Vol. ?, No. ?, ?, pp. ?–? ISSN (Print): 2008-7306 ISSN (Online): 2423-5865

Journal of Economic Geology

https://econg.um.ac.ir

RESEARCH ARTICLE 10.22067/econg.2026.1170 OPEN ACCESS

Fractures and Dyke Controls on Alteration and Copper–Manganese Mineralization in the Bidestan Area, Torud–Chah Shirin Volcano–Plutonic Belt

Fatemeh Vakili Avandari [1], Aziz Rahimi [2 *], Gholamhossein Shamanian Isfahani [3]

[1] Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran
[2] Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran
[3] Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Golestan University, Gorgan, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 18 April 2026
Revised: 21 September 2026
Accepted: 10 November 2026

Keywords

Bidestan
Torud–Chah Shirin belt
fracture control
dyke
ore microscopy
geochemistry
copper
manganese

***Corresponding author**

Aziz Rahimi
a.rahimi@gu.ac.ir

ABSTRACT

The Bidestan area is located in the Torud–Chah Shirin volcano–plutonic belt in southeastern Semnan Province. This study evaluates the role of faults, fractures, and dyke–host-rock contacts in controlling the distribution of hydrothermal alteration and Cu–Mn mineralization. The dataset integrates geological and structural mapping, trench and outcrop observations, petrographic examination of thin and polished sections, and Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry analyses of mineralized samples. NW–SE and NE–SW fracture sets, accompanied by subordinate N–S fractures, control the distribution of veins, breccia zones, and altered corridors. The copper mineral assemblage comprises malachite, azurite, chalcocite, and pyrite, with minor chrysocolla, cuprite, bornite, and chalcopyrite. Manganese oxides occur mainly as fracture fillings and veins in tuffaceous and volcaniclastic rocks. Seven representative samples contain 3,157–12,177 ppm Cu and 618–6,185 ppm Mn. Sample Bid-14 exhibits the strongest Cu–Mn association, whereas field and ore-microscopic evidence indicate that copper and manganese mineralization are not consistently coeval and may occur in separate zones. The localization of mineralization along fractures, brecciated zones, and dyke margins indicates strong structural-permeability control. However, the sources and temperatures of the mineralizing fluids require further investigation using fluid-inclusion and isotopic analyses.

How to cite this article

Vakili Avandari, F., Rahimi, A. and Shamanian Isfahani, Gh., ?. Fractures and Dyke Controls on Alteration and Copper–Manganese Mineralization in the Bidestan Area, Torud–Chah Shirin Volcano–Plutonic Belt. Journal of Economic Geology, ?(?): ?–?. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22067/econg.2026.1170

©2026 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Central Iranian volcano–sedimentary belt is one of Iran's important metallogenic regions and hosts numerous hydrothermal mineral deposits. Structural features, including faults, fractures, and shear zones, play a critical role in governing hydrothermal-fluid migration and ore deposition. The Bidestan area, in southeastern Semnan Province, is characterized by extensive faulting, volcanic activity, and hydrothermal alteration associated with copper and manganese mineralization. Previous regional studies have emphasized the significance of the Torud–Chah Shirin fault system in controlling magmatic and hydrothermal activity. However, the structural controls on Cu–Mn mineralization in the Bidestan area have not been investigated in detail. Accordingly, this study examines the relationships among tectonic structures, alteration zones, and ore mineralization to improve understanding of the area's metallogeny and its mineral exploration potential.

Materials and Methods

Geological and structural mapping was integrated with trench logging, chip and channel sampling, petrographic examination of thin and polished sections, and ICP-OES analyses. Representative samples were collected from mineralized fractures, altered zones, and dyke contacts. Structural orientations and their spatial relationships with veins and mineral occurrences were evaluated. Geochemical results were treated as point data and were not interpolated beyond the sampled areas.

Results

Mineralization is hosted by volcanic and volcaniclastic rocks that are cut by intermediate to mafic dykes. Malachite, azurite, chalcocite, and pyrite are the principal copper-bearing minerals, whereas manganese occurs predominantly as oxides filling fractures. Representative samples contain 3,157–12,177 ppm Cu and 618–6,185 ppm Mn. Mineralized veins and altered corridors are concentrated along NW–SE, NE–SW, and subordinate N–S fractures, particularly near dyke margins and in structurally brecciated zones.

Discussion

The structural control on mineralization is supported by direct evidence of fracture-filling textures and brecciation, as well as by the concentration of mineralized samples near faults and dyke contacts. Although copper and manganese are locally associated, the available evidence does not demonstrate that they formed contemporaneously throughout the study area. The observations support structural control through enhanced permeability and indicate supergene modification of copper sulphides. However, they are insufficient to establish a specific epithermal subtype or a magmatic source for the mineralizing fluids.

Acknowledgements

The authors thank the colleagues and field assistants who contributed to the geological surveys, sampling, and laboratory analyses. They also acknowledge the institutions and organizations whose support facilitated this research.

دوره ؟، شماره ؟، ؟، صفحه ؟ تا ؟ شاپا چاپی: ۷۳۰۶-۲۰۰۸ شاپا الکترونیکی: ۵۸۶۵-۲۴۲۳

زمین‌شناسی اقتصادی

https://econg.um.ac.ir

مقاله پژوهشی 10.22067/econg.2026.1170 OPEN ACCESS

کنترل شکستگی‌ها و دایک‌ها بر دگرسانی و کانی‌زایی مس و منگنز در محدوده بیدستان، نوار آتشفشانی– نفوذی ترود– چاه‌شیرین

فاطمه وکیلی اوندری [۱]، عزیز رحیمی [۲]* ، غلامحسین شمعانیان اصفهانی [۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

[۲] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

[۳] دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۱/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۸/۱۹

واژه‌های کلیدی

بیدستان

نوار ترود– چاه‌شیرین

کنترل شکستگی

دایک

کانه‌نگاری

زمین‌شیمی

مس

منگنز

نویسنده مسئول

عزیز رحیمی

a.rahimi@gu.ac.ir

چکیده

محدوده بیدستان در جنوب‌شرق استان سمنان و در نوار آتشفشانی- نفوذی ترود- چاه‌شیرین قرار دارد. هدف این پژوهش، ارزیابی نقش گسل‌ها، شکستگی‌ها و تماس دایک- سنگ میزبان در تمرکز دگرسانی و کانی‌زایی مس و منگنز است. داده‌های مورد استفاده شامل نقشه‌برداری زمین‌شناسی و ساختاری، مشاهدات رخنمونی و ترانشه‌ای، بررسی‌های مقاطع نازک و صیقلی و تجزیه و تحلیل طیف سنج نوری پلاسمای القایی دوتایی نمونه‌های کانه‌دار است. دو دسته اصلی شکستگی با روندهای NW–SE و NE–SW، همراه با شکستگی‌های N–S، در محدوده شناسایی‌شد. کانه‌های مس اغلب شامل مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت و پیریت و به مقدار کمتر کریزوکولا، کوپریت، بورنیت و کالکوپیریت هستند. اکسیدهای منگنز نیز به صورت رگه‌ای و پرکننده شکستگی در توف‌ها و واحدهای آذرآواری مشاهده می‌شوند. مقادیر Cu در هفت نمونه نماینده ۳۱۵۷ تا ۱۲۱۷۷ ppm و Mn برابر ۶۱۸ تا ۶۱۸۵ ppm است. بیشترین هم‌زمانی Cu و Mn در نمونه Bid–۱۴ ثبت‌شده است؛ اما شواهد صحرایی و کانه‌نگاری نشان می‌دهند که رخدادهای مس و منگنز در همه نقاط همزاد نیستند و در برخی رخنمون‌ها به صورت رگه‌ها یا زون‌های مجزا ظاهر می‌شوند. تمرکز کانه‌ها در شکستگی‌ها، پهنه‌های خردشده و حاشیه دایک‌ها نشان می‌دهد که نفوذپذیری ساختاری، عامل اصلی مکان‌یابی کانی‌زایی بوده است. با این حال، تعیین منشأ و دمای سیال به داده‌های تکمیلی میان‌بار سیال و ایزوتوپی نیاز دارد.

استناد به این مقاله

وکیلی اوندری، فاطمه؛ رحیمی، عزیز و شمعانیان اصفهانی، غلامحسین، ؟. کنترل شکستگی‌ها و دایک‌ها بر دگرسانی و کانی‌زایی مس و منگنز در محدوده بیدستان، نوار آتشفشانی–نفوذی ترود–چاه‌شیرین. زمین‌شناسی اقتصادی، ؟(؟): ؟-؟. https://doi.org/10.22067/econg.2026.1170

مقدمه

گسل‌ها، درزه‌ها و پهنه‌های برشی با ایجاد نفوذپذیری و فضای باز می‌توانند مسیر مهاجرت سیالات و محل نهشت کانه را کنترل کنند. اثبات کنترل ساختاری مستلزم نشان‌دادن رابطه مکانی و بافتی مستقیم میان شکستگی، دگرسانی و کانه است و صرف هم‌جواری یک رخداد معدنی با گسل منطقه‌ای کافی نیست (Henley and Ellis, 1983; Browne, 1978; Sillitoe, 2010).

در بیدستان، رگه‌ها و رگچه‌های مس‌دار، اکسیدهای منگنز، دگرسانی پروپیلیتیک تا سیلیسی– آرژیلیک و دایک‌های متعدد در واحدهای آتشفشانی و آذرآواری نوار ترود- چاه‌شیرین رخنمون دارند. مسئله اصلی پژوهش این است که کدام دسته از ساختارهای شکننده در مکان‌یابی کانه‌ها مؤثر بوده‌اند و آیا رخدادهای مس و منگنز را می‌توان یک مرحله کانه‌زایی واحد دانست (White and Hedenquist, 1995; Javariani et al., 2022).

بر این اساس، هدف این پژوهش، تلفیق شواهد صحرایی، جهت‌گیری شکستگی‌ها، روابط دایک– سنگ میزبان، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و داده‌های زمین‌شیمیایی برای ارزیابی کنترل ساختاری کانی‌زایی است. همچنین، رابطه زمانی مس و منگنز با احتیاط و بر پایه بافت‌ها و هم‌نشینی واقعی آنها بررسی می‌شود.

پس از معرفی جایگاه محدوده در نوار آتشفشانی- نفوذی ترود- چاه‌شیرین، روش برداشت و نمونه‌برداری تشریح می‌شود. سپس سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی کانه، زمین‌شیمی و ساختارهای شکننده بررسی و در پایان، مدل مفهومی محدود به شواهد موجود ارائه می‌شود.

