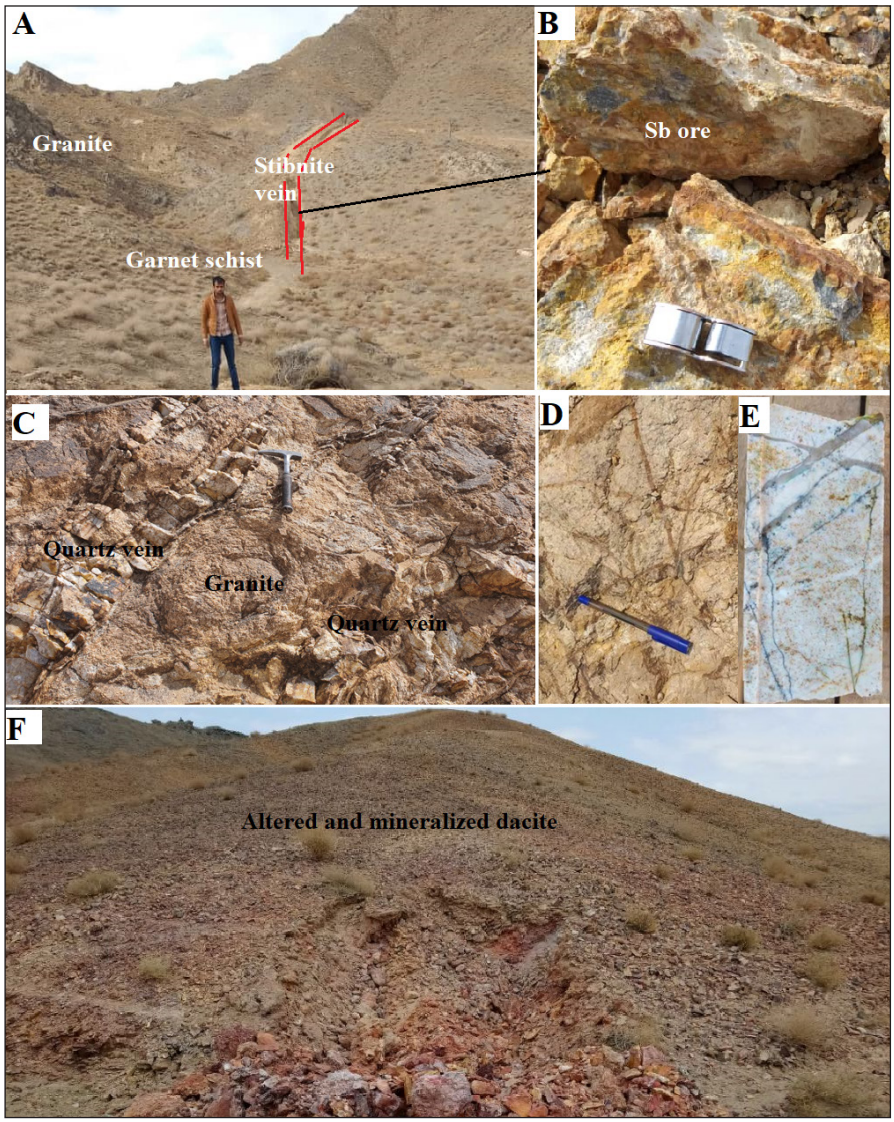
کانی‌زایی آنتیموان در مناطق سفید سنگ، شورچاه، توزگی، لخشک، بائوت و رگه‌های طلادار در کوه بی بی مه و درگیابان در یا مجاور گرانیتوییدزاهدان اتفاق افتاده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴؛ بومری و همکاران، ۱۳۹۷؛ مجددی مقدم و همکاران ، ۱۳۹۹؛ ۱۴۰۰) (شکل ۱۱). کانی‌زایی آنتیموان در شورچاه، توزگی، سفید سنگ و لخشک به شکل رگه‌های استیبنیت–کوارتز با روند عمومی شمال خاوری–جنوب باختری در یا نزدیک به گرانیت دیده می‌شود (شکل ۱۲–A و B). این رگه‌ها معمولا دارای مقداری طلا و نقره می‌باشند. براساس این مطالعات رگه‌های یاد شده از نوع اپی‌ترمال تا مزوترمال یا نوع کوهزایی می‌باشند. استخراج رگه‌های استیبنیت 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 ذخیره‌ای بالغ بر ۶۲۴۲۰۰۰ تن کانسنگ طلا با عیار میانگین ۱/۰۶ گرم در تن انجامیده است (آقازاده، ۱۴۰۰). این کانی‌زایی به صورت رگه‌ها و رگچه‌هایی از کوارتز شفاف در گرانیتوییدمیلونیتیزه تشکیل شده است (شکل ۱۲–C). کانی‌زایی طلا در این محدوده از نوع طلای آزاد و تلوریدهای طلا و بیسموت و از نوع مرتبط با گرانیتوییدمی‌باشد (آقازاده، ۱۴۰۰). رگه‌های سیلیسی–کربناتی در درگیابان نیز دارای کانی‌زایی طلا است و از زمان باستان استخراج شده است. این رگه‌های طلادار از نوع اپی‌ترمال می‌باشند (باقری فرد، ۱۳۸۷).

