Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Summer 2026, Vol. 16(2): 147 - 164

Research Article

Investigation of the Relationship between Tectonic Activities and Hydrothermal-Magmatic Iron Mineralization in the Razan Region, Hamadan

Seyedeh Razieh Jafari [1]*, Leili Izadi Kia[2]

1- Department of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran
Tehran, Iran
2- Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

Abstract
Iron mineralization in the Razan area occurs as quartz–iron oxide veins (mainly hematite and magnetite) that are closely linked to fractures and reactivated faults within a right-lateral transpressional system. The principal veins strike approximately N35°E and reach a minimum thickness of 0.5 m. Geometric and kinematic analysis of faults, joints, dikes, and mineralized veins, together with shear-sense indicators and brittle C/S fabrics, demonstrates that the regional structures developed under a right-lateral transpressional stress field. In this field, the dominant shortening direction was northeast–southwest, while extension was oriented northwest–southeast. Reverse faults predominantly strike NW–SE, whereas normal and strike-slip faults, dikes, and a substantial portion of the mineralized veins are concentrated between N15°E and N45°E. This arrangement indicates that the ore-bearing veins formed along fractures that were favourably oriented for dilation under the extensional component of the transpressional regime. Consequently, structural control on mineralization is governed more by the creation and maintenance of open spaces than by fault trends alone. The spatial coincidence of these structures with monzodioritic and monzogabbroic intrusions and associated hydrothermal alteration points to the role of the intrusive bodies in supplying heat and driving the fluid system. Iron mineralization is therefore interpreted as the product of hydrothermal fluid focusing into dilational fractures related to right-lateral transpression, developed in conjunction with intrusive activity. Based on the results of this study, identifying open fractures may help delineate zones favourable for hydrothermal fluid concentration and iron mineralization associated with intrusive bodies.
Keywords: *Urumieh-Dokhtar, Hydrothermal alteration, Razan, word4, Iron mineralization, Fault.*

1-Introduction

The spatial relationship between hydrothermal-magmatic mineralization and crustal geological structures, particularly fault systems, has always been of interest to researchers (Gillespie et al., 2017). Volcanic belts, due to their high potential for metal mineralization, are often known as “metallogenic belts” (Garwin et al., 2005), and their distribution is directly influenced by tectono-magmatic processes (Nabatian et al., 2015). In many tectonic models, faults act as key factors in controlling regional mineralization by focusing and transporting hydrothermal fluids (Faulkner et al., 2003; Gillespie et al., 2017). Domestic studies, such as those on the Golgohar (Jafari et al., 2019) and Sangan (Rezaei et al., 2019) iron deposits, confirm this structure-mineralization relationship. The Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (UDMA), formed by the convergence of the Arabian and Central Iranian plates (Agard et al., 2011), exhibits a complex deformation pattern with evidence of extensional phases facilitating the emplacement of porphyry bodies and hydrothermal fluids (Richards, 2015; Hassanzadeh et al., 2016). This study aims to investigate the role of

* Corresponding author: sr.jafari2000@pnu.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2026.52097.2567
Received: 2026-05-11
Accepted: 2026-09-11

ISSN: 2717-0764
CC BY

tectonic activities in the formation of non-placer iron deposits related to hydrothermal systems in the Razan area.

The study area is located approximately 100 km from Hamadan and 55 km west of Razan (Kabudrahang quadrangle), situated at the intersection of the Alborz, Sanandaj-Sirjan, and Urumieh-Dokhtar structural zones. Based on sedimentary-structural divisions (Aghanbati, 2006), it is considered part of the UDMA a nearly 1,600-km-long belt of mainly Cenozoic volcanic and intrusive rocks (Alavi, 1994; Chiu et al., 2013). Magmatic emplacements in this belt mostly occurred from the Late Eocene to Early Miocene (Babazadeh et al., 2017; Nouri et al., 2018). The oldest exposed units in the area are Eocene acidic tuffs and rhyodacitic lavas, overlain by Oligo-Miocene tuffs and basal conglomerates. Intrusive bodies, including granitoids, gabbroids, and dacitic domes, intruded the older volcanosedimentary sequences, causing intense contact metamorphism (skarnification) and the formation of silicic-iron oxide hydrothermal veins.

2-Material and methods

To achieve the objectives of this study, detailed field surveys were conducted to document structural orientations, brittle C–S fabrics, the geometric and kinematic characteristics of fault surfaces, mineralization-related features, outcrops of intrusive bodies, and fracture patterns. Oriented specimens were also collected for subsequent microscopic analysis. The structural data were subsequently transferred to rose-diagram and stereonet programs for graphical analysis.

3-Results and discussions

Mineralization in the study area is spatially and genetically linked to a structurally controlled magmatic–hydrothermal system developed within a heterogeneous lithological assemblage comprising sedimentary (conglomerate, tuffite), igneous (gabbro, diorite, syenite, dacite, andesite), and metamorphic (skarn, hornfels) units. Contact metamorphism induced by monzodiorite and monzogabbro intrusions generated hornfelsic and skarn assemblages and supplied the thermal energy necessary to drive hydrothermal circulation. Widespread alteration, including silicification, argillic, and propylitic types, overprints the host rocks and reflects progressive fluid–rock interaction.

Iron mineralization predominantly occurs as quartz veins with minimum thicknesses of 0.5 m and a consistent N035 trend. These veins contain hematite, magnetite, limonite, and goethite, indicating an oxidized hydrothermal system. Field relationships demonstrate that iron oxide and hydroxide deposition postdates the peak of contact metamorphism and represents a late-stage hydrothermal overprint. The consistent orientation of mineralized veins highlights strong structural control during fluid emplacement.

Structurally, the area is characterized by relatively minor NW–SE–striking reverse faults and more pervasive NE–SW–trending normal and dextral strike-slip faults (N015–N045). The strike-slip faults, commonly oriented nearly perpendicular to reverse faults, are interpreted as tear faults and coincide with dominant joint sets. Kinematic indicators, including brittle S–C fabrics and measurable slickensides, indicate development within a dextral transpressional stress regime. This regime is defined by NE-directed maximum shortening and NW-directed extension. The shortening direction is subparallel to mineralized hydrothermal veins, normal faults, principal joint systems, and diabasic dykes, whereas the extension direction corresponds to fold axes and reverse faults. Stress partitioning into compressional and strike-slip components generated extensional fractures aligned with the maximum stress orientation, providing efficient conduits for the ascent and deposition of magmatic–hydrothermal fluids and ultimately controlling the geometry and distribution of iron mineralization.

4-Conclusion

The intrusion of magmatic bodies (especially dioritic and dacitic) into the volcanosedimentary sequences of the Razan area provided the necessary heat and metal-bearing fluids, leading to contact metamorphism (skarn) and extensive alteration. The structural pattern indicates a dextral transpressional regime. Extensional structures, particularly fractures and normal faults with a NE-SW trend, played a crucial role in controlling the mineralization. These structures acted as main conduits for fluid migration, leading to the concentration of iron ore veins, primarily hosted within the dacitic and rhyolitic units in the central and northern parts of the exploration area.

ISSN: 2717-0764
CC BY

The application of this study lies in identifying and tracing faults and fractures that, under the extensional component of a right-lateral transpressional system, provided favorable conditions for opening and the circulation of hydrothermal fluids. Such structures, particularly where they are spatially associated with monzodioritic and monzogabbroic intrusions and zones of hydrothermal alteration, may have provided preferential pathways for fluid migration and promoted fluid focusing and subsequent iron mineralization. The location of the study area within the Urumieh-Dokhtar magmatic belt, which is characterized by extensive tectono-magmatic activity and significant metallogenic potential, further highlights the importance of these structural controls. Accordingly, considering the geometry and kinematics of faults and fractures together with the distribution of intrusive bodies and hydrothermal alteration can be useful for delineating favorable zones for iron mineralization and for focusing subsequent exploration activities within the study area.

5-References

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geological Magazine 148, 692–725. https://doi.org/10.1017/S001675681100046X

Aghanbati, S.A., 2006 -2010. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, p. 586.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. Tectonophysics 229, 211–238. https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2

Babazadeh, S., Ghorbani, M.R., Bröcker, M., D'Antonio, M., Cottle, J.M., Gebbing, T., Mazzeo, F.C., Ahmadi, P., 2017. Late Oligocene–Miocene mantle upwelling and interaction inferred from mantle signatures in gabbroic to granitic rocks from the Urumieh-Dokhtar arc, south Ardestan, Iran. International Geology Review 59, 1590–1608. https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1286613

Chiu, H.-Y., Chung, S.-L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Khatib, M.M., Iizuka, Y., 2013. Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. Lithos 162, 70–87. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006

Faulkner, D.R., Lewis, A.C., Rutter, E.H., 2003. On the internal structure and mechanics of large strike-slip fault zones: field observations of the Carboneras fault in southeastern Spain. Tectonophysics 367, 235–251. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00134-3

Garwin, S., Hall, R., Watanabe, Y., 2005. Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, R.J., Richards, J.P. (Eds.), One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists.

Gillespie, P., Casini, G., Iben, H., O'Brien, J.F., 2017. Simulation of subseismic joint and fault networks using a heuristic mechanical model. Geological Society, London, Special Publications 459(1),177. https://dx.doi.org/10.1144/SP459.6.