جایگاه زمین‌ساختی نوار آتشفشانی- نفوذی ترود- چاه‌شیرین

محدوده بیدستان در نوار آتشفشانی- نفوذی ترود- چاه‌شیرین، در حاشیه شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد. چهارچوب مستقیم تفسیر آن، تحول همین نوار و ساختارهای درونی آن است. در کنار هم قرارگرفتن واحدهای آتشفشانی- آذرآواری، دایک‌ها، توده‌های نیمه‌عمیق و ساختارهای شکننده، زمینه مناسبی را برای تمرکز دگرسانی و کانی‌زایی فراهم کرده است (Stöcklin, 1968; Berberian and King, 1981; Tale Fazel et al., 2019).

ساختارهای اصلی و فرعی نوار ترود- چاه‌شیرین سابقه فعالیت چندمرحله‌ای دارند. در مقیاس محدوده، انتساب هر شکستگی به یک گسل منطقه‌ای، تنها زمانی پذیرفتنی است که پیوستگی هندسی، شواهد جابه‌جایی و سازگاری سینماتیک (مربوط به حرکت و سازوکار گسل‌ها) وجود داشته باشد. از این رو، در این مقاله تمرکز بر روندهای اندازه‌گیری‌شده و رابطه مستقیم آنها با رگه‌ها و دایک‌هاست (Tale Fazel et al., 2019).

برای تبیین موقعیت زمین‌ساختی محدوده بیدستان در مقیاس ناحیه‌ای، بررسی پراکندگی زون‌های ساختاری ایران و رخنمون سنگ‌های آذرین ترشیاری ضروری است. این چهارچوب منطقه‌ای، جایگاه نوار آتشفشانی– نفوذی ترود– چاه‌شیرین را در ارتباط با پهنه‌های ساختاری اصلی ایران نشان می‌دهد و زمینه لازم را برای بررسی روابط میان ساختارهای زمین‌ساختی، فعالیت‌های ماگمایی و کانه‌زایی در محدوده مورد بررسی فراهم می‌کند (شکل ۱).

واحدهای آتشفشانی و آذرآواری محدوده، همراه با دایک‌های حدواسط تا مافیک، از نظر ویژگی‌های مکانیکی رفتار متفاوتی دارند. شکستگی‌های حاشیه دایک‌ها و پهنه‌های خردشده در توف و آگلومرا، مسیرهای موضعی مناسبی برای نفوذ سیال‌های گرمابی و تمرکز پرشدگی کانه‌ای فراهم کرده‌اند.

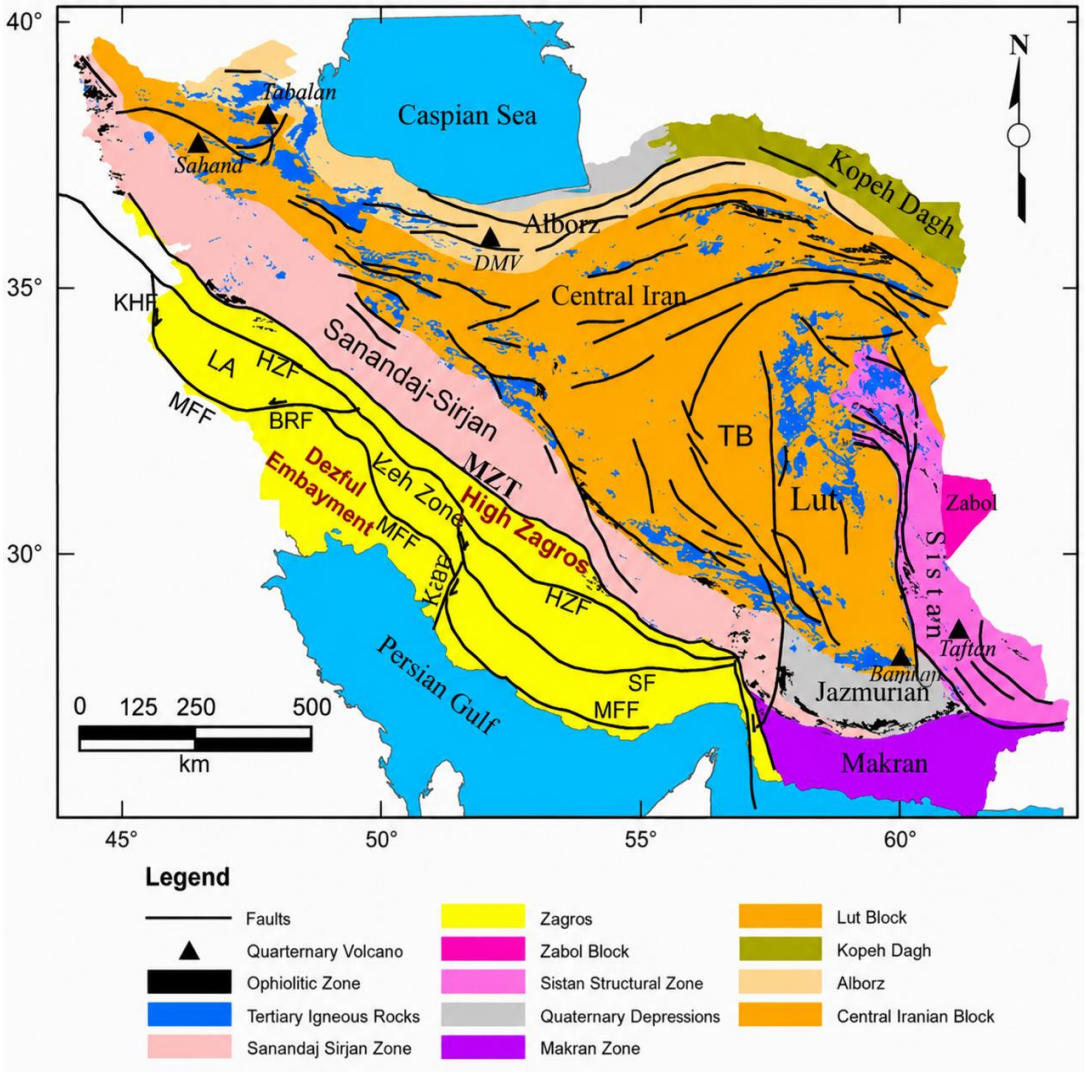
در این پژوهش، شکل‌های زمین‌شناسی و ساختاری ناحیه‌ای فقط برای نمایش جایگاه محدوده بیدستان در نوار ترود– چاه‌شیرین به کار رفته است و تفسیرهای مربوط به کنترل ساختاری کانی‌زایی بر شواهد صحرایی، بررسی‌های سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری و داده‌های زمین‌شیمیایی محدوده مورد بررسی استوار هستند

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

White and Hedenquist, 1995; Richards, 2011; Tale) .(Fazel et al., 2019

روش مطالعه

داده‌های این پژوهش از نقشه‌برداری زمین‌شناسی و ساختاری، پیمایش رخنمون‌ها و ترانشه‌ها، ثبت امتداد و شیب گسل‌ها، درزه‌ها، رگه‌ها و دایک‌ها و نمونه‌برداری از زون‌های کانه‌دار به دست آمده است. نمونه‌های نماینده به روش شیاری یا تکه‌ای از مقاطع کانه‌دار و حاشیه آنها برداشت شدند. برای جلوگیری از تعمیم بیش از ظرفیت داده‌ها، نتایج زمین‌شیمی به صورت نقطه‌ای گزارش‌شده و تنها در کنار شواهد صحرایی و کانه‌نگاری تفسیر شده‌اند.



شکل ۱. نقشه زون‌های ساختاری ایران و پراکندگی سنگ‌های آذرین با سن ترشیاری و موقعیت نوار آتشفشانی– نفوذی ترود– چاه‌شیرین. این نقشه چهارچوب زمین‌ساختی منطقه‌ای محدوده بیدستان و ارتباط مکانی سنگ‌های آذرین ترشیاری با پهنه‌های ساختاری اصلی ایران را نشان می‌دهد.

Fig. 1. Map showing the structural zones of Iran, the distribution of Tertiary igneous rocks, and the location of the Torud–Chah Shirin volcano–plutonic belt. The map illustrates the regional tectonic framework of the Bidestan area and the spatial relationship between Tertiary igneous rocks and the major structural domains of Iran.

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

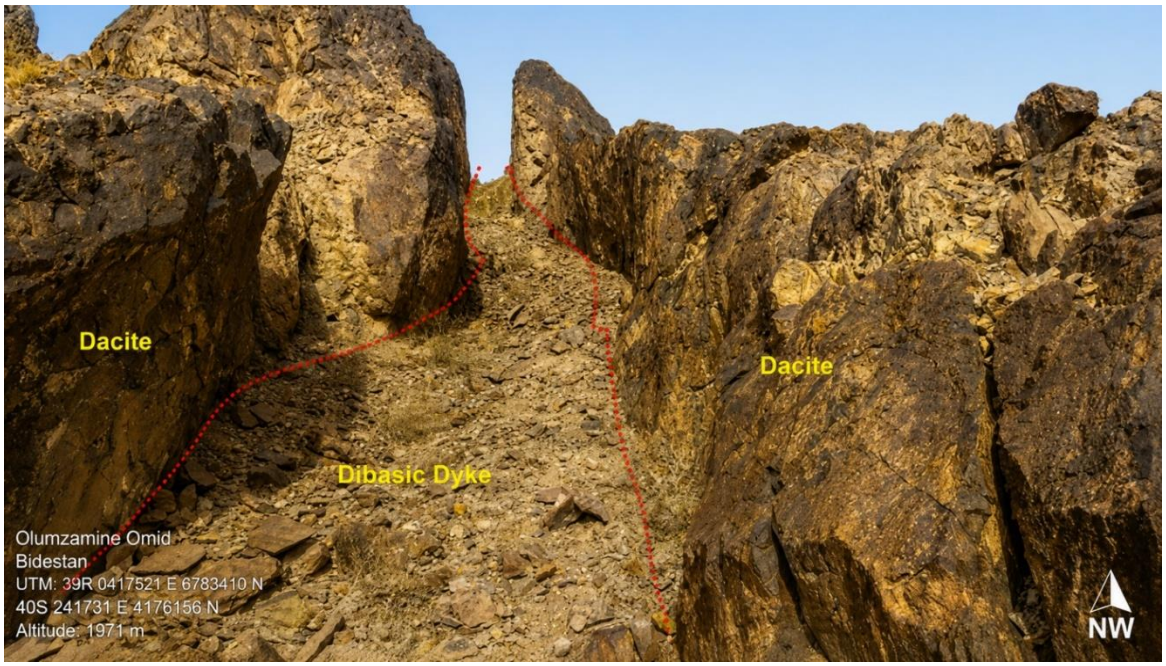
برای شناسایی سنگ میزبان، دگرسانی و کانه‌ها، مقاطع نازک و صیقلی با میکروسکوپ نوری بررسی‌شد. عناصر Fe، Mn، Cu، S، Ca و As در نمونه‌های منتخب با ICP-OES اندازه‌گیری شدند. داده‌های ساختاری با نقشه پراکندگی شکستگی‌ها و نمودارهای گل‌سرخی تلفیق و رابطه آنها با رگه‌ها، پهنه‌های برشی و تماس دایک‌ها ارزیابی‌شد. اطلاعات تحلیلی و تصویرهای میکروسکوپی از مجموعه داده‌های اکتشافی بیدستان استخراج و در این مقاله بازتفسیر شده‌اند.