کانه‌زایی مس در درگیابان در یک استوک دگرسان شده، بیشتر به صورت استوک‌ورک‌های کوارتزی رخ داده است و در برون‌زدهای آن آثار مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۱۲–D). میزان ذخیره و عیار آن هنوز مشخص نیست. این نوع کانی‌زایی با توجه به الگوی دگرسانی و سبک کانی‌زایی از نوع پورفیری می‌باشد. در بخش جنوبی این منطقه انواع دگرسانی‌های پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک، سیلیسی

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 گرانیتوید زاهدان است که در سنگ‌های نیمه نفوذی پورفیری و در مجاورت گرانیتوید زاهدان رخ داده است (بومری و همکاران، ۱۴۰۰الف). واحدهای سنگی دراین محدوده از قدیم به جدید شامل سنگ‌های فلیش گونه، فیلیت 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 مولیبدن می‌باشند (شکل F-۱۲). انواع دگرسانی در این محدوده به‌طور عمده سیلیسی، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک می‌باشند. دگرسانی فیلیک 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 فیلیک فراوان‌تر است. مقدار کمی کالکوپیریت و کوولیت در رگچه‌های داربستی کوارتز و به صورت پراکنده مشاهده می‌شوند. مالاکیت و آتاکامیت به صورت پراکنده و رگه‌ای در برخی نقاط دیده می‌شوند. دگرسانی آرژیلیک 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 فیلیک را قطع کرده است. آثار معدن‌کاری 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، ۱۳۹۹الف). کانی‌زایی سرب به‌طور عمده سولفید سرب یا گالن می‌باشد که با پیریت،کوارتز، کربنات، 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 اپی‌ترمال است.