Hassanzadeh, J., Wernicke, B.P., 2016. The Neotethyan Sanandaj–Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin–arc transitions. Tectonics 35(3), 586–621. https://DOI: 10.1002/2015TC003926

Jafari, A., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., Malekzadeh Shafaroudi, A., Ren, M., 2019. Geochemistry of metamorphic rocks and mineralization in the Golgohar iron ore deposit (No. 1), Sirjan, SE Iran: implications for paleotectonic setting and ore genesis. Journal of Geochemical Exploration 205, 106330. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.012

Nabatian, GH, Rastad, E., Neubauer, F., Honamand, M., Ghaderi, M., 2015. Iron and Fe–Mn mineralization in Iran: implications for Tethyan metallogeny. Australian Journal of Earth Sciences 62(2), 211–241. https://DOI: 10.1080/08120099.2015.1002001

Nouri, N., Azizi, H., Stern, R., Asahara, Y., Khodaparast, S., Madanipour, S., Yamamoto, K., 2018. Zircon U–Pb dating, geochemistry and evolution of the Late Eocene Saveh magmatic complex, central Iran: partial melts of sub-continental lithospheric mantle and magmatic differentiation. Lithos 314–315, 274–292. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.06.013

Ortner, H., Reiter, F., Acs, P., 2002. Easy handling of tectonic data: The programs TectonicVB for Mac and TectonicsFP for Windows. Computers & Geosciences 28(10), 1193–1200. https://doi.org/10.1016/S0098-3004(02)00038-9

ISSN: 2717-0764

Rezaei, A., Hassani, H., Moarefvand, P., Golmohammadi, A., 2019. Investigation the effect of structural pattern on mineralization model in the C-North ore deposit, Sangan, NE Iran. Journal of Mineral Resources Engineering 4(2), 1–22. https://doi.org/10.30479/jmre.2019.9885.1210

Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: from subduction to collision. Ore Geology Reviews 70, 323–345. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Jafari, R., Izadi Kia, L., 2026. Investigation of the Relationship between Tectonic Activities and Hydrothermal-Magmatic Iron Mineralization in the Razan Region, Hamadan. Adv. Appl. Geol. 16 (2), 147-164.
DOI: 10.22055/aag.2026.52097.2567
https://aag.scu.ac.ir/article_20926.html

©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

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

بررسی ارتباط فعالیت‌های تکتونیکی و کانی‌زایی هیدروترمال ـ ماگمایی آهن در منطقه رزن، همدان

سیده راضیه جعفری

**گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران*

لیلی ایزدی کیان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

sr.jafari2000@pnu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۶/۲۰

چکیده

کانه‌زایی آهن در منطقه رزن به‌صورت رگه‌های کوارتز–اکسید آهن (عمدتاً هماتیت و مگنتیت) در ارتباط نزدیک با شکستگی‌ها و گسل‌های فعال‌شده در یک سامانه ترافشارشی راست‌بر توسعه یافته است. رگه‌های اصلی راستای حدود N35°E و ضخامت حداقل ۰٫۵ متر دارند. تحلیل هندسی و جنبشی گسل‌ها، درزه‌ها، دایک‌ها و رگه‌های کانه‌دار، همراه با شواهد سوی‌برش و فابریک‌های شکنای C/S ، نشان می‌دهد که ساختارهای منطقه در میدان تنش ترافشارشی راست‌بر شکل گرفته‌اند؛ در این میدان، کوتاه‌شدگی غالب در راستای شمال‌شرقی–جنوب‌غربی و کشش در راستای شمال‌غربی–جنوب‌شرقی بوده است. گسل‌های معکوس عمدتاً راستای NW–SE دارند، در حالی که شکستگی‌های عادی، راستالغز، دایک‌ها و بخش مهمی از رگه‌های کانه‌دار در محدوده N15°E تا N45°E متمرکزند. این آرایش نشان می‌دهد که رگه‌های کانه‌دار در امتداد شکستگی‌هایی تشکیل شده‌اند که تحت تأثیر مؤلفه کششی میدان ترافشارشی مستعد بازشدگی بوده‌اند؛ ازاین‌رو کنترل ساختاری کانه‌زایی بیش از آنکه صرفاً تابع راستای گسل‌ها باشد، به ایجاد و حفظ فضاهای بازشونده وابسته است. همزمانی فضایی این ساختارها با توده‌های مونزودیوریتی و مونزوگابرویی و دگرسانی گرمابی، نقش توده‌های نفوذی را در تأمین حرارت و فعال‌سازی سامانه سیال نشان می‌دهد. در نتیجه، کانه‌زایی آهن حاصل تمرکز سیالات گرمابی در شکستگی‌های بازشونده مرتبط با ترافشارش راست‌بر است که در پیوند با فعالیت نفوذی‌ها توسعه یافته است. بر پایه نتایج این مطالعه، شناسایی شکستگی‌های بازشونده می‌تواند در تعیین پهنه‌های مستعد تمرکز سیالات گرمابی و کانه‌زایی آهن در ارتباط با توده‌های نفوذی مؤثر باشد.

واژه‌های کلیدی: *ترافشارش راست‌بر، کانه‌زایی آهن، رگه‌های کوارتز–اکسید آهن، کنترل ساختاری، منطقه رزن*

۱-مقدمه

ارتباط فضایی میان کانه‌زایی هیدروترمال–ماگمایی و ساختارهای زمین‌شناختی پوسته، به‌ویژه سامانه‌های گسلی، همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. کمربندهای آتشفشانی به دلیل پتانسیل بالای کانه‌زایی فلزی، اغلب به‌عنوان کمربندهای متالوژنی شناخته می‌شوند (Garwin et al., 2005). توزیع زمانی و مکانی این ذخایر معدنی به‌طور مستقیم تحت تأثیر حرکات کوه‌زایی و فرآیندهای تکتونوـماگمایی در پهنه‌های خاص زمین‌ساختی است (Nabatian et al., 2015). در بسیاری از مدل‌های زمین‌ساختی، فعالیت ساختارهای اصلی همچون گسل‌ها، عامل کلیدی در کنترل منطقه‌ای کانه‌زایی به‌شمار می‌رود و نقش مهمی در تمرکز و انتقال سیالات هیدروترمال و مکان‌یابی کانه‌ها دارد (Faulkner et al., 2003). مطالعات جهانی و داخلی ارتباط میان کانه‌زایی و ساختارها را تأیید می‌کنند. به‌عنوان نمونه، در کانسار آهن گل‌گهر، سنگ میزبان متاپلیتی تا متابازیتی بوده و سنگ‌های آذرین آن طی کوه‌زایی پان‌آفریقایی تشکیل شده‌اند. گسل‌های عمیق در این منطقه به‌عنوان مجرای گرمابی عمل کرده و کنترل‌کننده کانه‌زایی بوده‌اند (Jafari et al., 2019). همچنین در کانسار مس بشنه سیرجان، محل‌های کانه‌زایی در ارتباط مستقیم با شکستگی‌ها و گسل‌های موجود در پهنه بوده و راستای بیشتر رگه‌های کانه‌دار در راستای گسل‌های اصلی است (Ahmadi and Hosseini Shahraki, 2022). در کانسار مس گزخیزان (غرب سمنان) گسل‌های ترود در جنوب و انجیلو در شمال

با حرکات قائم و امتداد لغز چپگرد خود نقش به‌سزایی در رخدادهای ساختاری و حرکت سیالات کانه دار و نهشتگی مواد معدنی ایفا نموده‌اند (Rezaee shahzadeh aliakbari et. al., 2023). در معدن دره‌زنجیر، ارتباط مستقیم کانه‌زایی با ساختارهای گسلی و به‌ویژه گسل‌های نرمال و کم‌شیب گزارش شده است (Nakini et al., 2015). پژوهش‌های انجام‌شده بر روی سنگان (Rezaei et al., 2019)، رابطه میان ساختار و کانی‌سازی را تأیید می‌کنند. همچنین، بررسی سامانه رگه‌ای محدوده اکتشافی کودکان در خراسان جنوبی نشان می‌دهد که کانه‌زایی رگه‌ای طلا–مس به‌طور عمده توسط ساختارهای گسلی با روند شمال‌غرب–جنوب‌شرق کنترل شده و شواهد کانی‌شناسی و سیال درگیر، نقش فرایندهای گرمابی و ارتباط احتمالی آن با توده‌های نفوذی را نشان می‌دهد (Amraei and Niroomand, 2016). این نتایج با مشاهدات منطقه رزن همخوانی دارد و نشان می‌دهد که شکستگی‌ها و گسل‌های فعال می‌توانند با فراهم کردن مسیر و فضای مناسب برای حرکت و تمرکز سیالات، در جایگیری کانه‌زایی نقش اساسی داشته باشند.

کوهزاد زاگرس شامل پهنه‌های ساختاری متعددی است که در اثر همگرایی صفحه عربی و ایران مرکزی شکل گرفته‌اند. این پهنه‌ها شامل کمربند چین‌خورده–راندگی، پهنه دگرگونی سنندج–سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه–دختر هستند (Agard et al., 2011). همگرایی مایل این صفحات، الگوی پیچیده‌ای از دگرشکلی را در این پهنه‌ها ایجاد کرده است. شواهد متعددی از تغییر شرایط فشاری به کششی در این نواحی گزارش شده است (Mohajjel and Ferguson, 2000; Mohajjel and Rasouli, 2014). در دوره الیگومیوسن نیز شرایط کششی در کمان ارومیه–دختر باعث جای‌گیری توده‌های نیمه‌ژرف پورفیری شده که به‌عنوان فاز کششی پس از برخورد شناخته می‌شوند (Richards, 2015; Hassanzadeh et al., 2016). شکستگی‌ها و گسل‌ها در این شرایط به‌عنوان مسیرهای اصلی تمرکز و هدایت سیالات گرمابی عمل کرده و زمینه‌ساز کانه‌زایی شده‌اند (Micklethwaite and Cox, 2004). ماگماتیسم این کمربند دارای ترکیب‌های کالک‌آلکالن و آلکالن است (Shahabpour, 2005).