زمین‌شناسی و واحدهای سنگی منطقه بیدستان

منطقه بیدستان در جنوب‌شرق استان سمنان و در نوار آتشفشانی- نفوذی ترود- چاه‌شیرین قرار دارد. واحدهای رخنمون‌یافته اغلب شامل گدازه‌ها، توف‌ها، آگلومراها و دایک‌های حدواسط تا مافیک هستند. ویژگی مکانیکی و میزان شکستگی این واحدها بر توزیع دگرسانی و کانی‌زایی اثرگذار بوده است (Tale Fazel et al., 2019).

بخش عمده‌ای از رخنمون‌های سنگی منطقه از آندزیت و آندزیت- بازالت تشکیل‌شده است. این سنگ‌ها بافت پورفیری تا میکرولیتی دارند و پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک از اجزای اصلی آنها هستند. شکستگی‌های موجود در این واحدها با کوارتز، کلسیت و کانه‌های مس پر شده‌اند (Cas and Wright, 1988; McPhie et al., 1993; Sillitoe, 2010).

داسیت‌ها و تراکی‌آندزیت‌ها نیز در محدوده رخنمون دارند. سیلیسی‌شدن و آرژیلیک‌شدن در برخی پهنه‌های خردشده این واحدها توسعه‌یافته و تعدادی از رگه‌های کوارتز- کلسیت و کانه‌های مس را همراهی می‌کند. این توصیف بر مشاهدات صحرایی و مقاطع نازک محدوده استوار است (Hedenquist et al., 2000). یکی از شواهد صحرایی روابط نفوذی میان واحدهای سنگی محدوده، حضور دایک‌های دیابازی است که واحدهای داسیتی را قطع کرده‌اند. نمونه‌ای از این رابطه در شکل ۲ نشان‌داده شده است.



شکل ۲. دایک دیابازی در حال قطع واحد داسیتی در محدوده بیدستان، جنوب‌شرق استان سمنان

Fig. 2. Diabase dyke cutting the dacite unit in the Bidestan area, southeastern Semnan Province, Iran

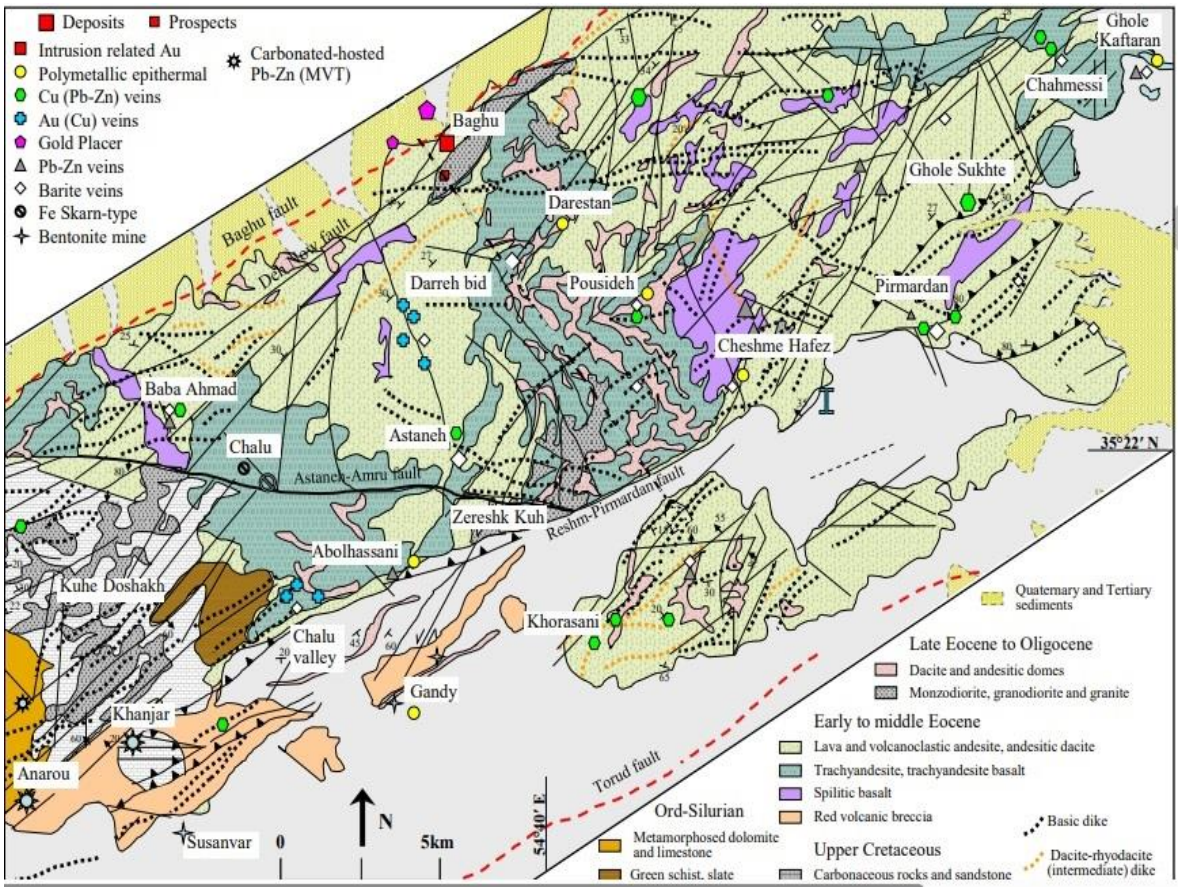
DOI: 10.22067/econg.2026.1170

توف‌ها، لاپیلی‌توف‌ها و آگلومراها بخش مهمی از واحدهای آذرآواری محدوده هستند. دگرسانی پروپیلیتیک در آنها گسترده و سیلیسی و آرژیلیک‌شدن موضعی است. اکسیدهای منگنز در بعضی رگه‌ها و شکستگی‌های واحدهای توفی دیده می‌شوند؛ اما این رخدادها در تمام واحدهای آذرآواری یکنواخت نیستند.

دایک‌های حدواسط تا مافیک از عناصر مهم زمین‌شناسی بیدستان هستند. کانی‌زایی در برخی ترانشه‌ها داخل دایک، در حاشیه آن و در آگلومرا یا توف مجاور ثبت‌شده است. این روابط از نقش تماس‌های مکانیکی و شکستگی‌های مرتبط با دایک در تمرکز سیال حمایت می‌کند؛ اما منشأ فلز یا سیال را تعیین نمی‌کند (McPhie et al., 1993; Seedorff et al., 2005).

ترکیب واحدهای آتشفشانی و آذرآواری همراه با شکستگی‌ها و دایک‌ها، شبکه‌ای ناهمگن از مسیرهای نفوذپذیر را در محدوده بیدستان ایجاد کرده است. پرشدگی درزه‌ها با کوارتز، کلسیت، کانه‌های مس و اکسیدهای منگنز نشان می‌دهد که ساختارهای شکننده و ویژگی‌های سنگ میزبان، هر دو در مکان‌یابی کانه‌زایی نقش داشته‌اند (White and Hedenquist, 1995; Simmons et al., 2005).

موقعیت جغرافیایی و محدوده مکانی منطقه مورد بررسی در شکل ۳ نشان‌داده شده است. این نقشه، جایگاه محدوده بیدستان را در جنوب‌شرق استان سمنان و در ارتباط با عوارض جغرافیایی و زمین‌شناسی پیرامون آن مشخص می‌کند (شکل ۳).

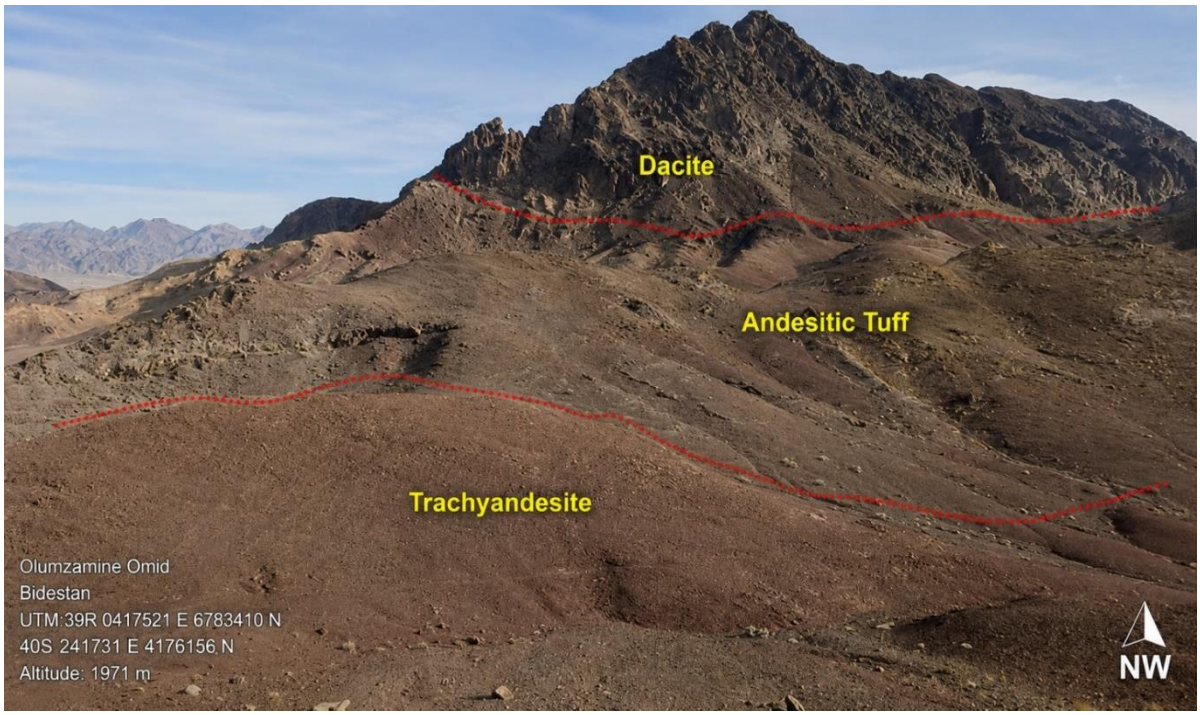


شکل ۳. موقعیت جغرافیایی و محدوده منطقه مورد بررسی بیدستان در جنوب‌شرق استان سمنان، ایران

Fig. 3. Geographic location and boundaries of the Bidestan study area in southeastern Semnan Province, Iran

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

در مجموع، زمین‌شناسی محدوده بیدستان از واحدهای آتشفشانی نئوژن و توده‌های نفوذی کوچک تشکیل‌شده است که در کنار شکستگی‌های متعدد، در تمرکز کانه‌زایی مس و منگنز نقش داشته‌اند. نمایی از رخنمون واحدهای سنگی اصلی محدوده، شامل تراکی‌آندزیت، توف آندزیتی و داسیت، در شکل ۴ ارائه‌شده است. این تنوع سنگ‌شناختی و ساختاری، زمینه مناسبی برای بررسی نقش ساختارهای زمین‌ساختی در کنترل کانه‌زایی منطقه فراهم می‌کند.