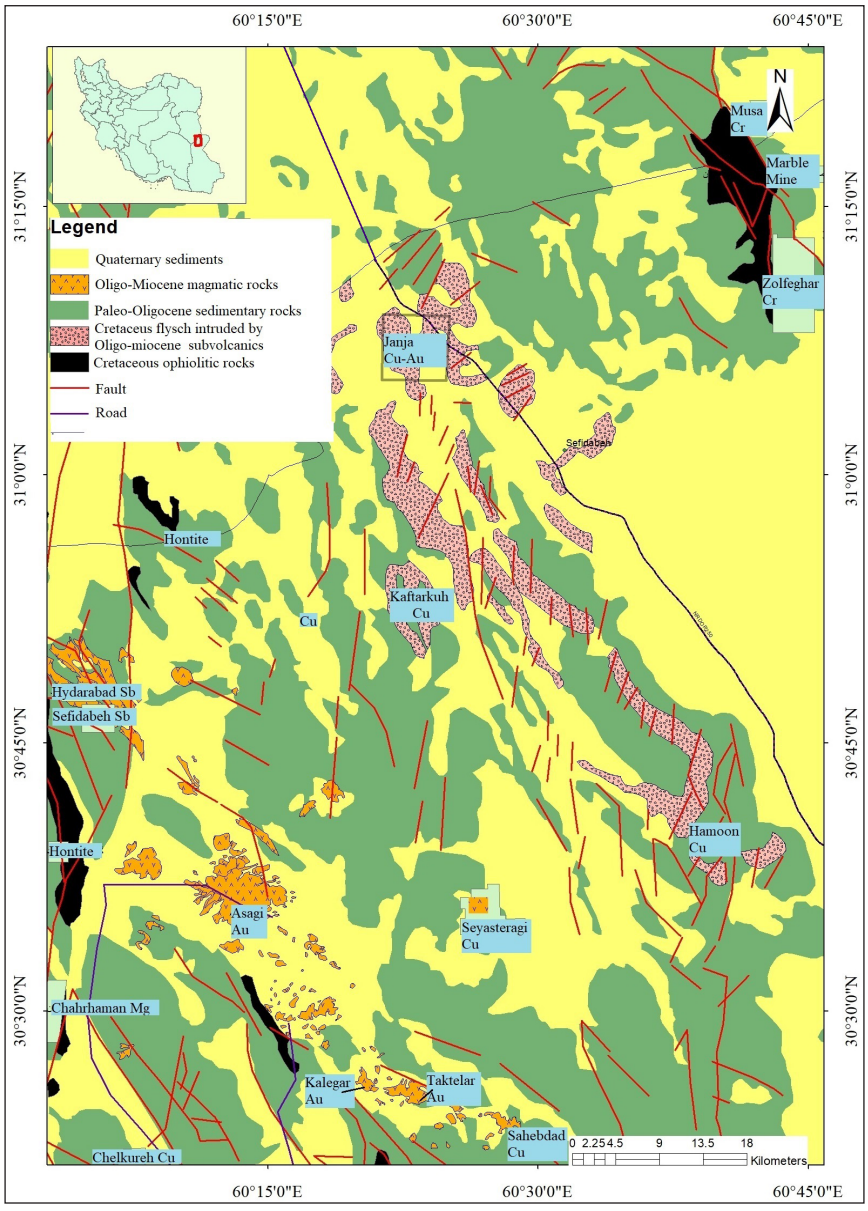
شکل ۱۲- A) یک رگه استیبنیت در معدن شورچاه (دید رو به جنوب)، B) کانسنگ آنتیموان از این رگه (از نمای نزدیک)، C) رگه‌های کوارتز طلا دار در محدوده بی بی مه (از نمای نزدیک)، D و E) بافت استوک‌ورک و رگچه‌های کوارتز در درگیابان (از نمای نزدیک)، F) داسیت‌های دگرسان شده از محدوده جنوب زاهدان (دید رو به شمال خاور).

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 Dargiaban area (a close-up view), F) Altered dacites from south of Zahedan area (view toward northeast).

۳-۱-۶- فلززایی مرتبط با رویدادهای ماگمایی پسابرخورد بلوک لوت و افغان با پهنه زمین‌درز سیستان