مطالعات Heidari و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهد که ناحیه ساوه–رزن (مجاور منطقه مورد مطالعه) بیشترین تغییر راستای ساختاری را به‌سمت شرقی-غربی دارد. بااین‌حال، برخی پژوهشگران (Karimpour et al., 2021; Sepidbar and Borzouei Niyat, 2024) با استناد به نبود شواهد ماگماتیسم و نیز داده‌های آنومالی مغناطیس هوایی، از این زون با عنوان "کمربند ماگمایی ساوه–نایین–جیرفت" یاد کرده‌اند. این تفاوت دیدگاه‌ها، ضرورت انجام پژوهش‌های بیشتر در منطقه را برجسته می‌سازد.

۲-روش کار

برای رسیدن به اهداف این نوشتار در پیمایش های صحرایی متعدد جهت یابی ساختارها، شواهد فابریک C/S شکنا، مشخصات هندسی- جنبشی سطوح گسلی، شواهد کانی زایی، رخنمون های نفوذی و شکستگی ها برداشت شد و نمونه برداری جهت یافته از توده برای مطالعات میکروسکوپی انجام گردید. سپس داده های برداشت شده به برنامه های دیاگرام گل سرخی و استریونت منتقل گردید.

۳-اهداف پژوهش

هدف اصلی این پژوهش، بررسی کنترل ساختاری کانه‌زایی آهن و تبیین ارتباط میان ساختارهای شکنای منطقه، توده‌های نفوذی و رگه‌های کانه‌دار است. بنابراین هندسه و سازوکار جنبشی گسل‌ها، درزه‌ها، دایک‌ها و رگه‌های کانه‌دار و ارتباط آن‌ها با شکستگی‌های مستعد بازشدگی بررسی گردید. در نهایت، ارتباط توده‌های نفوذی و دگرسانی گرمابی با ساختارهای کانه‌دار و تمرکز سیالات کانه‌زا مورد بررسی قرار گرفت.

۴-زمین شناسی

۴-۱-زمین‌شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب استان همدان، در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شهر همدان و ۵۵ کیلومتری غرب رزن واقع شده است. این منطقه در محل تلاقی سه زون ساختاری مهم ایران، شامل البرز، سنندج-سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. چنین جایگاهی سبب شده است که دگرگونی‌های متعدد و رویدادهای ماگماتیسمی نقش قابل توجهی در تکامل زمین‌شناسی آن ایفا کنند. بر اساس شواهد موجود، منطقه بخشی از زون ماگمایی

ارومیه–دختر (UDMA) محسوب می‌شود. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیم بندی ساختاری-رسوبی ایران (Aghanbati, 2006) در حوضه مرکزی (central basin) و در راستای ادامه کمان ماگمائی ارومیه-دختر (UDMA) قرار می گیرد. ولی پهنای کمان ارومیه-دختر در ناحیه رزن کم بوده و در نقشه‌های پهنه‌بندی قابل نمایش نمی باشد. شاخص این حوضه گسترش رسوبات سازند قم در آن می باشد. کمان ماگمایی ارومیه-دختر با طولی نزدیک به ۱۶۰۰ کیلومتر از شمال‌غرب تا جنوب‌شرق ایران امتداد دارد (Alavi, 1994). این کمربند عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی سنوزوئیک با عمق تقریبی ۴ کیلومتر تشکیل شده است که رخنمون‌های آن از ائوسن تا کواترنری گسترش دارند (Verdel et al., 2011; Chiu et al., 2013). شواهد زمین‌شناسی نشان می‌دهد که بیشتر جایگیری‌های آذرین این کمربند در فاصله زمانی اواخر ائوسن تا اوایل میوسن رخ داده است (Babazadeh et al., 2017). بر اساس مدل‌های ژئودینامیکی، عقب‌نشینی ورقه نئوتتیس طی بازه ۴۲ تا ۲۵ میلیون سال پیش، الگویی مشخص در توزیع زمانی–مکانی ماگماتیسم این کمربند ایجاد کرده است (شکل ۱). به گونه‌ای که ماگماتیسم قدیمی‌تر عمدتاً در بخش‌های شرقی و ماگماتیسم جوان‌تر در بخش‌های غربی ارومیه-دختر متمرکز است (Nouri et al., 2018). همچنین Majidifard و Shafei (۲۰۰۶) معتقدند سازند قم در ناحیه رزن دارای رخساره‌ای آتشفشانی-رسوبی است که به‌طور عمده با ناحیه تیپیک (قم-ساوه) تفاوت دارد؛ از جمله فقدان افق‌های ژیپس و گسترش کمتر سازند قرمز زیرین. ویژگی‌های رسوب‌شناسی منطقه حاکی از آن است که نهشته‌گذاری در منطقه رزن احتمالاً تحت تأثیر کشش‌های همزمان با رسوبگذاری رخ داده است.

۴-۲-زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه کبودراهنگ، قدیمی‌ترین واحدهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه، شامل تناوب توف‌های سبز رنگ اسیدی و گدازه‌های ریوداسیتی با سن ائوسن هستند. روی این واحدها، توف و کنگلومرای پایه سازند قم (از نوع اورتوکنگلومرا) قرار گرفته‌اند که به سن الیگومیوسن هستند (شکل ۲، a). توالی‌های آتشفشانی-رسوبی الیگومیوسن آغازین، هم‌ارز سازند قم، شامل تناوب توف‌های بلوری داسیتی تا آندزیتی و میان‌لایه‌های سنگ آهک فسیل‌دار می‌باشند. توده‌های آذرین نفوذی به عنوان موتور حرارتی و تأمین‌کننده کاتیون‌ها، نقش حیاتی در کانی‌زایی منطقه دارند. این توده‌ها شامل گرانیتوئیدها، گابروها (شکل ۲، b) و گنبدهای داسیتی (شکل ۲، c) هستند که تمامی واحدهای سنگی قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند. نفوذ مکرر این توده‌ها در سنگ‌های کربناته-توفی میوسن، به‌ویژه میکرو مونزودیوریت‌ها، منجر به دگرگونی مجاورتی و اسکارن‌زایی شدید شده است (شکل ۲، d). رخساره‌های دگرگونی شامل هورنفلس‌های گارنت-ولاستونیت‌دار (رخساره پیروکسن هورنفلس) و گارنت-تروموریت-اسکاپولیت‌دار (رخساره هورنبلند هورنفلس) هستند. این دگرسانی‌ها با رگه‌های هیدروترمالی سیلیسی-اکسیدآهنی همراه می‌باشند (شکل ۲، e). جوان‌ترین واحدها را نهشته‌های کواترنری (پادگانه‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها) با شیب تقریباً افقی تشکیل می‌دهند. همچنین، بقایای فسیلی از خانواده خارپوستان میوسن در جنوب‌شرق منطقه مشاهده شده است (شکل ۲-f)

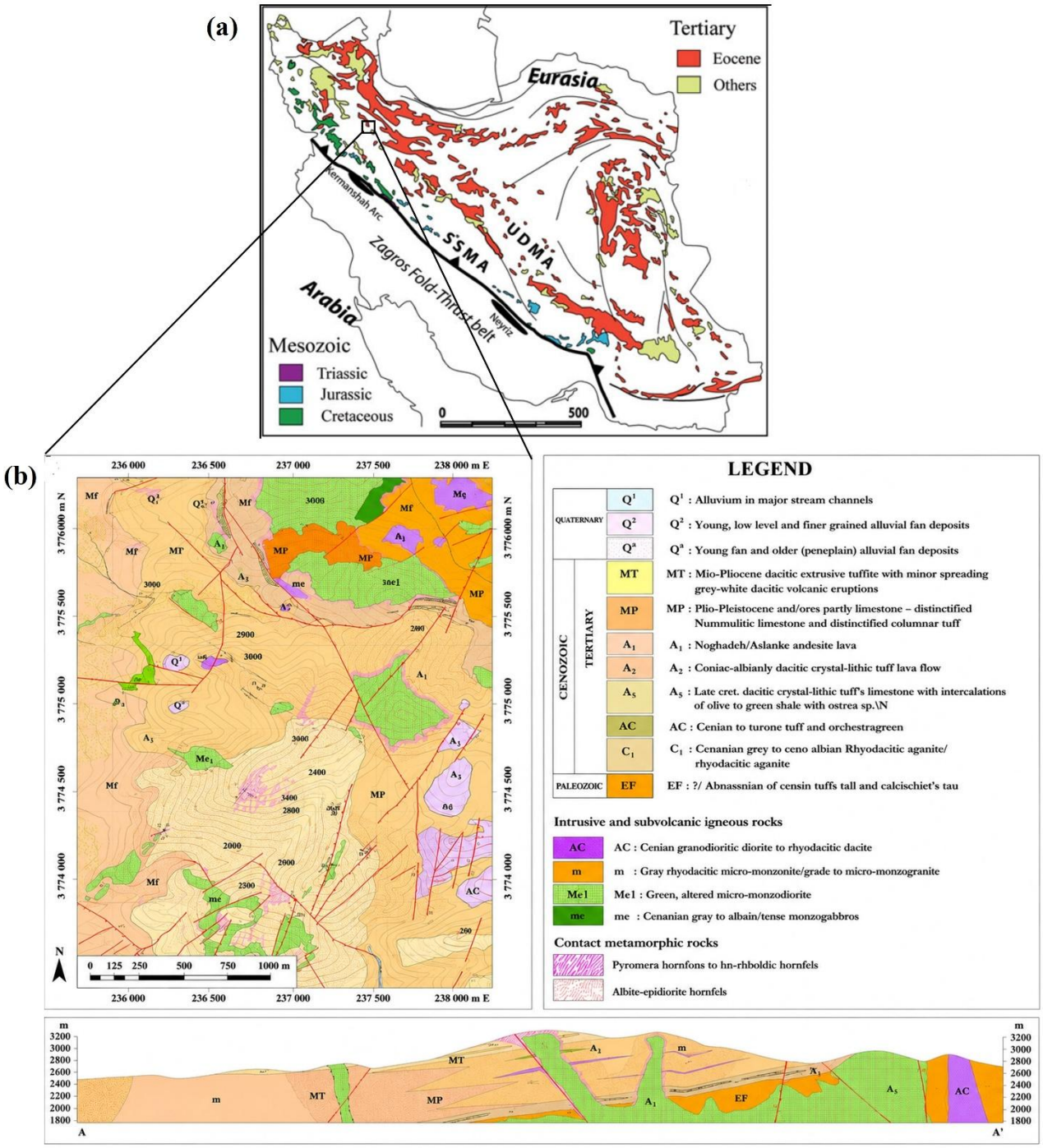
۴-۳-سنگ‌شناسی

در محدوده مورد مطالعه، سه گروه اصلی سنگی شامل رسوبی، آذرین (درونی و بیرونی) و دگرگونی حضور دارند:

سنگ‌های رسوبی این واحدها شامل توفیت‌های سیلتی کربناته و ارتوکنگلومرای هستند (شکل ۳، a و b). اجزای اصلی کنگلومرا کوارتز و فلدسپار بوده و سیمان آن عمدتاً از کانی‌های فیلوسیلیکاته، اکسیدهای آهن و اپیدوت تشکیل شده است.