شکل ٤ . نمایی از رخنمون واحدهای سنگی تراکی آندزیت، توف آندزیتی و داسیت در محدوده بیدستان، جنوب‌شرق استان سمنان

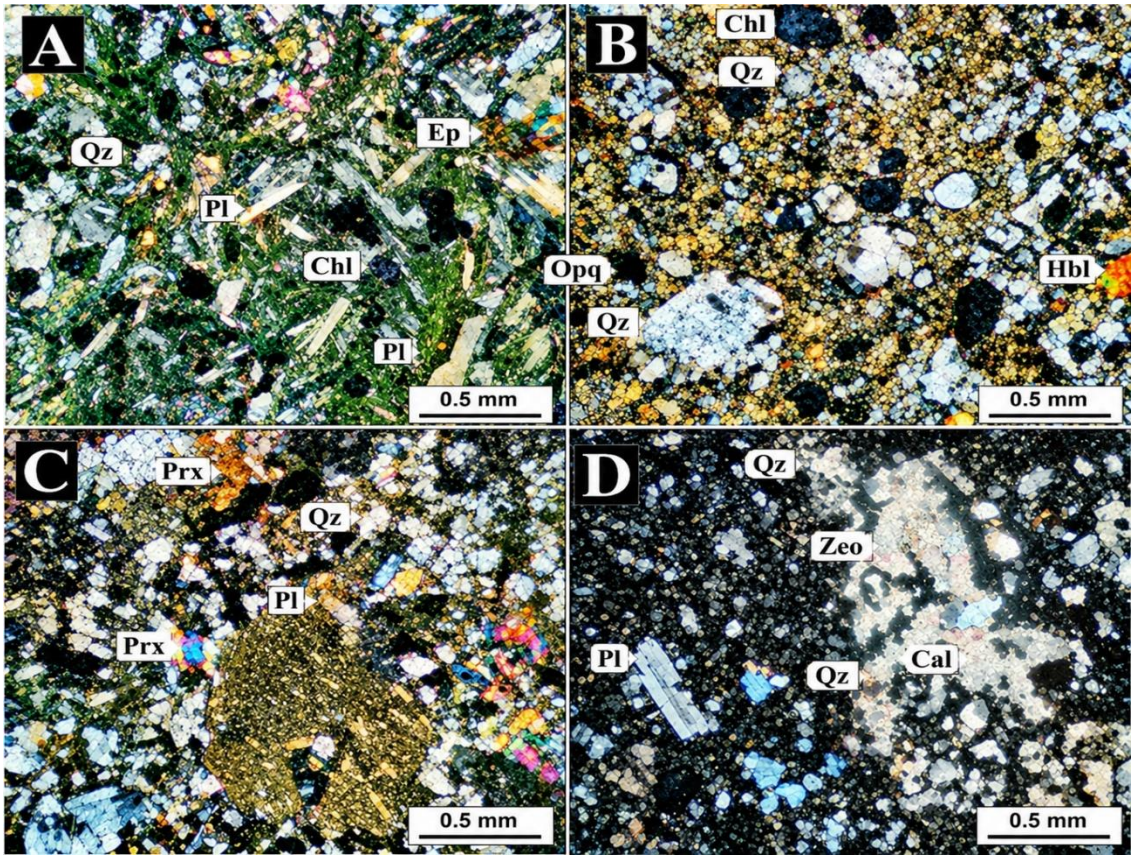
Fig. 4. Outcrops of trachyandesite, andesitic tuff, and dacite units in the Bidestan area, southeastern Semnan Province, Iran

سنگ‌نگاری، دگرسانی و کانه‌نگاری

بررسی‌های مقاطع نازک نشان می‌دهد سنگ‌های میزبان شامل توف‌های داسیتی و آندزیتی، گدازه‌های آندزیتی تا آندزی‌بازالتی، آگلومرا و دایک‌های حدواسط تا مافیک هستند. بافت‌های میکرولیتی، میکرولیتی- پورفیری و بلورین در دایک‌ها مشاهده می‌شود. جانشینی کانی‌های مافیک به وسیله کلریت و اپیدوت و پرشدگی حفره‌ها و شکستگی‌ها با کلسیت و کوارتز، دگرسانی پروپیلیتیک را نشان می‌دهد. سیلیسی‌شدن و آرژیلیک‌شدن نیز به صورت موضعی در پهنه‌های خردشده و واحدهای توفی توسعه‌یافته است.

با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی انجام‌شده در محدوده مس بیدستان، گروه‌های سنگی متعددی در محدوده قابل تشخیص است. این گروه‌ها شامل توف‌ها، سنگ‌های ساب ولکانیک، آگلومرا-برش‌ها، داسیت‌ها و گدازه‌ها هستند. گروه توف‌ها شامل توف‌های آندزیتی و توف‌های داسیتی هستند (شکل ۵-A، B، C و D). کانی‌شناسی اصلی این گروه سنگی شامل پلاژیوکلازهای نیمه شکل‌دار است.

DOI: 10.22067/econg.2026.1170



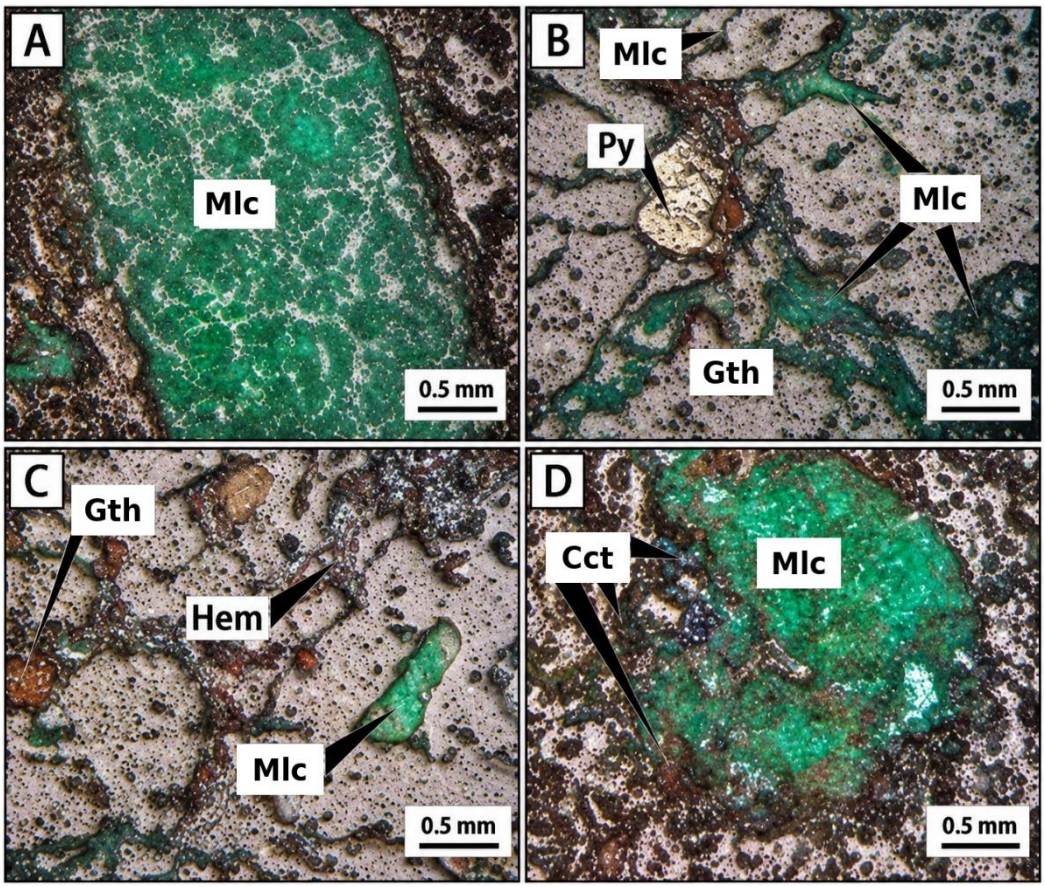
شکل ۵. تصویرهای میکروسکوپی مقاطع نازک سنگ‌های توفی محدوده مورد مطالعه بیدستان در نور متقاطع (XPL)، نشان‌دهنده ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی و شواهد دگرسانی A: حضور کوارتز، اپیدوت، پلاژیوکلاز، کلریت و کانی‌های کدر، B: همراهی کوارتز، کلریت، هورنبلند و کانی‌های کدر،C: حضور پیروکسن، کوارتز و پلاژیوکلاز و D: همراهی کوارتز، زئولیت، پلاژیوکلاز و کلسیت، نشان‌دهنده شواهد کربناته‌شدن. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس‌شده است (Qz: کوارتز، Ep: اپیدوت، Pl: پلاژیوکلاز، Chl: کلریت، Opq: کانی‌های کدر، Hbl: هورنبلند، Zeo: زئولیت Cal: کلسیت، Prx: پیروکسن).

Fig. 5. Photomicrographs of thin sections of tuffaceous rocks from the Bidestan study area under crossed polarized light (XPL), illustrating mineralogical and textural characteristics and alteration features. A: Occurrence of quartz, epidote, plagioclase, chlorite, and opaque minerals, B: Association of quartz, chlorite, hornblende, and opaque minerals, C: Occurrence of pyroxene, quartz, and plagioclase, and D: Association of quartz, zeolite, plagioclase, and calcite, indicating evidence of carbonatization. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: Quartz, Ep: Epidote, Pl: Plagioclase, Chl: Chlorite, Opq: Opaque minerals, Hbl: Hornblende, Zeo: Zeolite, Cal: Calcite, Prx: pyroxene).