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

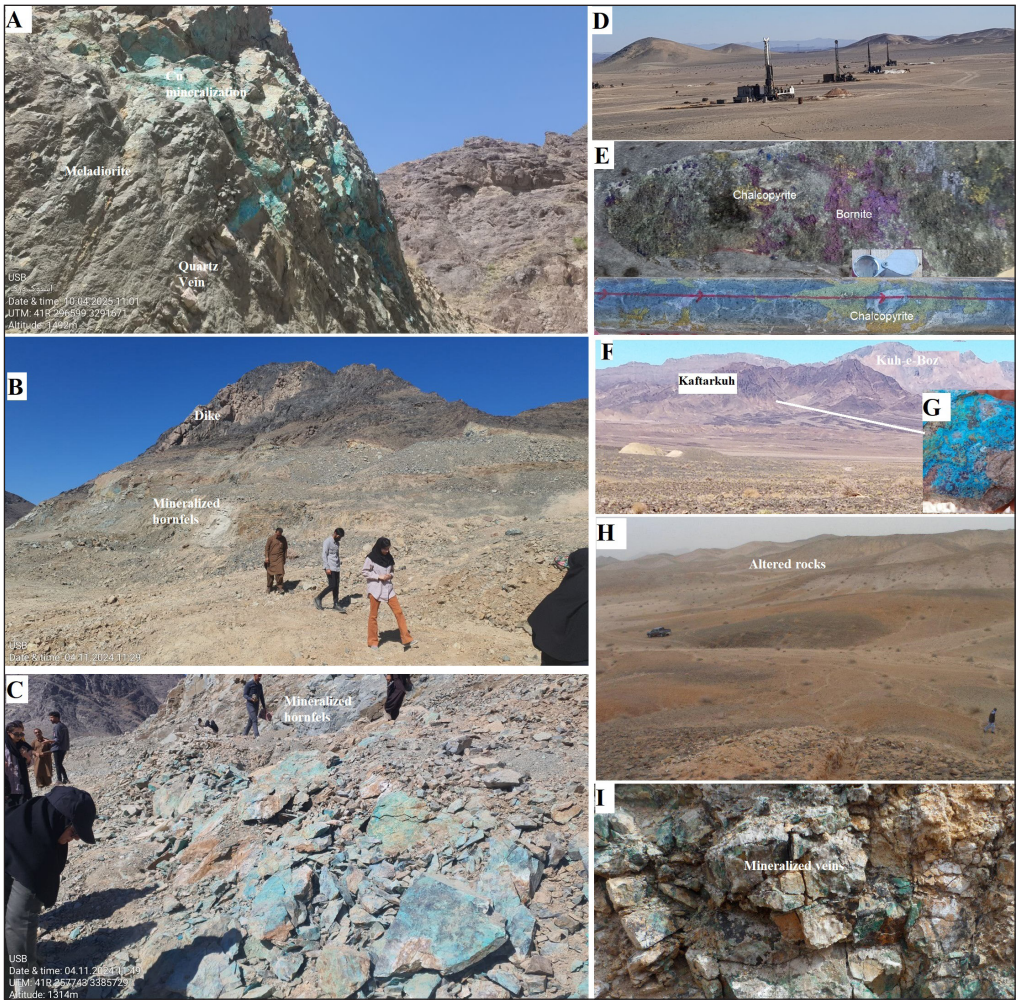
ادامه این نوار احتمالا از جنوب خاور به داخل پاکستان ادامه دارد. این نوار تا حدی موازی نوار باتولیت زاهدان می‌باشد که بخشی از آن در جهت شمال به سمت سفیدآبه و کوه جانجا و بخشی از آن به سمت شمال‌باختر تا بلوک لوت امتداد دارد (شکل ۳). در اصل برون‌زدهای این نوار تابع گسل‌های راستالغز بزرگی همچون گسل زاهدان، گسل باختر آساگی و شاخه‌های گسل نه‌خاوری می‌باشد. رویدادهای ماگمایی در این نوار از نظر سنی به دو رویداد قابل تقسیم‌بندی هست که شامل رویداد ماگمایی الیگوسن-میوسن و رویداد ماگمایی پلیوسن می‌شوند. رویداد ماگمایی الیگوسن-میوسن هم شامل فازهای خروجی و هم شامل فازهای نفوذی، نیمه نفوذی و به‌ویژه دایک می‌شوند. این رویدادها از نظر ترکیب شیمیایی نیز به دو نوع پتاسیک و سدیک قابل تقسیم‌بندی است که به نظر می‌رسد نوع پتاسیک که متعلق به سری ماگمایی کالک آلکالن، کالک الکالن پتاسیم بالا، شوشونیتی، الکالن وآداکیتی است، از نظر کانی‌سازی و فلززایی مهم‌ترین رویداد زمین‌ساختی-ماگمایی در استان می‌باشد. ترکیب سنگ‌ها در این رویداد از اولترامافیک تا اسیدی متغیرند و فازهای حدواسط آن فراوان‌تر و شاخص‌تر می‌باشند. همراه با اینها وجود سنگ‌های لامپروفیری هم به صورت نفوذی و هم خروجی قابل ملاحظه است. رویداد ماگمایی پلیوسن از نوع سدیک و فقط به صورت خروجی می‌باشد و به‌طور عمده دارای ترکیب بازالتی و آندزی بازالت که از نظر کانی‌زایی پورفیری چندان مهم نبوده و فقط به دلیل ایجاد میدان‌های زمین گرمایی، احتمالا در کانی‌زایی‌های رگه‌ای و اپی‌ترمال نقش داشته است. از مهم‌ترین نمونه‌های نوار ماگمایی شمال زاهدان می‌توان به مجموعه آذرین کوه لار، ملک سیاه، حرمک-هامون، صاحب داد، تک تلار، کله‌گر، آساگی، سیاستراگی، کفتارکوه، ماده کاریز و جانجا نام برد که میزبان کانی‌زایی‌های گرمابی می‌باشند که گاه بسیار شاخص هستند (بومری، ۱۳۹۶؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۱؛ بامری و همکاران، ۱۴۰۴) (شکل‌های ۳ و ۱۳). ادامه این نوار در پاکستان هم میزبان کانی‌زایی‌های مهمی است. این سنگ‌ها هم به صورت استوک، دایک و محصولات آتشفشانی برون‌زد دارند. کانی‌زایی‌هایی که همراه این سنگ‌ها دیده می‌شود از نوع پورفیری، اسکارن و رگه‌ای اپی‌ترمال و مزوترمال می‌باشند.