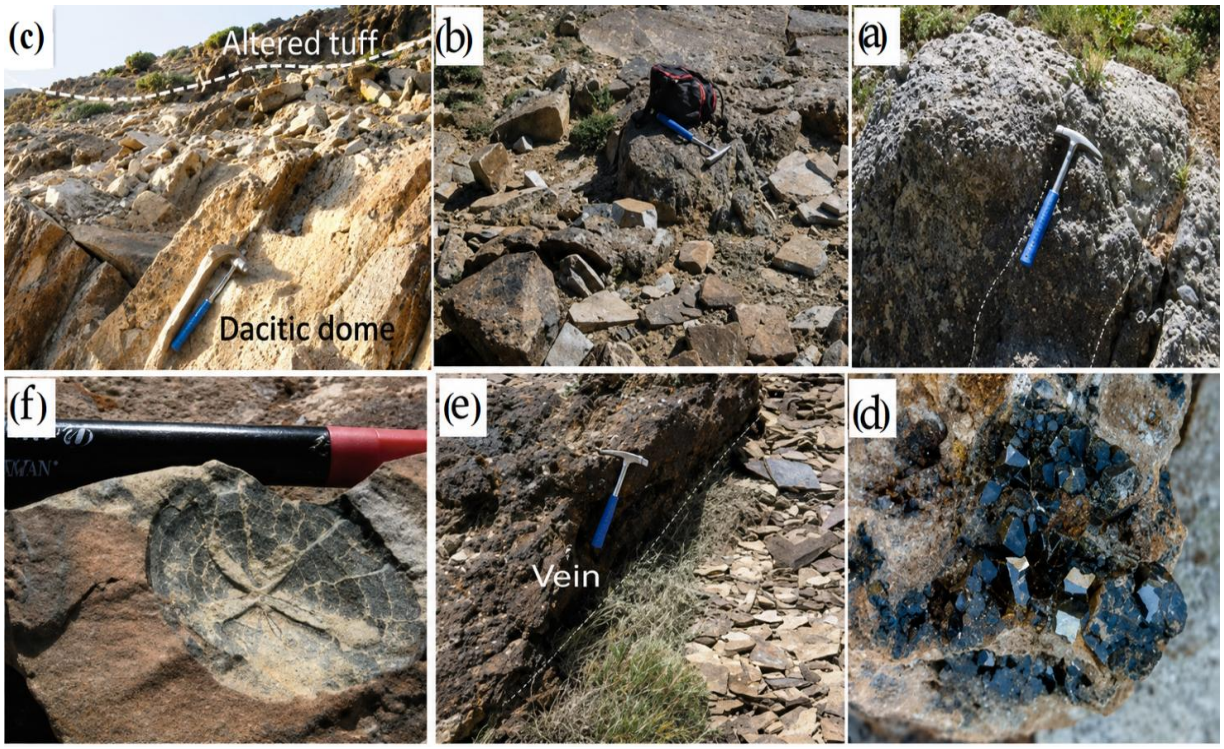
سنگ‌های آذرین شامل سنگ های آذرین درونی و بیرونی است. سنگ های آذرین درونی شامل کوارتز مونزوگابرو، کوارتز مونزوسینیت و کوارتز مونزودیوریت است که همگی بافت پورفیری تا گرانولار نشان می‌دهند. این سنگ‌ها به شدت تحت تأثیر دگرسانی‌های اپیدوتی و آرژیلیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۳-c و d). سنگ‌های آذرین بیرونی که از مهم‌ترین واحدهای آن می‌توان به توف، تراکی‌آندزیت با بافت گلومروپورفیری و داسیت اشاره کرد (شکل ۳، e و f).

سنگ‌های دگرگونی منطقه عمدتاً از نوع دگرگونی مجاورتی بوده و شامل هورنفلس‌های گوناگون با بافت گرانوبلاستیک و تیپ اسکارنی هستند. این سنگ‌ها از کانی‌هایی نظیر گارنت و اپیدوت در ترکیب کالک‌سیلیکاته تشکیل شده‌اند (شکل ۳، g و h).



شکل ۱- (a) نقشه زمین‌شناسی ایران (برگرفته از Agard et al., 2011) و (b) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (Jafari, 2023)

Fig. 1. (a) Geological map of Iran (Agard et al., 2011) and (b) Geological map of the study area (Jafari, 2023)



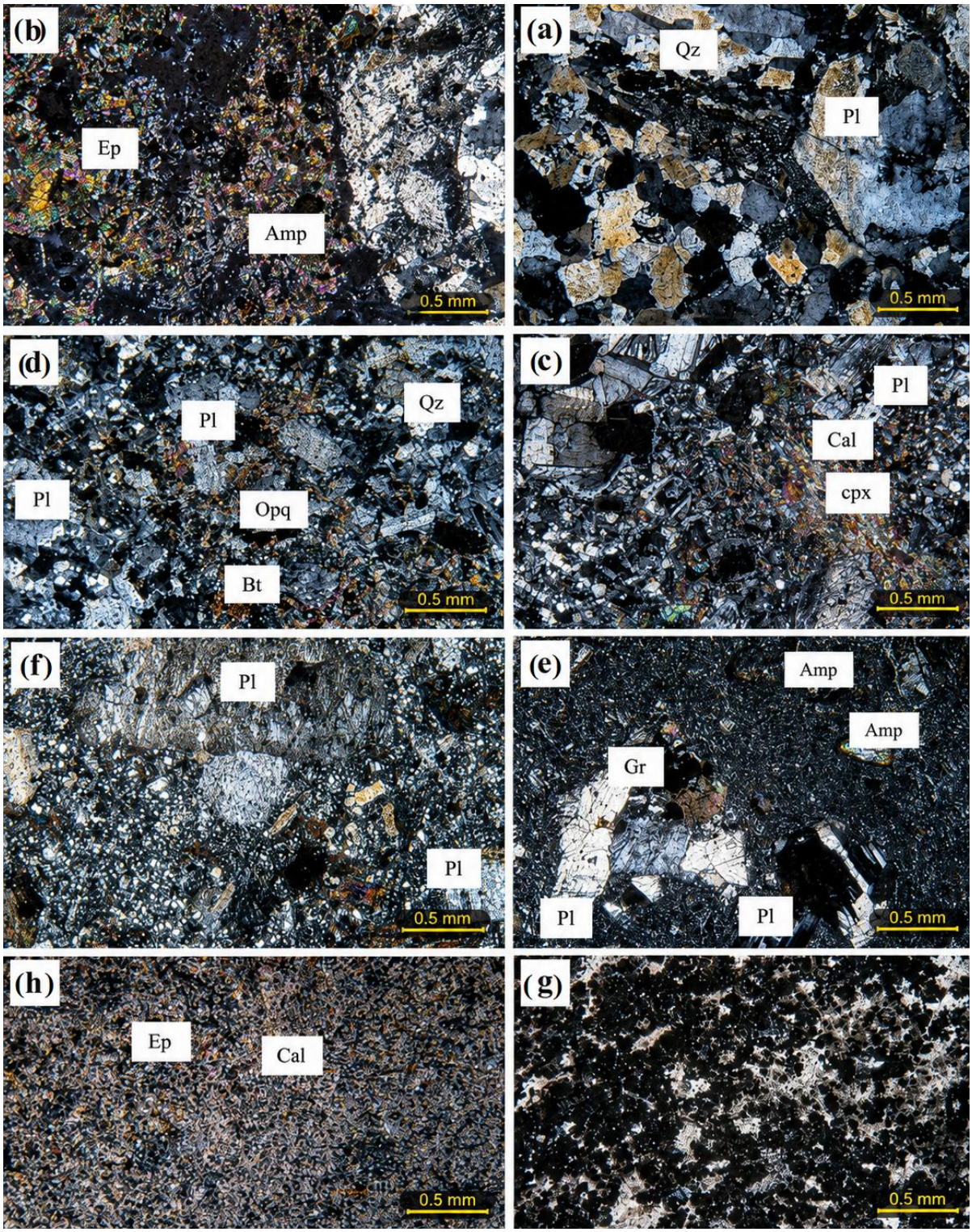
شکل ۲- رخنمون‌های واحدهای سنگ شناسی منطقه شامل (a) کنگلومرا (دید به سمت جنوب شرق)، (b) گابرو (دید به سمت شمال)، (c) داسیت (دید به سمت شمال شرق)، (d) اسکارن (دید به سمت شمال- شمال شرق)، (e) رگه هیدروترمالی سیلیسی- اکسید آهن که درون هورنفلس های منطقه تزریق شده است (دید به سمت جنوب شرق) و (f) قالب خارجی فسیل خارپوست در توف های کربناته منطقه (دید به سمت شمال- شمال شرق).