در مقاطع صیقلی، مالاکیت فراوان‌ترین کانه مس است و به صورت پرکننده درزه و حفره، بافت کلوفرم، ستونی و دسته‌علفی دیده می‌شود. آزوریت از نظر فراوانی در مرتبه بعد قرار دارد. کالکوسیت به صورت رگه‌ای، پرکننده شکستگی و گاه پراکنده در متن سنگ مشاهده می‌شود و تبدیل حاشیه‌ای آن به مالاکیت و آزوریت، دگرسانی اکسیدان پس از تشکیل سولفید را نشان می‌دهد. پیریت و مقادیر کمتر بورنیت، کالکوپیریت، کریزوکولا و کوپریت نیز ثبت شده‌اند. اکسیدهای منگنز اغلب به صورت رگه‌ای و پرکننده شکستگی در واحدهای توفی رخ می‌دهند. تصویرهای کانه‌نگاری مقاطع صیقلی محدوده بیدستان، شواهدی

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

از حضـــور مالاکیت، پیریت، کالکوســـیت، هماتیت و گوتیت و روابط بافتی میان این کانی‌ها را نشان می‌دهند (شکل ۶-A، B، C و D). این تصـویرها نشـان‌دهنده پرشـدگی شـکسـتگی‌ها توسـط کانه‌های ثانویه و ارتباط بافتی میان کانه‌های ســولفیدی و محصــولات حاصــل از اکســایش آنها هســتند. در برخی نمونه‌ها، پیریت به صــورت پراکنده در زمینه ســنگ مشــاهده می‌شــود. همچنین، کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن شامل هماتیت، گوتیت و مگنتیت، در نمونه‌های برداشت‌شده از محدوده بیدستان حضــور دارند. این کانی‌ها در برخی موارد به صــورت پرکننده شـکسـتگی‌ها دیده می‌شـوند (شکل ۶-B). حضـور این کانی‌های آهن‌دار از نظر فراوری اهمیـت دارد؛ زیرا می‌تواننـد بـه عنوان کانی‌های همراه و مزاحم، بر کیفیت محصــول نهایی و عملکرد فرایندهای فرآاوری تأثیر بگذارند.

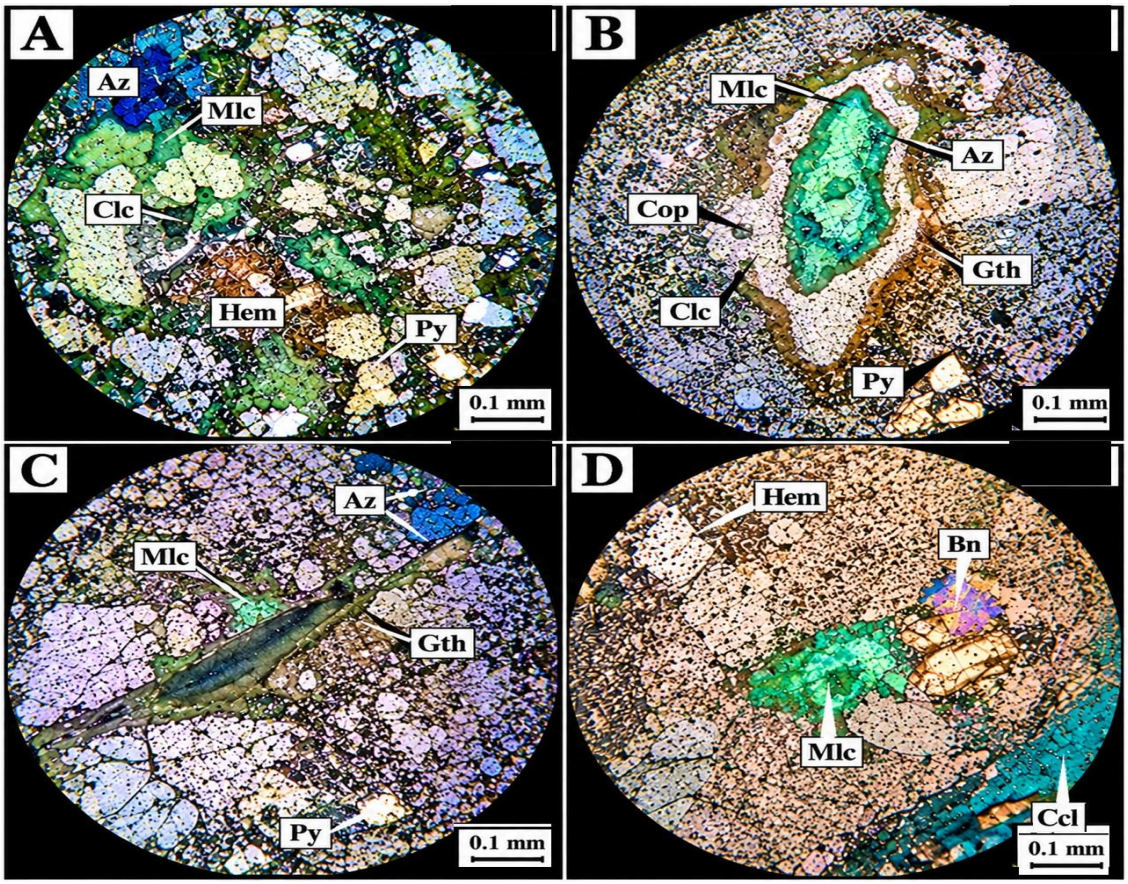


شکل ٦. تصویرهای کانه‌نگاری مقاطع صیقلی نمونه‌های کانه‌دار محدوده بیدستان A: مالاکیت به صورت پرکننده شکستگی‌ها، B: همراهی مالاکیت و پیریت در زمینه گوتیت‌دار، C: هم‌نشـینی مالاکیت با هماتیت و گوتیت و D: کالکوسـیت و مالاکیت با بافت پرکننده شـکسـتگی و جانشـینی. علائم اختصـاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس‌شـده اسـت (Mlc: مالاکیت، Cct: کالکوسـیت، Py: پیریت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت).

Fig. 6. Ore-microscopic images of polished sections from mineralized samples in the Bidestan area. A: Malachite filling fractures, B: Malachite and pyrite associated with a goethite-bearing matrix, C: Malachite associated with hematite and goethite, and D: Chalcocite and malachite showing fracture-filling and replacement textures. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Mlc: Malachite, Cct: Chalcocite, Py: Pyrite, Hem: Hematite, Gth: Goethite).

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

بر پایه روابط بافتی، یک توالی عمومی شامل مرحله سولفیدی با کالکوسیت± پیریت± بورنیت± کالکوپیریت، مرحله اکسیدان و کربناته با مالاکیت- آزوریت± کریزوکولاکوپریت و مرحله اکسیدهای آهن و منگنز پیشنهاد می‌شود. این توالی در همه رخنمون‌ها یکسان نیست. همراهی مالاکیت و اکسید منگنز در بعضی نمونه‌ها، هم‌مکانی موضعی را اثبات می‌کند؛ اما برای همزاد دانستن تمام رخدادهای مس و منگنز کافی نیست؛ زیرا زون‌های منگنزدار مستقل نیز در محدوده وجود دارد (شکل ۷-A، B، C و D).



شکل ۷. نمونه‌هایی از هم‌یافت و روابط بافتی کانه‌های مس در مقاطع صیقلی محدوده مورد مطالعه بیدستان A: هم‌نشینی آزوریت، مالاکیت، کالکوسیت، هماتیت و پیریت، B: همراهی مالاکیت و آزوریت با کالکوسیت، گوتیت، مس طبیعی و پیریت، C: روابط بافتی مالاکیت، آزوریت و گوتیت در کنار پیریت و D: همراهی مالاکیت و کریزوکولا با هماتیت و بورنیت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس‌شده است (Az: آزوریت، Mlc: مالاکیت، Clc: کالکوسیت، Py: پیریت، Hem: هماتیت، Cop: مس طبیعی، Gth: گوتیت، Bn: بورنیت، Ccl: کریزوکولا).

Fig. 7. Examples of paragenesis and textural relationships of copper ore minerals in polished sections from the Bidestan study area. A: Association of azurite, malachite, chalcocite, hematite, and pyrite, B: Malachite and azurite associated with chalcocite, goethite, native copper and pyrite, C: Textural relationships among malachite, azurite, and goethite, accompanied by pyrite, and D: Association of malachite and chrysocolla with hematite and bornite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Az: Azurite, Mlc: Malachite, Clc: chalcocite, Py: Pyrite, Hem: Hematite, Cop: native copper, Gth: Goethite, Bn: Bornite, Ccl: Chrysocolla).

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

زمین‌شیمی کانه‌زایی

نتایج ICP-OES هفت نمونه نماینده در جدول ۱ ارائه‌شده است. Cu از ۳۱۵۷ تا ۱۲۱۷۷ ppm و Mn از ۶۱۸ تا ۶۱۸۵ ppm تغییر می‌کند. Bid–۱۴ با ۱۱۴۸۲ ppm Cu و ۶۱۸۵ ppm Mn، قوی‌ترین هم‌زمانی دو عنصر را نشان می‌دهد. در مقابل، نمونه‌های Bid–۲۰ تا Bid–۲۳ با وجود Cu نسبتاً زیاد، Mn پایین‌تری دارند. بنابراین، زمین‌شیمی نیز از همراهی موضعی و نه همبستگی یکنواخت Cu و Mn حمایت می‌کند. تعداد محدود نمونه‌ها و انتخاب آنها از زون‌های کانه‌دار اجازه محاسبه همبستگی منطقه‌ای یا تعمیم به کل محدوده را نمی‌دهد.

جدول ۱. نتایج آنالیز طیف‌سنج نوری پلاسمای القایی دوتایی نمونه‌های منتخب کانه‌دار بیدستان. همه مقادیر برحسب ppm است. خط تیره به معنی گزارش‌نشدن مقدار در داده مبناست.

Table 1. ICP-OES results for selected mineralized samples from Bidestan; all values are in ppm. A dash indicates that the value was not reported in the source data.