شکل ۱۳- نقشه زمین‌شناسی 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.

در حال حاضر اکتشاف و بهره‌برداری از کانسارهای مس در کوه لار، کوه سیاستراگی، کانسار مس ماده کاریز(جانجا) شروع شده وپتانسیل‌های مس و طلا در کوه آساگی، تک تلار 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 گرمابی تشکیل شده‌اند (بومری، ۱۳۹۶؛ بومری، ۱۳۹۳؛ بومری و همکاران، ۱۴۰۰ب). 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 اسکارن رخ داده است (شکل ۱۴-A) به‌گونه‌ای 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 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 چین‌خورده 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 هورتفلس 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 استوک‌ورک‌های سیلیسی در گرانودیوریت رخ داده است (مشکانی، ۱۳۹۳). این کانی‌زایی شبیه کانی‌زایی‌های پورفیری و اسکارن است. کانی‌زایی در رگه‌های سیلیسی اپی‌ترمال نیز دارای بی‌هنجاری‌های خوبی از مس، طلا، سرب، روی، آنتیموان و ارسنیک و طلا، نقره و ارسنیک می‌باشد (مشکانی، ۱۳۹۳).



شکل ۱۴- A) کانی‌زایی مس در معدن لار شمالی به شکل استوک ورک، (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 تلار، دید به سمت جنوب، I) کانی‌زایی مس درمحدوده تک تلار 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.