Fig. 2. The outcrops of lithological units in the area include: (a) conglomerate (view to the southeast), (b) gabbro (view to the north), (c) dacite (view to the northeast), (d) skarn (view to the north-northeast),, (e) siliceous–iron oxide hydrothermal veins injected into the hornfels of area (view to the southeast), and (f) external molds of echinoderm fossils preserved within the carbonate tuffs of the area (view to the north-northeast).

۴-۴-کانی‌زایی

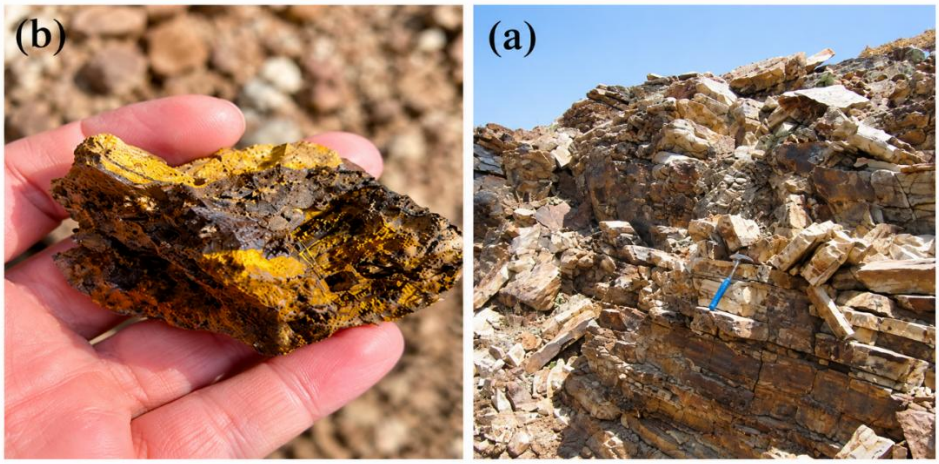
کانی‌زایی در منطقه غالباً به صورت رگه‌های کوارتز همراه با اکسید و هیدروکسید آهن رخ داده است. این رگه‌ها ضخامت حداقل ۰/۵ متر داشته و امتداد عمومی آن‌ها N35°E است. شواهد نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی مونزودیوریت و مونزوگابرو با ایجاد دگرگونی مجاورتی و تأمین حرارت لازم، نقش اصلی را در فرایند کانه‌زایی ایفا کرده‌اند.

علاوه بر این، تنش‌های فشاری (compressive stresses) غالب عمود بر لایه‌بندی باعث تشکیل چین‌خوردگی‌ها و شکستگی‌هایی با امتداد N35°E شده‌اند (شکل ۴، a) که به‌عنوان مسیر تزریق دایک‌ها و رگه‌های کانه‌دار عمل کرده‌اند (شکل ۲، e). در نهایت، کانی‌زایی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن پس از دگرگونی مجاورتی رخ داده است (شکل ۴، b).



شکل ۳- (a) و (b) تصویر مقطع میکروسکوپی از ارتوکنگلومرا (نور xpl)، (c) کوارتز مونزوگابرو، (d) کوارتز مونزودیوریت، (e) تراکی آندزیت پورفیری، (f) داسیت، (g) گارنت کالک سیلیکات هورنفلس و (h) اپیدوت کالک سیلیکات هورنفلس (نور xpl)، اپیدوت: Ep، کوارتز: QZ، پلاژیوکلاز: Pl

Fig. 3. (a) and (b) Photomicrographs of orthoconglomerate (XPL); (c) quartz monzogabbro; (d) quartz monzodiorite; (e) porphyritic trachyandesite; (f) dacite; (g) garnet calc-silicate hornfels, and (h) epidote calc-silicate hornfels (XPL). Mineral abbreviations: Qz: quartz; Pl: plagioclase; Ep: epidote; Cal: calcite.



شکل ۴- (a) رخنمونی از گسترش شکستگی‌ها در داسیت‌های منطقه دید به شمال- شمال غرب و (b) نمونه مزوسکوپی از کانی‌زایی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن.

Fig. 4. (a) Outcrop showing the development of fractures in the regional dacites, viewed toward the north–northwest, and (b) Mesoscopic sample exhibiting mineralization of iron oxides and hydroxides.

۵-نتایج

۵-۱-الگوی هندسی گسل‌ها و درزه‌ها

گسل‌های معکوس منطقه دارای راستای عمومی شمال‌غربی–جنوب‌شرقی هستند و فراوانی نسبتاً کمی دارند. در مقابل، گسل‌های راستالغز (چپ‌بر و راست‌بر) و گسل‌های عادی با راستای N45°E- N15°E بیشترین گسترش را نشان می‌دهند (شکل ۵ a). گسل‌های راستالغز (strikeslip) مذکور تقریباً عمود بر گسل‌های معکوس قرار گرفته و می‌توان آن‌ها را گسل‌های پارگی (tear faults) نامید. افزون بر این، تعدادی گسل راستالغز راست‌بر با راستایی تقریباً موازی گسل‌های معکوس نیز مشاهده می‌شود. راستای گسل‌های پارگی با جهت غالب دسته‌درزه‌های منطقه مطابقت دارد (شکل ۵ b).

۵-۲-شواهد جنبشی و سوی‌برش گسل‌ها

به دلیل تأثیر دگرگونی مجاورتی و دگرسانی، آثار خش‌لغز در بسیاری از سطوح گسلی از بین رفته و تعیین دقیق جهت حرکت آن‌ها دشوار است. با این حال، سوی برش تعدادی از گسل‌ها با استفاده از شواهد بافتی در پهنه‌های گسلی، از جمله فابریک‌های C/S شکنا، قابل تشخیص بوده است (جدول ۱).

گسل F2: این گسل طویل‌ترین گسل در محدوده مطالعاتی است و امتداد شمال غرب- جنوب شرق و سازوکار آن امتداد لغز راست‌بر است (شکل ۶).

گسل F5: این گسل در جنوب‌غربی نقشه و در محدوده توده کوارتز مونزودیوریتی قرار دارد. جهت شیب / شیب آن برابر با ۳۱۲/۵۵ است. ریک خش‌لغزهای سطح گسل برابر ۲۱ درجه از سمت جنوب اندازه‌گیری شده است. شواهد فابریک C/S شکنا، سوی‌برش راست‌بر این گسل را نشان می‌دهد (شکل ۷ b).

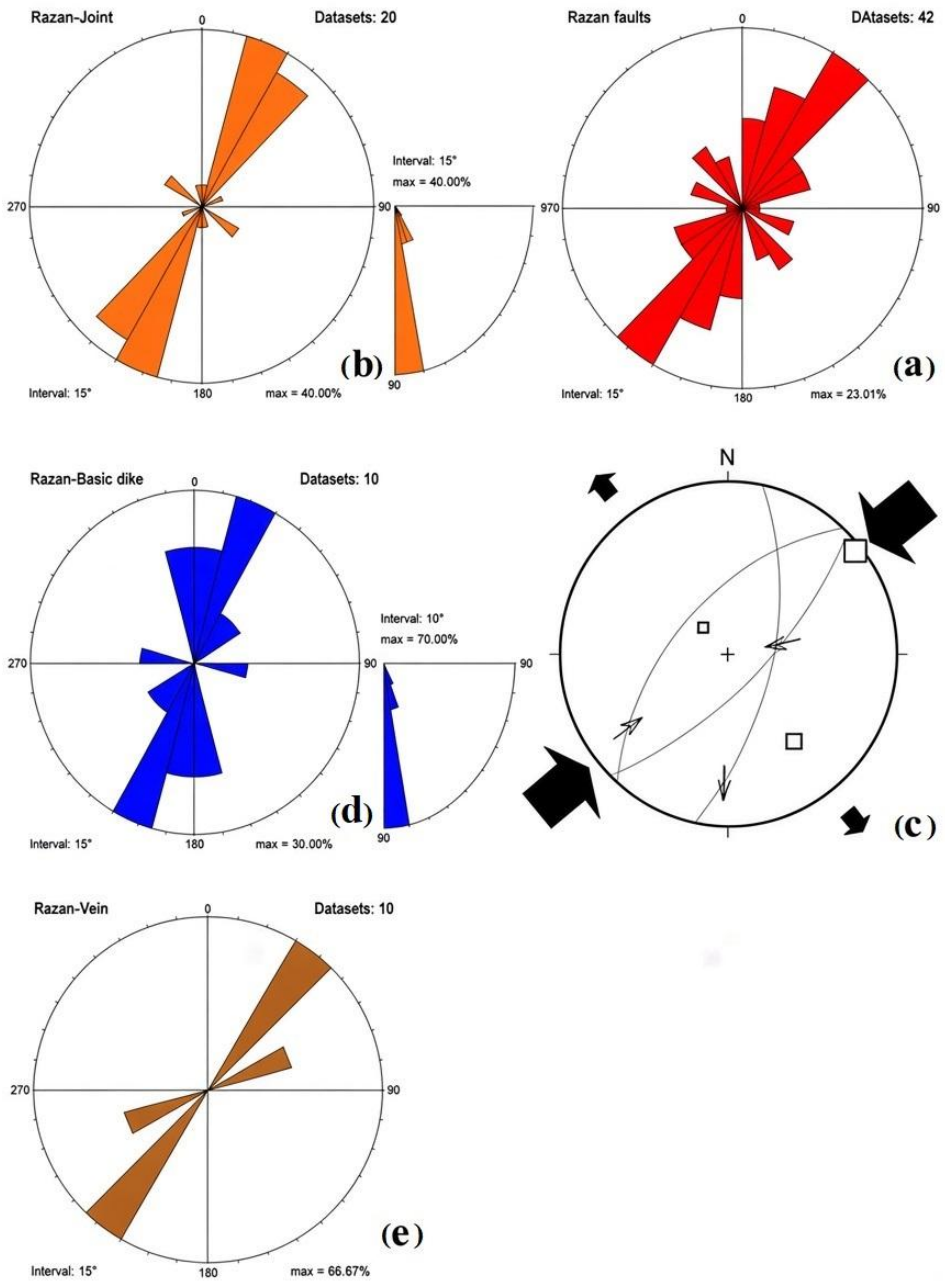
گسل F10: این گسل در شمال‌شرقی محدوده و نزدیک به مرز توده کوارتز مونزودیوریتی واقع شده است. جهت شیب / شیب آن برابر با ۱۳۵/۶۸ می‌باشد. راستا و میل خش‌لغزهای سطح گسل به ترتیب ۷۸/۵۴ اندازه‌گیری شده است. شواهد فابریک C/S شکنا، سوی‌برش معکوس این گسل را نشان می‌دهد (شکل‌های ۷ c و ۷ d).