Sample	Cu	Mn	S	Fe	Ca	As
Bid-14	11482	6185	2186	41821	48821	—
Bid-17	3157	1323	344	43563	18171	—
Bid-19	12177	1336	321	45143	18381	71
Bid-20	5955	618	—	35864	26231	835
Bid-21	7676	657	—	39141	28020	828
Bid-22	7511	656	181	36336	22481	516
Bid-23	11140	867	—	35995	43760	15

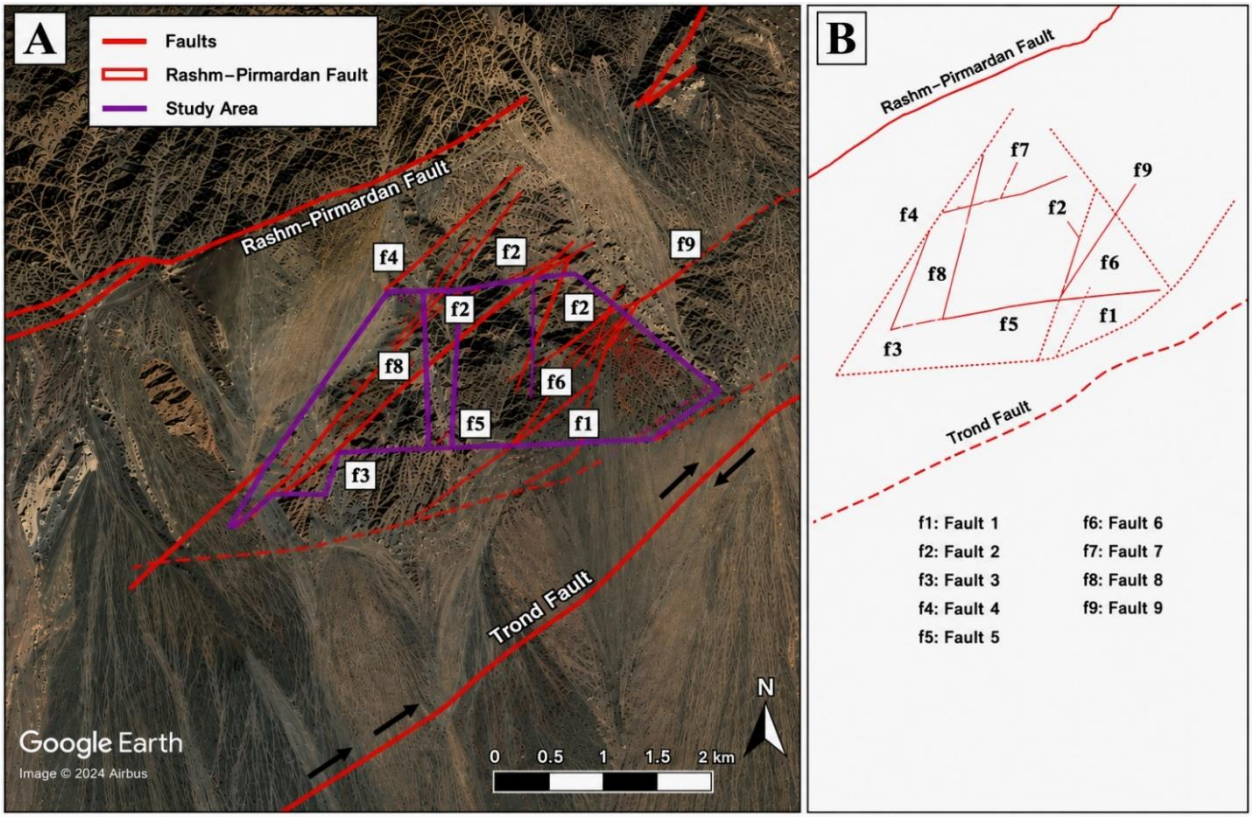
تحلیل ساختارهای زمین‌ساختی منطقه بیدستان

ساختارهای شکننده محدوده شامل گسل‌ها، درزه‌ها، شکستگی‌ها و پهنه‌های برشی هستند. معیار کنترل ساختاری در این پژوهش، هم‌مکانی صرف نیست؛ بلکه پرشدگی مستقیم شکستگی‌ها با مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت، کوارتز، کلسیت و اکسیدهای منگنز، حضور برش گسلی کانه‌دار و افزایش کانه‌زایی در حاشیه بعضی دایک‌هاست. این شواهد نشان می‌دهد که نفوذپذیری ساختاری در مکان‌یابی کانه نقش‌داشته است (Sillitoe, 2010).

ساختارهای شکننده محدوده بیدستان شامل گسل‌ها، درزه‌ها، شکستگی‌ها و پهنه‌های برشی هستند. معیار تشخیص کنترل ساختاری کانه‌زایی در این پژوهش، فقط هم‌مکانی ساختارها با پهنه‌های کانه‌دار نیست؛ بلکه بر شواهد مستقیمی مانند پرشدگی شکستگی‌ها با مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت، کوارتز، کلسیت و اکسیدهای منگنز، وجود برش‌های گسلی کانه‌دار و افزایش کانه‌زایی در حاشیه برخی دایک‌ها استوار است. این شواهد بیانگر نقش نفوذپذیری ساختاری در تمرکز و مکان‌یابی کانه‌زایی در محدوده بیدستان است. موقعیت محدوده، گسل‌های اصلی پیرامون آن و عملکرد ساختاری این گسل‌ها در شکل ۸–A نشان داده شده است. شکل ۸–B نیز شماتیک گسل‌های اصلی و موقعیت محدوده را ارائه می‌کند (Sillitoe, 2010).

روند NW–SE یکی از دسته‌های اصلی شکستگی در محدوده است و بخشی از رگه‌ها و پهنه‌های دگرسان در امتداد آن قرار دارند. اتصال مستقیم تمام این شکستگی‌ها به یک گسل عمیق منطقه‌ای تنها از روی روند قابل اثبات نیست و به داده‌های سینماتیکی و پیوستگی هندسی بیشتری نیاز دارد (White and Hedenquist, 1995).

DOI: 10.22067/econg.2026.1170



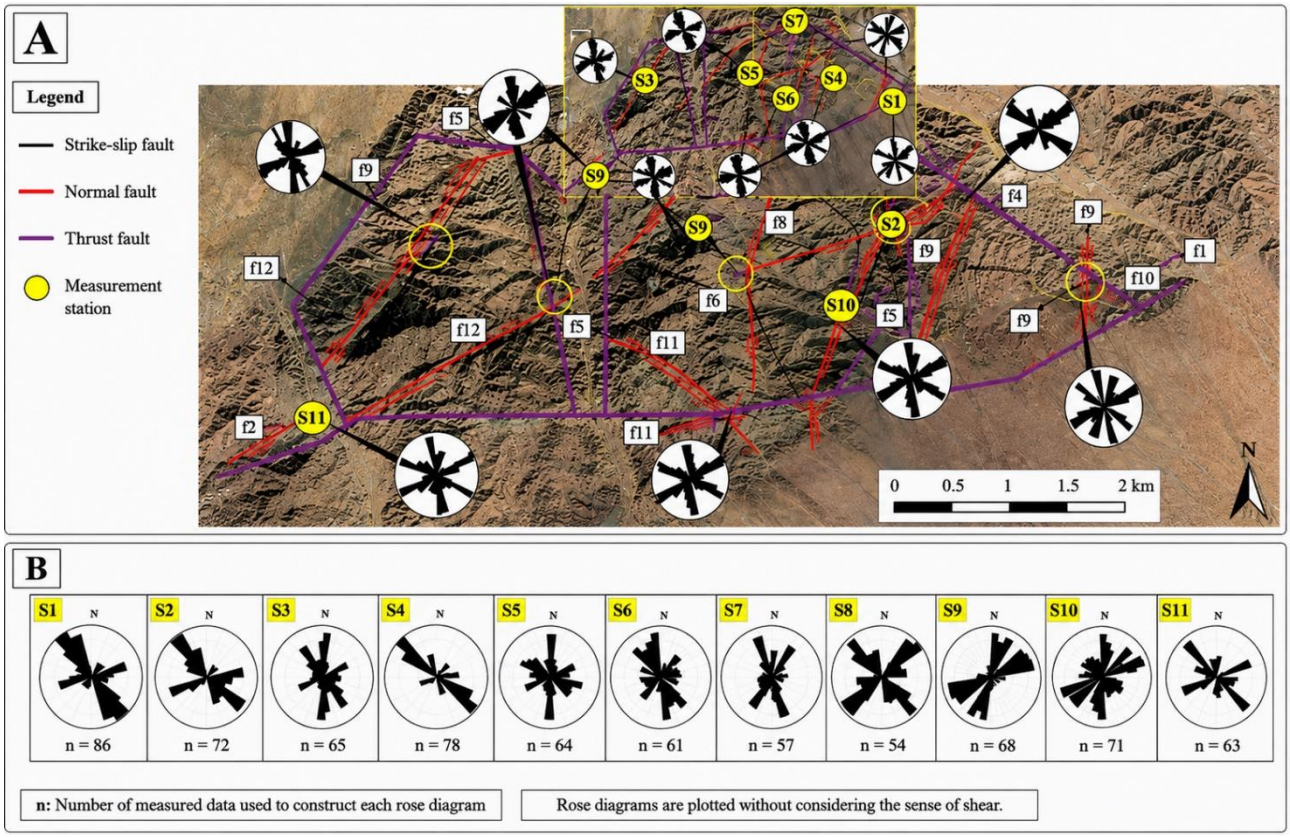
شکل ۸. A: موقعیت محدوده بیدستان و گسل‌های اصلی اطراف محدوده که عملکرد آنها نیز مشخص‌شده است و B: شماتیک این گسل‌ها و محدوده نیز ارائه‌شده است.

Fig. 8. A: The location of the Bidistan area and the main faults around the area, whose function is also specified, and B: A schematic of these faults and the area is also presented.

شکستگی‌های NE–SW دسته مهم دیگری از ساختارهای محدوده بیدستان را تشکیل می‌دهند. در برخی نقاط، تراکم شکستگی‌ها، شدت برش‌شدگی و میزان کانه‌زایی در مجاورت محل تقاطع این دسته با شکستگی‌های NW–SE افزایش می‌یابد. این مشاهدات، نقاط تقاطع دو روند را به عنوان اهداف بالقوه اکتشافی مطرح می‌کنند؛ با این حال، اثبات برتری آماری کانه‌زایی در این نقاط مستلزم مقایسه نظام‌مند عیار و چگالی شکستگی‌ها در محدوده تقاطع‌ها و نواحی خارج از آنهاست.

شکستگی‌های N–S نیز در محدوده ثبت شده‌اند. نمونه شاخص، رگه مس- منگنزدار تشکیل‌شده در امتداد گسلی با امتداد شمالی- جنوبی و شیب حدود ۷۵ درجه به سوی جنوب‌شرق است. ضخامت پرشدگی بعضی درزه‌ها در این رخنمون تا حدود ۲۵ سانتی‌متر گزارش‌شده و ترکیب پرکننده شامل اکسیدهای منگنز، کلسیت، کوارتز و مقدار کمی کانه مس است (Browne, 1978). پراکندگی گسل‌های اصلی، موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه و ساختارهای شکستگی در محدوده بیدستان در شکل ۹-A ارائه‌شده است. همچنین، شکل ۹-B نمودارهای گل‌سرخی حاصل از برداشت درزه‌ها و شکاف‌ها را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. این نمودارهای گل‌سرخی بر اساس راستای شکستگی‌ها و بدون تفکیک یا لحاظ‌کردن نوع پرشدگی آنها تهیه شده‌اند و امکان مقایسه روندهای غالب شکستگی در ایستگاه‌های برداشت را فراهم می‌کنند (شکل ۹).