کانسار پورفیری مس جانجای (کوه جانجای جنوبی) در مجاورت روستای ماده‌کاریز بزرگ‌ترین کانسار مس در پهنه زمین‌درز سیستان می‌باشد (بومری و همکاران، ۱۴۰۰ب). عملیات اکتشافی در محدوده کانسار مس- طلای جانجا (شکل D-۱۴) 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 وتولید 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، دیورت پورفیری، مونزونیت پورفیری و آندزیت می‌شوند (زاهد، ۱۴۰۱). انواع دگرسانی‌ها شامل دگرسانی پتاسیک، پتاسیک-فیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک می‌شود. کانی‌زایی عمدتا در دگرسانی پتاسیک و فیلیک رخ داده و می‌توان به ۲ نوع درون‌زاد (هیپوژن) 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 رگچه‌ای و جانشینی در سرتاسر کانسار مشخص می‌شود کانی‌های درون‌زاد سولفیدی بیشتر کالکوپیریت و بورنیت می‌باشند (شکل E-۱۴). 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 عیارکم 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 وسیلتستون و ماسه‌سنگ 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 F-۱۴). 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 (کالکوپیریت) و کربنات‌های آب‌دار مس به‌ویژه (مالاکیت و آزوریت) می‌باشد (شکل G-۱۴). به نظر می‌رسد که کانی‌زایی مس و آهن در محدوده کفتارکوه از نوع رگه‌ای، اسکارن و پورفیری باشند(احمدی، ۱۳۹۴).

منطقه تک‌تلار و کله‌گر در ۱۷۰کیلومتری شمال باختر زاهدان در پهنه جوش‌خورده سیستان واقع است. قدیمی‌ترین واحد زمین‌شناسی موجود در این محدوده واحد فلیشی شامل شیل و ماسه سنگ به سن ائوسن 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 H-۱۴). 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، ۱۳۹۹ب). عمده‌ترین دگرسانی در این منطقه دگرسانی فیلیک 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 فیلیک در واحدهای سنگی دیوریت و گرانودیوریت پورفیری از ویژگی‌های محدوده مورد مطالعه است. دگرسانی پروپیلیتیک 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 می گردد (شکل I-۱۴). این کانی‌زایی‌ها احتمالا 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، ۱۳۹۹ب). 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 تتیس‌جوان است و مراحلی از چرخه ویلسون را می‌توان به‌ویژه در تکامل زمین‌شناسی پهنه زمین‌درز سیستان مشاهده کرد. با بسته شدن تتیس‌کهن، اقیانوس تتیس‌جوان 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 تتیس‌جوان آغاز می‌شود و به نظرمی‌رسد چندین فروورانش در زمان‌ها و مکان‌های مختلف رخ داده است. در استان سیستان وبلوچستان، قدیمی‌ترین فروورانش آن که به تشکیل باتولیت بزمان انجامیده، همزمان با فروورانشی است که کمان ماگمایی سنندج-سیرجان را به وجود آورده است. دومین فروورانش که به تشکیل سنگ‌های آذرین کالک-آلکالن در ائوسن تا الیگوسن انجامیده همزمان با فروورانشی است که کمان ماگمایی ارومیه-دختر را در ایران و کمان ماگمایی چاغی را در پاکستان و افغانستان به وجود آورده است. سومین فروورانش، فروورانش 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 گرانیتوییدهای زاهدان را ایجاد کرده و باعث کانی‌زایی‌های مس پورفیری، طلای مزوترمال و اپی‌ترمال و آنتیموان رگه‌ای شده است. از نظر فلززایی ماگماتیسم پسابرخوردی در پهنه زمین‌درز سیستان برجسته و باعث بزرگ‌ترین سیستم‌های پورفیری در این پهنه شده است.

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.

آقازاده، ۱۴۰۰، گزارش پایان عملیات اکتشاف کوه بی‌بی‌مه، سازمان صنعت، معدن و تجارت سیستان و بلوچستان، ۳۵۲ ص.

آقانباتی، س. ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۷۰۷ ص.

باقری‌فرد، ع.، ۱۳۸۷، اکتشافات ژئوشیمیایی طلا در منطقه درگیابان، جنوب شرق زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۱ ص.

بامری، م.، عباسی، ر.، و پرتابیان، ع.، ۱۴۰۴، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگهای اتشفشانی 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.