۵-۳-تحلیل جنبشی–مکانیکی گسل‌ها

تحلیل جنبشی–مکانیکی تعداد محدودی از گسل‌های دارای خش‌لغز و سوی برش مشخص، نشان می‌دهد که این گسل‌ها در یک میدان تنش ترافشارشی (Transpression) راست‌بر با کوتاه‌شدگی در راستای شرق و کشش در راستای شمال‌غرب شکل گرفته‌اند (شکل ۵ c). راستای کوتاه‌شدگی بیشینه در این سامانه تقریباً با جهت غالب گسل‌های پارگی (شکل ۵ a)، گسل‌های عادی، دسته‌درزه‌های اصلی (شکل ۵ b)، دایک‌های دیابازی (شکل ۵ c) و رگه‌های هیدروترمال کانه‌دار (شکل ۵ d) موازی است. در مقابل، جهت کشش

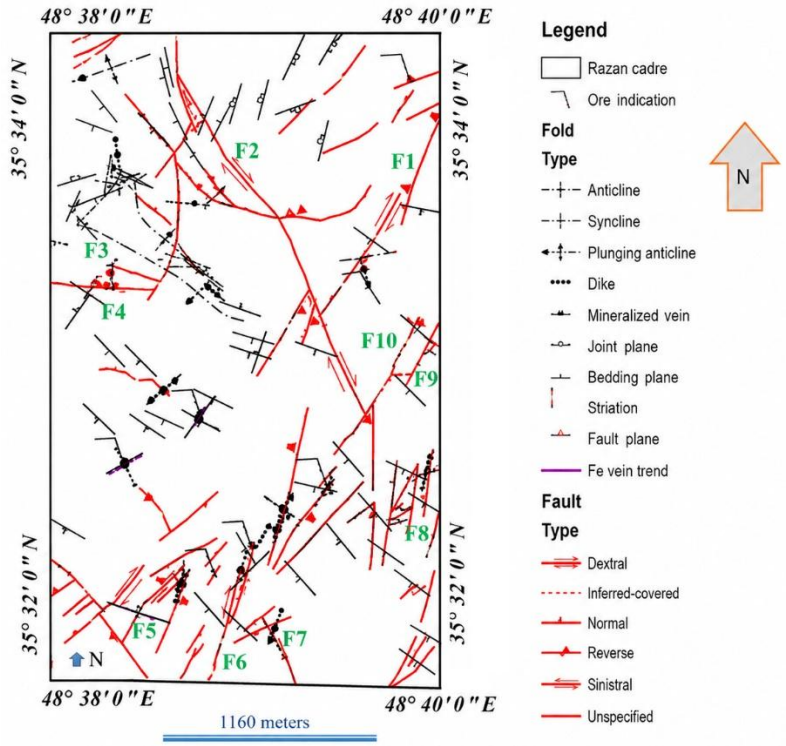
این سامانه با محور چین‌خوردگی‌های اصلی (شکل ۵ c) و گسل‌های معکوس هم‌راستا می‌باشد.

بر پایه داده‌های جدول ۱، مشخصات سطوح گسلی اندازه‌گیری‌شده در منطقه ارائه گردیده است. یادآوری می‌شود که شدت چین‌خوردگی و گسل خوردگی در منطقه نسبتاً کم بوده و دگریختی شکنای غالب، بیشتر به شکل‌گیری سامانه‌های درزه (joint systems) منجر شده است (شکل a۷).



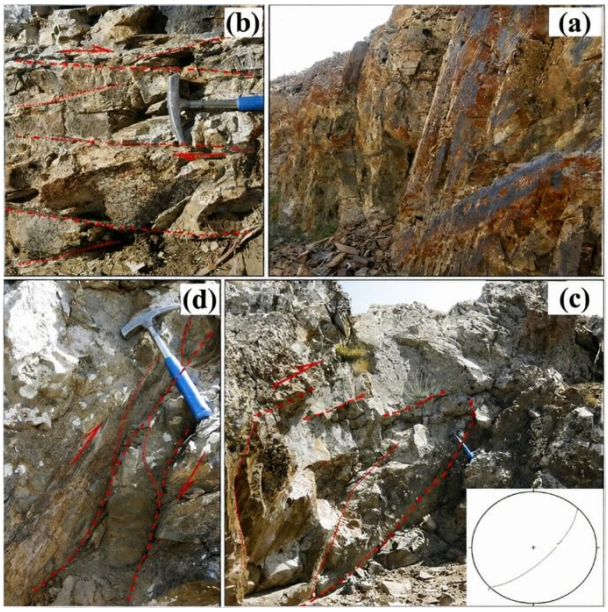
شکل ۵- (a) دیاگرام گل سرخی گسل‌های موجود درمحدوده (b) رزدیاگرام راستا و شیب درزه‌های برداشت‌شده در محدوده (c) تحلیل مکانیکی –جنبشی برداشت‌های گسل –خش‌لغز (d) رزدیاگرام راستا و شیب دایک‌های بازی و (e) رزدیاگرام رگه های هیدروترمالی کانه‌دار در محدوده.

Fig. 5. (a) Rose diagram of faults presents in the area; (b) rose diagram of strike and dip of joints measured in the area; (c) strike-slip fault kinematic analysis; (d) rose diagram of the strike and dip of basic dikes, and (e) rose diagram of mineralized hydrothermal veins in the area.



شکل ۶- نقشه زمین شناسی ساختاری ساده شده یک پنج هزارم منطقه مورد مطالعه.

Fig. 6. Simplified structural geological map of the study area at a scale of 1:5,000.



شکل ۷- (a) نمائی از سیستم درزه غالب در جنوب شرق محدوده دید به جنوب غرب. (b) نمائی از فابریک C/S شکنا موجود در پهنه گسل F5 دید به شمال غرب. (c) نمائی از پهنه گسل F10 و فابریک‌ها و استریوگرام گسل –خشلغز آن دید به جنوب–جنوب شرق و (d) نمای نزدیک از فابریک‌های گسل معکوس F10

Fig. 7. (a) View of the dominant joint system in the southeastern part of the study area, looking toward the southwest. (b) View of brittle C/S fabrics within the F5 fault zone, looking toward the northwest. (c) View of the F10 fault zone with associated fabrics and the fault–slickenside stereogram, looking toward the south–southeast, and (d) Close-up view of the fabrics related to the reverse fault F10.

جدول ۱- مشخصات هندسی- جنبشی سطوح گسلی اندازه گیری شده در منطقه. این مشخصات به ترتیب شامل شماره گسل، جهت شیب و شیب صفحه گسل، راستا و میل و ریک خش لغز، جهت ریک خش لغز، سوی برش و نشانگر سوی برش هستند (Allmendinger, 2020).

Table 1. Geometric–kinematic characteristics of the measured fault planes in the study area. These parameters, in order, include: fault identifier; dip direction and dip of the fault plane; trend and plunge of the slickenside lineation; rake of the slickenside; rake direction; shear sense; and shear-sense indicator (Allmendinger, 2020).

Fault code	Fault plane DD	Fault plane D	Striation T	Striation P	Rake	Direction	Shear sense	Indicator
F1	286	59					Normal?	
F2	245	58					Normal?	
F3	195	79						
F4	0	62						
F5	312	55	235	18	21	S	Dextral	S-C fabric
F6	310	88					Sinistral	
F7	220	45					Normal?	
F8	102	60	182	17	19	S	Dextral	
F9	120	83	120	83	89	S	Normal	
F10	135	68	78	54	60	E	Reverse	S-C fabric

۶-بحث

۶-۱-رژیم تکتونیکی حاکم بر منطقه

زون ماگمایی ارومیه–دختر در پهنه‌ای با سابقه همگرایی مایل عربی و ایران مرکزی قرار دارد؛ شرایطی که می‌تواند به تفکیک مؤلفه‌های کوتاه‌شدگی و برشی و شکل‌گیری ساختارهای متنوع منجر شود. در مدل ترافشارش، برش امتدادلغز همراه با کوتاه‌شدگی (transverse shortening) عمل می‌کند و هندسه ساختارها تابع نسبت و جهت این دو مؤلفه است (Sanderson and Marchini, 1984; Fossen and Tikoff, 1993).