DOI: 10.22067/econg.2026.1170



شکل ۹. نقشه ساختاری و تحلیل راستای شکستگی‌ها در محدوده مورد بررسی بیدستان. A: نقشه ساختاری محدوده بیدستان شامل گسل‌های اصلی، موقعیت ایستگاه‌های برداشت درزه و پراکندگی ساختارهای شکستگی و B: نمودارهای گل‌سرخی حاصل از برداشت درزه‌ها و شکاف‌ها در ایستگاه‌های مختلف محدوده بیدستان، بدون در نظرگرفتن نوع پرشدگی شکستگی‌ها که روندهای غالب آنها را نشان می‌دهند.

Fig. 9. Structural map and fracture-orientation analysis of the Bidestan study area. A: Structural map showing the major faults, locations of joint-measurement stations, and distribution of fracture structures in the Bidestan area, and B: Rose diagrams derived from joint and fracture measurements at different stations in the Bidestan area, showing the dominant fracture orientations without distinguishing fracture-filling materials.

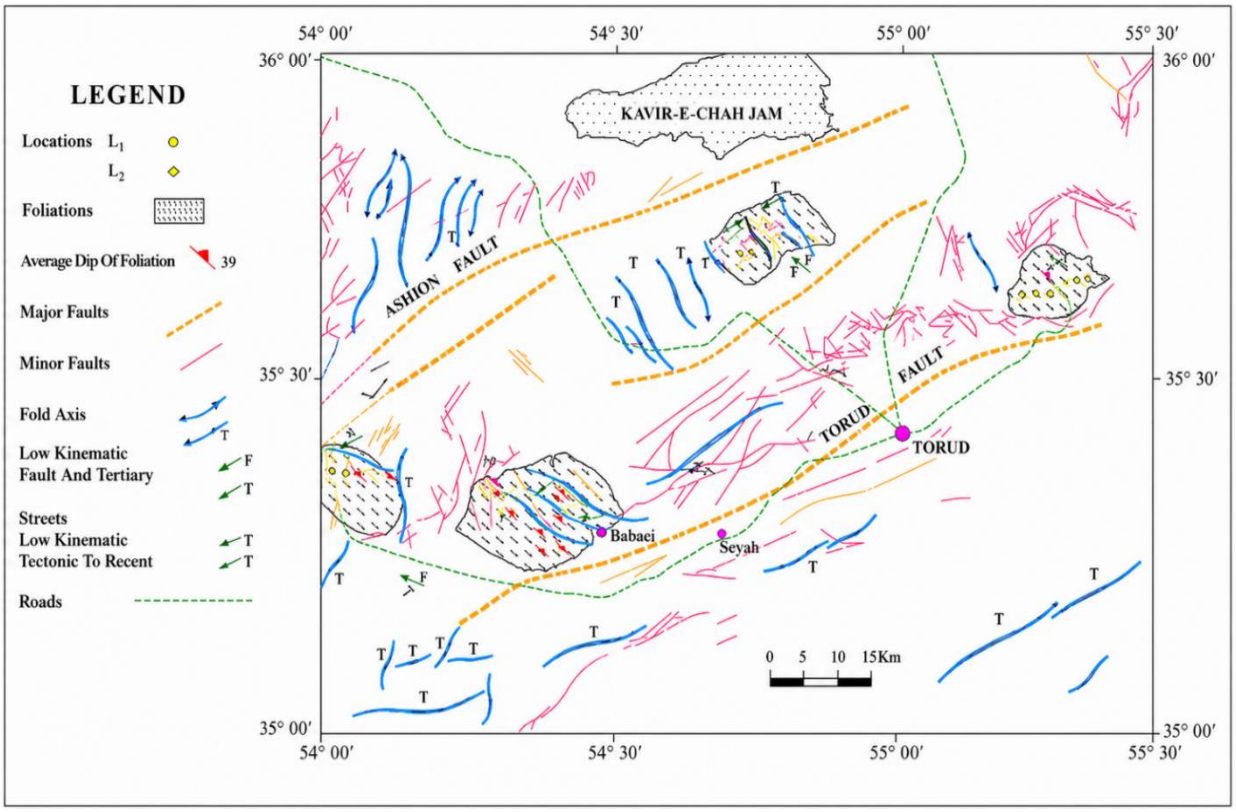
دایک‌های حدواسط تا مافیک در چند نقطه با کانی‌زایی ارتباط مکانی دارند. کانه‌ها هم در شکستگی‌های داخل دایک و هم در تماس دایک با آگلومرا و توف دیده می‌شوند. بر این اساس، نقش اثبات‌شده دایک‌ها افزایش ناهمگنی مکانیکی و تمرکز شکستگی است. نقش آنها به عنوان منبع فلز یا سیال از داده‌های موجود قابل تعیین نیست.

دگرسانی عمومی محدوده پروپیلیتیک است و سیلیسی‌شدن، آرژیلیک‌شدن، کربناته‌شدن و هماتیتی- لیمونیتی‌شدن به صورت موضعی توسعه یافته‌اند. تمرکز سیلیس و کانی‌های کربناته در شکستگی‌ها و پهنه‌های خردشده، عبور سیال از این مسیرها را تأیید می‌کند؛ اما شیمی یا تداوم جریان سیال بدون داده مستقیم قابل تعیین نیست (Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005).

در مجموع، شواهد صحرایی و میکروسکوپی از نقش شکستگی‌های متعدد و تماس دایک‌ها در ایجاد و تمرکز نفوذپذیری ساختاری و کنترل موضعی کانه‌زایی در محدوده

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

بیدستان حمایت می‌کنند. با توجه به مشخص‌نبودن تقدم و تأخر کامل همه دسته‌های گسلی، الگوی ارائه‌شده در شکل ۱۰، یک مدل هندسی- اکتشافی برای نمایش آرایش ساختارها و ارتباط آنها با محدوده مورد بررسی است و نباید به عنوان بازسازی قطعی تاریخچه تنش منطقه تفسیرشود. الگوی هندسی ساختارهای اصلی و آرایش آنها در محدوده مورد بررسی بیدستان در شکل ۱۰ ارائه‌شده است.



شکل ۱۰. الگوی ساختاری محدوده مورد بررسی بیدستان، شامل آرایش و پراکندگی ساختارهای اصلی در منطقه

Fig. 10. Structural pattern of the Bidestan study area, showing the arrangement and distribution of the main structural features

ارتباط ساختارهای زمین‌ساختی با کانی‌زایی مس- منگنز

تلفیق رخنمون‌ها، ترانشه‌ها، مقاطع صیقلی و داده‌های ICP-OES نشان می‌دهد که کانه‌زایی مس و منگنز با شکستگی‌ها و پهنه‌های خردشده ارتباط دارد. تفاوت هم‌یافت‌ها و تغییرات Cu/Mn بیانگر آن است که این دو عنصر در همه نقاط یک رخداد همزاد تشکیل نداده‌اند (White and Hedenquist, 1995; Sillitoe, 2010).

شاهد مستقیم کنترل ساختاری مس، حضور مالاکیت، آزوریت و کالکوسیت به صورت پرکننده درزه و شکاف، بافت‌های رگه‌ای و کانه‌زایی در برش‌های گسلی است. این رابطه در روندهای مختلف مشاهده می‌شود و شدت آن در بعضی پهنه‌های NW–SE بیشتر است (Hedenquist and Lowenstern, 1994).

در محل تلاقی یا نزدیکی شکستگی‌های NE–SW و NW–SE، افزایش خردشدگی و بازشدگی موضعی می‌تواند نفوذپذیری را

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

افزایش‌دهد. داده‌های موجود این نقاط را برای پی‌جویی مناسب نشان می‌دهد؛ ولی ادعای «بیشترین عیار» تنها در صورت ارائه نمونه‌برداری شبکه‌ای و آزمون آماری قابل تعمیم است.

رابطه دایک با کانی‌زایی در چند ترانشه روشن است: کانه‌های درون دایک، حاشیه آن و آگلومرای مجاور ثبت شده‌اند. این شواهد از نقش مکانیکی تماس‌ها حمایت می‌کند. تبدیل کالکوسیت به مالاکیت و آزوریت در مقاطع صیقلی نیز نشان می‌دهد بخشی از کانه‌زایی مس پس از تشکیل سولفیدها تحت اکسایش برون‌زاد قرارگرفته است (Browne, 1978; McPhie et al., 1993).

منگنز اغلب به صورت اکسیدهای منگنز در رگه‌ها و شکستگی‌های واحدهای توفی و آذرآواری دیده می‌شود. در بعضی رخنمون‌ها با مالاکیت همراه است و در برخی دیگر زون مستقلی می‌سازد. از این‌رو، داده‌های موجود کنترل شکستگی بر جای‌گیری منگنز را تأیید می‌کند؛ اما برای تعیین دما، منشأ سیال و تقدم یا تأخر قطعی آن نسبت به مس کافی نیست.

دگرسانی پروپیلیتیک در بخش وسیعی از سنگ‌های آتشفشانی و دایک‌ها دیده می‌شود. سیلیسی و آرژیلیک‌شدن موضعی‌تر و با پهنه‌های خردشده و واحدهای توفی مرتبط است. این توزیع با مسیرهای ساختاری سازگار است؛ ولی تعیین زون‌بندی دمایی سامانه به کانی‌شناسی کمی و داده‌های میان‌بار سیال نیاز دارد. در نتیجه، ساختارهای شکننده سه نقش قابل دفاع دارند: ایجاد مسیر نفوذ سیال، فراهم‌کردن فضای پرشدگی و تمرکز کانه در محل تغییر نفوذپذیری، به‌ویژه حاشیه دایک‌ها و پهنه‌های برشی. منشأ فلز و سیال از این روابط هندسی به تنهایی تعیین نمی‌شود.

مدل مفهومی زمین‌ساخت- کانی‌زایی بیدستان

مدل مفهومی بیدستان بر پایه چهار مشاهده استوار است: کانه‌های پرکننده شکستگی، برش‌های گسلی کانه‌دار، تمرکز دگرسانی در پهنه‌های خردشده و همراهی موضعی کانه‌زایی با تماس دایک‌ها. این مدل، کنترل نفوذپذیری را توضیح می‌دهد و به معنای تعیین قطعی نوع اپی‌ترمال یا منشأ ماگمایی سیال نیست (White and Hedenquist, 1995; Simmons et al., 2005).

در مرحله نخست، تشکیل واحدهای آتشفشانی- آذرآواری و جای‌گیری دایک‌ها، سنگ‌هایی با رفتار مکانیکی متفاوت ایجادکرد. شکستگی‌ها و پهنه‌های خردشده بعدی، همراه با تماس دایک- سنگ میزبان، مسیرهای نفوذپذیر را فراهم ساختند. این ترتیب، یک مدل هندسی- اکتشافی مبتنی بر روابط صحرایی است و بازسازی قطعی سن یا سینماتیک تمام ساختارها محسوب نمی‌شود (McPhie et al., 1993; Richards, 2011).