بومری، ۱۴۰۱، مقایسه شیمی کانی و سنگ کل در پتروژنز سنگهای سنگهای مافیک، نمونه‌هایی از کانسارهای کرومیت فاریاب و پهنه زمین‌درز سیستان، سی امین 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.، ۱۳۹۹الف، 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.، ۱۳۹۹ب، کانی‌زایی مس و طلا و سنگ‌نگاری و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین در تک‌تلار، 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 نهتانی فر، ع. ب ، ۱۴۰۱، دگرسانی و تغییر جرم در سنگ‌های آذرین در محدوده تکتلار، شمال غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، زمین شناسی اقتصادی، سال چهاردهم، شماره ۳، ص ۶۵-۹۳. 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.، ۱۴۰۰الف، 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.، ۱۴۰۰ب، 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 درگیابان، پترولوژی، سال نهم، شماره ۳۵، ص ۱۹۳-۲۱۶، https://doi.org/10.22108/ijp.2018.110097.1077.

تاجور، ع.، خطیب، م. م.، و زرین کوب، م .ح.، ۱۴۰۰، بررسی جایگاه زمین‌ساختی افیولیت ملانژ 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.

خدایاری، ا.، ۱۴۰۳، بررسی دگرسانی و کانه‌زایی مس و طلا با استفاده از روش‌های دورسنجی، زمین‌شناسی و لیتوژئوشیمیایی در منطقه صاحب‌داد، شمال غرب زاهدان، ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۲۰۱ ص.

دلاوری، د.، و توکلی، ف.، ۱۴۰۴، ژئوشیمی واحدهای بازالتی مجموعه آمیزه رنگین در خاور رودان (جنوب خاور ایران): شواهدی از تحوالت ژئودینامیکی حوضه اقیانوسی تتیس جوان در منطقه مکران، فصلنامه علوم زمین، سال سی و پنجم، شماره ۴، ص ۱-۱۸. 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 شمال غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۲۰۶ ص.

زارع مطلق، 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، ماگماتیسم 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 اشتری، 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.

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 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 بلوچستا، 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 آرین 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 نازیل، جنوب زاهدان، واقع در زون شرق ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

کوهساری، 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.، بومری، م. و بیابانگرد، ح.، ۱۳۹۹، بررسی کانی‌زایی آنتیموان و انتقال جرم در سنگ‌های میزبان، بائوت، غرب زاهدان، جنوب شرق ایران، زمین‌شناسی اقتصادی، سال دوازدهم، شماره ۴، ص ۴۷۱-۴۸۹.

مجددی‌مقدم، ح.، 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 فیزیکوشیمیایی کانه‌ها، باطله‌ها و زون‌های دگرسانی در سرکهنو جنوب زاهدان، رساله دکتری، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۳۳۲ ص.

مرادی، ر.، بومری، م.، باقری، س.، و زاهدی، ا.، ۱۳۹۴، تعیین شرایط فیزیکوشیمیایی و عوامل کنترل کننده کانه زایی با استفاده از کانه نگاری، روابط پاراژنزی، و میانبارهای سیال در کانسار استیبنیت-طلا شورچاه، جنوب شرق زاهدان، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، سال بیست سوم شماره۱، ۱۲۱-۱۳۴.

مشکانی، س.ا.، ۱۳۹۳، گزارش عملیات پی جویی در محدوده سیاستراگی، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان سیستان و بلوچستان، گزارش شرکت مهندسین مشاور زر آذین گستر، جلد ۱، ۱۱۵ص.

ناروبی، ف.، ۱۴۰۳، اکتشاف لیتوژئوشیمیایی مس در مک‌سرخ، شمال‌غرب زاهدان، پهنه زمین‌درز سیستان، ۱۶۰ ص.

هدایتی، ن.، 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 Siajangal 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. Mineralography 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 Dargiaban 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.

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 Taktelar 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 Jurnal of Geoscince, 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 Alteratin Zones: A Case Study in Siah-Jangal Area, North of Taftan Volcano, Southeastern Iran", Journal of Indian Society Remote Sensin, 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 Geociences, 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).