در ایران، ترافشارش راست‌بر در بخش‌هایی از زون سنندج–سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه–دختر گزارش شده است Mohajjel and Fergusson (2000) تغییرشکل زون سنندج–سیرجان را در ارتباط با برخورد مایل و ترافشارش راست‌بر تفسیر کردند. در بخش مرکزی ارومیه–دختر نیز Beygi et al., (2016) شواهدی از ساختارهای ترافشارشی راست‌بر و بازفعال‌شدن گسل‌های قدیمی ارائه کردند. این شواهد، زمینه منطقه‌ای مناسبی برای تفسیر ساختارهای مشاهده‌شده در محدوده رزن فراهم می‌کند، هرچند تعیین سن دقیق این مرحله در منطقه مورد مطالعه نیازمند داده‌های زمانی مستقل است.

۶-۲-تفسیر میدان تنش و ارتباط آن با ساختارهای منطقه

ترکیب روند و سازوکار ساختارهای منطقه، همراه با شواهد سوی‌برش و تحلیل جنبشی گسل‌ها، با یک میدان ترافشارشی راست‌بر سازگار است. وجود گسل‌های معکوس با روند غالب NW–SE در کنار گسل‌های راستالغز و عادی با روند غالب NE–SW نشان می‌دهد که تغییرشکل در منطقه به یک سازوکار منفرد محدود نبوده و مؤلفه‌های فشاری و برشی در ایجاد ساختارها نقش داشته‌اند. چنین توزیعی با رفتار ساختاری سامانه‌های ترافشارشی مطابقت دارد (Sanderson and Marchini, 1984; Fossen and Tikoff, 1993).

در این چارچوب، گسل‌های معکوس و چین‌ها را می‌توان عمدتاً حاصل مؤلفه کوتاه‌شدگی و گسل‌های راستالغز را بخشی از پاسخ برشی سامانه دانست. هم‌راستایی گسل‌های پارگی با مجموعه درزه‌های غالب نیز نشان می‌دهد که توسعه شکستگی‌ها با میدان تنش حاکم ارتباط داشته است. این برداشت با الگوی ساختاری بخش مرکزی ارومیه–دختر، که در آن ساختارهای قدیمی در مراحل بعدی تحت تأثیر حرکات ترافشارشی راست‌بر قرار گرفته‌اند، قابل مقایسه است (Beygi et al., 2016).

۶-۳-کنترل ساختاری کانه‌زایی

هم‌راستایی رگه‌های کانه‌دار با درزه‌ها، گسل‌های عادی و دایک‌های دارای روند غالب NE–SW، مهم‌ترین شاهد برای نقش ساختارهای شکنای فرعی در کنترل کانه‌زایی است. بنابراین، جایگیری رگه‌ها را نمی‌توان صرفاً به گسل‌های اصلی نسبت داد؛ بلکه شکستگی‌هایی که قابلیت ایجاد یا حفظ فضای بازشونده داشته‌اند، احتمالاً مسیر مناسب‌تری برای عبور و تمرکز سیالات فراهم کرده‌اند.

در سامانه‌های ترافشارشی، تغییرات موضعی در هندسه و وضعیت تنش می‌تواند به شکل‌گیری یا بازفعال‌شدن شکستگی‌های دارای مؤلفه بازشدگی منجر شود (Sanderson and Marchini, 1984). از این رو، هم‌راستایی رگه‌های هیدروترمال با ساختارهای NE–SW را می‌توان حاصل استفاده سیالات از شکستگی‌های مستعد بازشدگی دانست. این تفسیر با حضور دایک‌ها در همان مجموعه ساختاری نیز سازگار است.

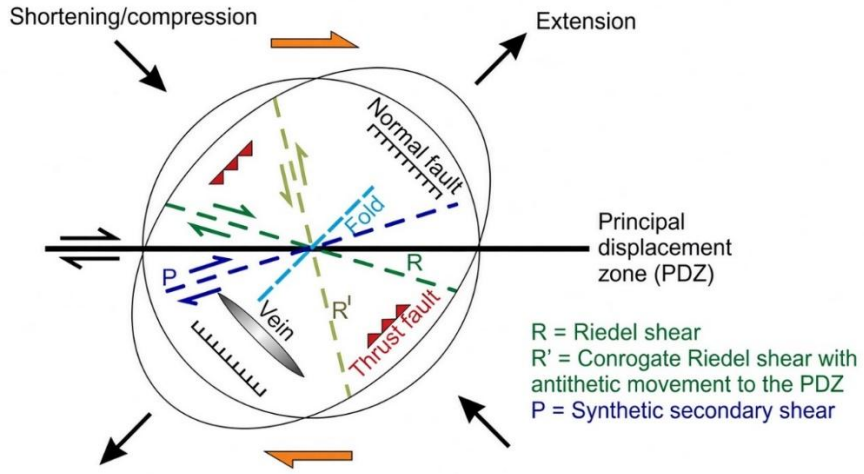
۶-۴-نقش توده‌های نفوذی و تکامل کانه‌زایی

ارتباط فضایی توده‌های مونزودیوریتی و مونزوگابرویی با دگرگونی مجاورتی، دگرسانی گرمابی و رگه‌های کانه‌دار، نقش فعالیت نفوذی را در تکامل سامانه کانه‌زایی نشان می‌دهد. روابط صحرایی نیز بیانگر آن است که تشکیل رگه‌های کوارتز–اکسید آهن پس از دگرگونی مجاورتی رخ داده است. بر این اساس، می‌توان پیشنهاد کرد که فعالیت نفوذی شرایط حرارتی لازم را فراهم کرده و ساختارهای شکنای مرتبط با ترافشارش، مسیر انتقال سیالات را کنترل کرده‌اند.

با توجه به نبود داده‌های ایزوتوپی، سیال درگیر و سن‌سنجی مستقیم کانه‌زایی، درباره منشأ دقیق سیال و آهن نمی‌توان داوری قطعی کرد. با این حال، شواهد صحرایی موجود از مدلی حمایت می‌کنند که در آن فعالیت نفوذی و دگریختی شکنای ترافشارشی به‌صورت توأمان در تمرکز کانه‌زایی نقش داشته‌اند. در این مدل، شکستگی‌های NE–SW به‌دلیل قابلیت بازشدگی و ارتباط با دایک‌ها و رگه‌ها، از مهم‌ترین مسیرهای بالقوه انتقال سیال محسوب می‌شوند.

۶-۵-ارتباط زمین‌ساخت و کانه‌زایی در منطقه

رگه‌های گرمابی کانه‌دار آهن در منطقه، عمدتاً دارای شیب تند و راستای غالب شمال شرقی هستند. همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، راستای این رگه‌ها با دایک‌ها، درزه‌ها و گسل‌های عادی موازی است (شکل۵). این رگه‌های کانه‌دار پس از دگرگونی مجاورتی ناشی از توده‌های نفوذی، به‌ویژه مونزودیوریت و داسیت، و در چارچوب یک سامانه زمین‌ساختی ترافشارشی راست‌بر شکل گرفته‌اند (شکل ۸). در این سامانه به علت مایل بودن تنش اصلی نسبت به منطقه تنش به دو مولفه راستالغز و مولفه فشاری تبدیل می شود. به موازات تنش بیشینه شکستگی های کششی تشکیل می شوند و می توانند توسط سیالات پرشوند.



شکل۸) مدل تشکیل رگه های هیدروترمال در سامانه ترافشارشی (Ren et al., 2021).

Fig. 8. Genetic model for the formation of hydrothermal veins in a transpressional regime (Ren et al., 2021).

۷-جنبه های کاربردی

کاربرد این مطالعه را می‌توان در شناسایی و ردیابی شکستگی‌ها و گسل‌هایی دانست که در اثر مؤلفه کششی موجود در سامانه ترافشارشی راست‌بر، شرایط مناسبی برای بازشدگی و عبور سیالات گرمابی فراهم کرده‌اند. این ساختارها، به‌ویژه در بخش‌هایی که با توده‌های نفوذی مونزودیوریتی و مونزوگابرویی و پهنه‌های دگرسانی گرمابی همراه هستند، می‌توانند مسیر مناسبی برای حرکت و تمرکز سیالات و در پی آن شکل‌گیری کانه‌زایی آهن ایجاد کنند. از سوی دیگر، قرارگیری منطقه در پهنه ارومیه–دختر و ارتباط این کمربند با فعالیت‌های تکتونو–ماگمایی و رخدادهای متعدد کانه‌زایی، اهمیت بررسی چنین ساختارهایی را بیشتر می‌کند. بنابراین، توجه همزمان به هندسه و سازوکار گسل‌ها و شکستگی‌ها، حضور توده‌های نفوذی و شواهد دگرسانی گرمابی می‌تواند در تعیین پهنه‌های مناسب برای پیگیری کانه‌زایی آهن و تمرکز بررسی‌های بعدی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

۸- نتیجه‌گیری

بررسی‌های صحرایی و تحلیل ساختاری در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که کانه‌زایی آهن حاصل یک فرایند چندمرحله‌ای بوده است که در آن نفوذ توده‌های آذرین و تحول میدان تنش نقش اساسی داشته‌اند. توده‌های مونزودیوریتی، مونزوگابرویی و داسیتی با ایجاد هاله دگرگونی مجاورتی و دگرسانی گرمابی، زمینه حرارتی و سیالی لازم را برای تشکیل و جابه‌جایی سیالات کانه‌دار فراهم کرده‌اند. شواهد روابط صحرایی نشان می‌دهد که رگه‌های کوارتز–اکسیدهای آهن، با ضخامت حداقل ۵/۰ متر و راستای غالب حدود$N35°E$ ، پس از شکل‌گیری دگرگونی مجاورتی در امتداد شکستگی‌ها جایگیر شده‌اند.