پس از ایجاد شبکه شکستگی و جای‌گیری دایک‌ها، سیالات در امتداد مسیرهای نفوذپذیر حرکت کرده و کوارتز، کلسیت و کانه‌های سولفیدی را نهشته‌اند. داده‌های موجود امکان تفکیک سهم سیال ماگمایی از آب‌های جوی را نمی‌دهد؛ بنابراین منشأ سیال در مدل باز گذاشته‌شده است.

روابط بافتی نشان می‌دهد، کالکوسیت و پیریت پیش از بخش مهمی از مالاکیت، آزوریت، هماتیت و گوتیت تشکیل شده‌اند. تبدیل حاشیه‌ای سولفیدها و بافت‌های پرکننده ثانویه، اکسایش و آب‌شویی برون‌زاد را نشان می‌دهد. ترتیب دقیق رویدادهای سیلیسی‌شدن و کربناته‌شدن در همه زون‌ها یکسان نیست.

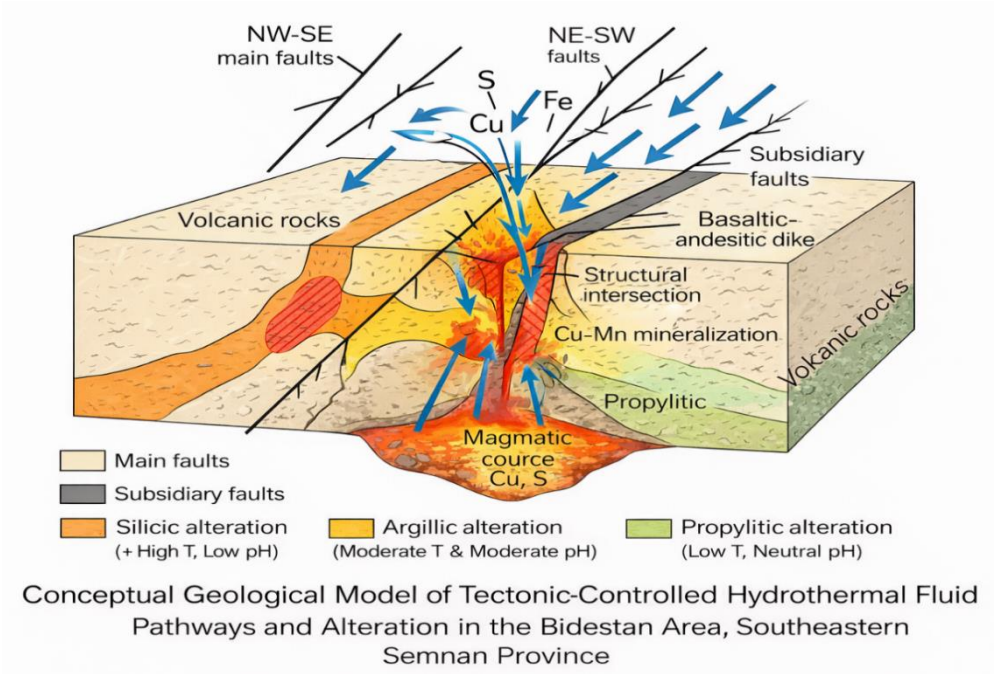
اکسیدهای منگنز در رگه‌ها و شکستگی‌های کم‌عمق و گاه همراه مالاکیت دیده می‌شوند. نبود روابط قطع‌کنندگی روشن در همه نمونه‌ها مانع از تعیین یک مرحله واحد برای منگنز است؛ از این رو در مدل، منگنز به صورت رخداد اکسیدی موضعی و احتمالاً چندمرحله‌ای نمایش داده می‌شود.

در مجموع، مدل مفهومی بیدستان را می‌توان یک سامانه گرمابی چندمرحله‌ای و ساختار- کنترل‌شده دانست (شکل ۱۱) که ویژگی‌های آن شامل موارد زیر است:

۱- تشکیل واحدهای آتشفشانی- آذرآواری و جای‌گیری دایک‌ها؛ ۲- ایجاد و بازفعال‌شدن شکستگی‌ها و پهنه‌های برشی؛ ۳- نهشت کوارتز- کلسیت و سولفیدهای مس در مسیرهای نفوذپذیر؛ ۴- اکسایش و جانشینی بخشی از سولفیدها با مالاکیت،

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

آزوریت و اکسیدهای آهن و ۵- تشکیل اکسیدهای منگنز به صورت رگه‌ای، مستقل یا همراه موضعی با مس. این توالی عمومی است و ممکن است در رخنمون‌های مختلف تکرار یا هم‌پوشانی داشته باشد.



شکل ۱۱. مدل مفهومی زمین‌شناسی مسیرهای سیالات گرمابی کنترل‌شده توسط زمین‌ساخت و دگرسانی در منطقه بیدستان، جنوب‌شرقی استان سمنان

Fig. 11. Conceptual Geological Model of Tectonic-Controlled Hydrothermal Fluid Pathways and Alteration in the Bidestan Area, Southeastern Semnan Province

نتیجه‌گیری

داده‌های صحرایی، کانه‌نگاری و زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که کانی‌زایی بیدستان به طور عمده در شکستگی‌ها، برش‌های گسلی و تماس دایک- سنگ میزبان متمرکزشده است. بنابراین، کنترل اصلی قابل دفاع، کنترل نفوذپذیری توسط ساختارهای شکننده است.

روندهای NW–SE و NE–SW، همراه با شکستگی‌های N–S، شبکه اصلی مسیرهای کانه‌دار را تشکیل می‌دهند. نمونه رگه N–S با شیب حدود ۷۵ درجه و پرشدگی اکسید منگنز- کلسیت- کوارتز، شواهد کمی‌تری از هندسه یکی از رخدادهای کانه‌دار فراهم می‌کند. تعیین تقدم و تأخر کامل همه دسته‌ها به داده سینماتیکی بیشتری نیاز دارد (White and Hedenquist, 1995, Sillitoe, 2010).

دایک‌ها در بعضی ترانشه‌ها میزبان کانه یا در تماس با آگلومرا و توف کانه‌دارند. داده‌ها نقش مکانیکی آنها را در تمرکز شکستگی تأیید می‌کند؛ اما نقش مستقیم آنها به عنوان منبع فلز، گوگرد یا سیال اثبات‌نشده است.

هم‌یافت و روابط بافتی از یک مرحله سولفیدی Cu و یک مرحله اکسیدان- کربناته بعدی حمایت می‌کند. اکسیدهای منگنز گاه همراه مالاکیت و گاه به صورت زون مستقل دیده می‌شوند؛ بنابراین، استفاده از عبارت «مس و منگنز» در این مقاله بیانگر حضور هر دو ماده در محدوده است، نه همزادی قطعی آنها.

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

مقادیر ۳۱۵۷ تا ۱۲۱۷۷ ppm Cu و ۶۱۸ تا ۶۱۸۵ ppm Mn در نمونه‌های منتخب، همراه با تغییر نسبت این دو عنصر، ناهمگنی کانی‌زایی را نشان می‌دهد. نمونه Bid-۱٤ همراهی قوی‌تر و نمونه‌های دیگر جدایی نسبی را ثبت می‌کنند.

برای ادامه اکتشاف، پهنه‌های برشی، شکستگی‌های کانه پرشده، محل برخورد روندهای گسلی و تماس دایک‌ها اولویت دارند.

پیشنهاد می‌شود این اهداف با نمونه‌برداری شبکه‌ای، محاسبه چگالی شکستگی، کانه‌نگاری تکمیلی، میان‌بار سیال و داده‌های ایزوتوپی آزمون شوند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافعی توسط نویسندگان بیان‌نشده است.

1. ICP-OES: Inductively Coupled Plasma–Optical Emission Spectrometry

DOI: 10.22067/econg.2026.1170

References

Berberian, M. and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences, 18(2): 210–265. https://doi.org/10.1139/e81-019

Browne, P.R.L., 1978. Hydrothermal alteration in active geothermal fields. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 6: 229–250. https://doi.org/10.1146/annurev.ea.06.050178.001305

Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1988. Volcanic successions: Modern and ancient. A geological approach to processes, products and successions. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 528 pp. https://doi.org/10.1007/978-94-009-3167-1

Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), Gold in 2000: Reviews in Economic Geology, V.13. Society of Economic Geologists, pp. 245–277. https://doi.org/10.5382/Rev.13.07

Hedenquist, J.W. and Lowenstern, J.B., 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. Nature, 370: 519–527. https://doi.org/10.1038/370519a0

Henley, R.W. and Ellis, A.J., 1983. Geothermal systems ancient and modern: A geochemical review. Earth-Science Reviews, 19(1): 1–50. https://doi.org/10.1016/0012-8252(83)90075-2

Javariani, O., Ehya, F., Aliabadi, M.A., Asgari, A. and Mehri, M., 2022. The Kuh Toto volcanic-hosted copper deposit, Semnan Province: geochemical, and C and O isotopic studies. Advanced Applied Geology, 12(2): 207–224. https://doi.org/10.22055/AAG.2021.35510.2176

McPhie, J., Doyle, M. and Allen, R., 1993. Volcanic textures: A guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. Centre for Ore Deposit and Exploration Studies, University of Tasmania, Hobart, Tasmania, Australia, 198 pp.

Richards, J.P., 2011. Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins. Ore Geology Reviews, 40(1): 1–26. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.05.006

Seedorff, E., Dilles, J.H., Proffett, J.M., Einaudi, M.T., Zurcher, L., Stavast, W.J.A., Johnson, D.A. and Barton, M.D., 2005. Porphyry deposits: Characteristics and origin of hypogene features. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, pp. 251–298. https://doi.org/10.5382/AV100.10

Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. Economic Geology, 105(1): 3–41. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3

Simmons, S.F., White, N.C. and John, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb, and J.P. Richards (Editors), 100th Anniversary Volume, Society of Economic Geologists, pp. 485–522. https://doi.org/10.5382/AV100.16

Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: A review. AAPG Bulletin, 52(7): 1229–1258. https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D

Tale Fazel, E., Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2019. Epithermal systems of the Torud–Chah Shirin district, northern Iran: Ore-fluid evolution and geodynamic setting. Ore Geology Reviews, 109: 253–275. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.014

White, N.C. and Hedenquist, J.W., 1995. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. SEG Newsletter, (23): 1–13. https://doi.org/10.5382/SEGnews.1995-23.fea

Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist, 95(1): 185–187. https://doi.org/10.2138/am.2010.3371