الگوی پراکندگی ساختارها بیانگر آن است که منطقه تحت تأثیر یک میدان تنش ترافشارشی راست‌بر قرار داشته است. در این شرایط، گسل‌های معکوس با راستای غالب NW–SE در کنار گسل‌های راستالغز و عادی و مجموعه شکستگی‌های با راستای $N15°E$ تا $N45°E$ شکل گرفته یا مجدداً فعال شده‌اند. شواهد جنبشی حاصل از خش‌لغزها و فابریک‌های C/S نیز با چنین سازوکاری سازگاری دارد. نکته مهم در کنترل کانه‌زایی، هم‌راستایی رگه‌های آهن‌دار با دایک‌ها، درزه‌ها و گسل‌های عادی است؛ آرایشی که نشان می‌دهد شکستگی‌های با مؤلفه بازشدگی، نسبت به گسل‌های اصلی، نقش مؤثرتری در انتقال و نهشت سیالات داشته‌اند.

در نتیجه، کانه‌زایی آهن در منطقه را می‌توان حاصل تمرکز سیالات گرمابی در شکستگی‌های بازشونده مرتبط با سامانه ترافشارشی دانست که فعالیت توده های نفوذی در فراهم‌کردن شرایط حرارتی و سیالی آن مؤثر بوده است. بر این اساس، امتداد و تراکم شکستگی‌های–NE SW، به‌ویژه در مجاورت توده‌های نفوذی و واحدهای دگرسان‌شده، از مهم‌ترین معیارهای ساختاری برای پیگیری زون‌های کانه‌دار در منطقه محسوب می‌شود.

بنابراین نتایج فوق می‌تواند با مشخص کردن ساختارهای مناسب برای عبور و تمرکز سیالات کانه‌دار، در شناسایی و اولویت‌بندی اهداف اکتشافی آهن در ارتباط با توده‌های نفوذی به کار گرفته شود.

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی شرکت مس پژوهان کارمانیا انجام شده و بدین وسیله از کلیه حمایت‌های مدیر عامل محترم، جناب آقای مهندس کلانکی سپاسگزاری می‌شود. همچنین از سردبیر محترم و داوران گرامی بابت بررسی دقیق مقاله و ارائه نظرات و پیشنهادهای سازنده صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم.

مراجع

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geological Magazine 148, 692–725. https://doi.org/10.1017/S001675681100046X

Aghanbati, S.A., 2006. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, p. 586.

Ahmadi, R., Hosseini Shahraki SJ., 2022. Exploration analysis and determining the relationship between mineralization and faults as a new exploration key in the Sirjan-Beshneh copper deposit. Iranian Journal of Geology 16(63),63-79. https://sid.ir/paper/1036797/en

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation. Tectonophysics 229, 211–238. https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2

Allmendinger, R.W., 2020. Stereonet 11. Available at: https://serc.carleton.edu/resources/58096.html

Amraei, S., Niroomand, Sh., 2016. Mineralogy, Alterations, Lithogeochemical Investigations and Fluid Inclusions Studies in Kudkan Cu-Au Mineralization Area, Southern Khorasan, Iran. Advanced Applied Geology 6, 34–47. https://doi.org/10.22055/aag.2016.12143

Babazadeh, S., Ghorbani, MR., Bröcker, M., D'Antonio, M., Cottle, JM., Gebbing, T., Mazzeo, FC., Ahmadi, P., 2017. Late Oligocene–Miocene mantle upwelling and interaction inferred from mantle signatures in gabbroic to granitic rocks from the Urumieh–Dokhtar arc, south Ardestan, Iran. International Geology Review 59, 1590–1608. https://doi.org/10.1080/00206814.2017.1286613

Beygi, S., Nadimi, A., and Safaei, H., 2016. Tectonic history of seismogenic fault structures in Central Iran. Journal of Geosciences 61(2), 127–144. https://DOI: 10.3190/jgeosci.212.

Chiu, HY., Chung, SL., Zarrinkoub, MH., Mohammadi, SS., Khatib, MM., Iizuka, Y., 2013. Zircon U–Pb age constraints from Iran on the magmatic evolution related to Neotethyan subduction and Zagros orogeny. Lithos 162, 70–87. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.01.006

Faulkner, DR., Lewis, AC., Rutter, EH., 2003. On the internal structure and mechanics of large strike-slip fault zones: field observations of the Carboneras fault in southeastern Spain. Tectonophysics 367, 235–251. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(03)00134-3

Fossen, H. Tikoff, B., 1993. The deformation matrix for simultaneous simple shearing, pure shearing and volume change, and its application to transpression-transtension tectonics. Journal of Structural Geology 15(3–5), 413–422. https://doi:10.1016/0191-8141(93)90137-Y.

Garwin, S., Hall, R., Watanabe, Y., 2005. Tectonic setting, geology, and gold and copper mineralization in Cenozoic magmatic arcs of Southeast Asia and the West Pacific. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, RJ., Richards, JP. (Eds.), One Hundredth Anniversary Volume. Society of Economic Geologists.

Hassanzadeh, J., Wernicke, BP., 2016. The Neotethyan Sanandaj–Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin–arc transitions. Tectonics 35(3), 586–621. https://DOI: 10.1002/2015TC003926

Heidari, SM., Safavy, S., Akbarpour, A., Hassanlou, A., Mohaghegh, B., 2022. Geology, structure and mineralization of Cu (±Au) hydrothermal–magmatic deposits of the Saveh–Razan region. Geosciences Scientific Quarterly Journal 32(124), 89–104. https://10.22071/gsj.2021.276571.1894

Jafari, A., Karimpour, MH., Mazaheri, SA., Malekzadeh Shafaroudi, A., Ren, M., 2019. Geochemistry of metamorphic rocks and mineralization in the Golgohar iron ore deposit (No. 1), Sirjan, SE Iran: implications for paleotectonic setting and ore genesis. Journal of Geochemical Exploration 205, 106330. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.06.012

Jafari, SR., 2023. Interim Exploration Report on the Razan Non-Placer Iron Ore Deposit (Report No. 46824). Mes Pazhouhan Karmania Company, Hamadan Province Industry, Mine and Trade Organization (not published).

Karimpour, MH., Rezaei, M., Zarasvandi, A., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2021. Saveh–Nain–Jiroft magmatic belt replaces Urumieh–Dokhtar magmatic belt: Investigation of genetic relationship between porphyry copper deposits and adakitic and non-adakitic granitoids. Journal of Economic Geology 13(3), 465–506. https://doi.org/10.22067/econg.v13i3.1034

Majidifard, MR., Shafei, A., 2006. Geological map 1:100,000 Marzban. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.

Micklethwaite, S., Cox, S.F., 2004. Fault-segment rupture, aftershock-zone fluid flow, and mineralization. Geology 32(9), 813–816. https://doi.org/10.1130/G20559.1

Mohajjel, M., Fergusson, CL., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. Journal of Structural Geology 22(9), 1125–1139. https://doi.org/10.1016/S0191-8141(00)00023-7

Mohajjel, M., Rasouli, A., 2014. Structural evidence for superposition of transtension on transpression in the Zagros collision zone: Main Recent Fault, Piranshahr area, NW Iran. Journal of Structural Geology 62, 65–79. https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.01.006

Nabatian, GH., Rastad, E., Neubauer, F., Honamand, M., Ghaderi, M., 2015. Iron and Fe–Mn mineralization in Iran: implications for Tethyan metallogeny. Australian Journal of Earth Sciences 62(2), 211–241. https://DOI: 10.1080/08120099.2015.1002001

Nakini, A., Mohajjel, M., Tadayon, M., 2015. Relation between Pb-Zn mineralization with fault structures in Dareh-Zanjir Mine, SW Yazd. Advanced Applied Geology 5, 25–33. https://doi.org/10.22055/aag.2015.11890

Nouri, N., Azizi, H., Stern, R., Asahara, Y., Khodaparast, S., Madanipour, S., Yamamoto, K., 2018. Zircon U–Pb dating, geochemistry and evolution of the Late Eocene Saveh magmatic complex, central Iran: partial melts of sub-continental lithospheric mantle and magmatic differentiation. Lithos 314–315, 274–292. https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.06.013

Ren, J., Zhang, Z., Gai, H., Kang, W., 2021. Typical Riedel shear structures of the coseismic surface rupture zone produced by the 2021 Mw 7.3 Maduo earthquake, Qinghai, China, and the implications for seismic hazards in the block interior. Natural Hazards Research 1(4), 145-152. https://doi.org/10.1016/j.nhres.2021.10.001

Rezaee Shahzadeh Aliakbari, Z., Pourkermani, M., Arian, M., Solgi, A. and Keynezhad, A., 2023. Investigation of mineralization in Gazkhizan copper deposit (west of Semnan), based on economic and tectonic geological evidence. Advanced Applied Geology 13(3), 892-909. https://doi: 10.22055/aag.2022.39565.2266

Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: from subduction to collision. Ore Geology Reviews 70, 323–345. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009

Sanderson, DJ., Marchini, WRD.,1984. Transpression, Journal of Structural Geology 6(5), 449–458. https://doi:10.1016/0191-8141(84)90058-0.

Sepidbar, F., Borouzi Niyat, B., 2024. Petrology of Oligocene Lalehzar igneous rocks in the southeast of Saveh–Naein–Jiroft magmatic belt. Journal of Economic Geology 16(4), 21–45. https://doi.org/10.22067/econg.2024.1124

Shahabpour, J., 2005. Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz. Journal of Asian Earth Sciences 24(4), 405–417. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2003.11.007

Verdel, C., Wernicke, BP., Hassanzadeh, J., Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. Tectonics 30(6), 3008–3302. https://DOI: 10.1029/2010TC002809

Rezaei, A., Hassani, H., Moarefvand, P., Golmohammadi, A., 2019. Investigation the effect of structural pattern on mineralization model in the C-North ore deposit, Sangan, NE Iran. Journal of Mineral Resources Engineering 4(2), 1–22. https://doi.org/10.30479/jmre.2019.9885.1210