Vol. 11, No. 1, Spring and Summer 2025, pp. 72-102 ISSN (Print): 2538-449X ISSN (Online): 2981-1619

Research Article
OPEN ACCESS
Kharazmi Journal of Earth Sciences
Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

New insights into the geology and ore genesis of the Aregijeh and Emarat Pb-Zn deposits, South Arak: Constraints from mineralogy, texture, and fluid inclusions

Zahra Alaminia[1*], Amir Salar Boroon[2], Meisam Tadayon[3]

1. Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.
2, 3. Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Article info

Article history
Received: 4 April 2025
Accepted: 14 May 2025

Keywords:
Zn-Pb mineralization, Carbonate-hosted, Fluid inclusion, Irish-type, South Arak.

Abstract

The Aregijeh and Emarat Pb-Zn deposits are hosted by clastic-carbonate sequences of the Early Cretaceous in south Arak. These deposits formed in the northern Sanandaj-Sirjan zone within an intracontinental rift setting. The main stratabound Pb-Zn mineralization horizon occurs in the upper part of thick-bedded Orbitolina-bearing limestones (Aptian-Albian), underlying shales and marls with intercalated thin-bedded limestones. Mineralization appears as banded, brecciated, laminated, veined, and disseminated comprising sphalerite, galena, and pyrite, with minor chalcopyrite, and Ag-Sb-Cu sulfosalts, accompanied by quartz, dolomite, calcite, barite, and siderite as gangue minerals. Silicification and carbonatization represent the dominant alteration types. The unusual abundance of fine-grained quartz, anhedral dolomite, and framboidal pyrite provides evidence of early diagenetic stages, while mineralization was completed by the precipitation of coarse-grained quartz, euhedral dolomite, siderite, and hydrothermal sulfides. Ore formation occurred in a submarine anoxic environment shortly after sedimentation. Microthermometric results of fluid inclusions reveal similar homogenization temperature ranges (125–207°C in Aregijeh vs. 130–217°C in Emarat) in both deposits. However, calculated salinities (7.59–13.72 wt.% NaCl equiv. in Aregijeh vs. 7.59–19.84 wt.% NaCl equiv. in Emarat) are higher in the Emarat deposit. Textural relationships, mineralogical properties, and fluid inclusion data suggest mineralization formed from basinal brines during diagenesis in a reduced environment, consistent with Irish-type deposits.

Introduction

The Aregijeh Pb-Zn deposit, located in southern Arak, Iran, lies within the Malayer-Isfahan lead-zinc metallogenic belt and is hosted in a Lower Cretaceous sedimentary sequence. The Malayer-Isfahan belt is a significant carbonate-hosted metallogenic province, containing major deposits such as Emarat in Arak, Irankuh in Isfahan, and Ahangaran in Hamedan. Previous research in southern Arak has primarily focused on the Emarat deposit, which contains proven reserves of 1.5 million tons with an average grade of 5% Zn and 1% Pb, situated on the northern limb of the overturned Mouchan anticline. Although recent studies have investigated other deposits in this belt, some areas remain insufficiently studied. Existing work on the Aregijeh mineralization has largely been exploratory in nature. Recent extensive exploration efforts by private companies have targeted lead and zinc resources in the Aregijeh area (Fig. 1c). Additionally, Niroomand et al. (2019) conducted detailed research on the nearby Rabat deposit.

This study presents a comprehensive characterization of the Aregijeh deposit. Given the stratigraphic similarities between the Aregijeh and Emarat mineralizations, along with the extensive prior research on Emarat, we compare the two deposits according to new classification of Wilkinson (2014) through field observations,

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.103843
***Corresponding author:** Zahra Alaminia; **E-mail:** alaminia@um.ac.ir
How to cite this article: Alaminia, Z., Boroon, A. S., Tadayon, M., 2025. New insights into geology and ore genesis of the Aregijeh and Emarat Pb-Zn deposits, South Arak: Constraints from mineralogy, texture, and fluid inclusions. Kharazmi Journal of Earth Sciences 11(1), 72- 102. http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.103843

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

petrographic analysis, and fluid inclusion studies. By integrating new data from the Emarat deposit, this work aims to elucidate the evolutionary history of ore-forming fluids and provide insights into the genetic processes responsible for mineralization.

Materials and Methods

To investigate the Pb-Zn mineralization characteristics of the Aregijeh deposit and compare them with those of the Emarat deposit, 39 surface samples from mineralized veins, altered zones, and host rocks were collected from Aregijeh, along with 25 samples from the Emarat deposit. Subsequently, 27 thin and polished sections were prepared for petrographic and mineralogical studies of both ore and host rocks. Field investigations and microscopic analyses focused on determining the stratigraphic position, structural features, textural relationships, and the spatial association between mineralization and host rocks.

For detailed microscopic examination, standard thin sections (46×27 mm) were prepared from selected samples and analyzed using a transmitted-reflected light microscope. Following comprehensive petrographic studies, scanning electron microscopy (SEM) was employed to determine mineralogical composition and semi-quantitative chemical analysis. Samples were carbon-coated for 20 minutes, and 31 points were analyzed using a JEOL JSM 7100F SEM (Japan) at 15 kV accelerating voltage. Due to the repetitive and similar phase compositions observed in SEM results, only representative data are presented.

For fluid inclusion studies, five doubly polished sections (100 µm thick) were prepared from sphalerite, quartz, and carbonate minerals associated with ore samples. Additionally, twelve doubly polished sections of quartz, dolomite, and sphalerite from both Aregijeh and Emarat deposits were examined. Microthermometric results were conducted at the Fluid Inclusion Laboratory, University of Isfahan, using a Linkam THM600 heating-freezing stage equipped with a TMS-94 controller and an LNP cooling system, mounted on a ZEISS microscope.

Results and Discussion

Petrographic observations confirm that the widespread dolomitization, resulting from regional diagenetic events, has enhanced the permeability and porosity of the rock. Fine-grained and anhedral dolomites have formed during the diagenesis of limestone deposits, while coarser-hydrothermal dolomites associated with mineralization (Fig. 7c). Dolomite is predominantly found in the thick-bedded limestone unit, exhibiting both fine-grained and coarse-grained silicification in the mineralized sections of the rock. An unusual abundance of quartz characterizes both deposits. Fine-grained quartz predates the mineralization, whereas coarse-grained quartz is associated with it. The ore minerals consist of sphalerite and galena, with lesser amounts of pyrite and chalcopyrite. Common textures include breccia, replacement, vein-veinlet, disseminated, laminated, colloform, recrystallization, and framboidal textures.

SEM results indicate that framboidal pyrite laminations are observed within the context of dolomites, which are replaced by coarser pyrite, galena, and sphalerite (Fig. 7a, b). Petrographic observations indicate that the size of the pyrite grains is less than 10 micrometers (Fig. 5a), which may suggest a completely anoxic environment (Wilkinson, 2001; Bond and Wignall, 2010). Zinc, lead, and iron sulfides were relatively replaced during the initial diagenetic phase (Figs. 5e and 7b). Siderite and Sb-Ag-bearing sulfosalts are among the phases identified with mineralization in Aregijeh (Fig. 7h).

Microthermometric results of fluid inclusions in dolomite, quartz, and sphalerite minerals reveal similar homogenization temperature ranges (125–207°C in Aregijeh vs. 130–217°C in Emarat) in both deposits but higher salinities in Emarat deposit (7.59–13.72 wt.% NaCl equiv. in Aregijeh vs. 7.59–19.84 wt.% NaCl equiv. in Emarat). These characteristics align with Irish-type rather than classic MVT deposits associated with orogeny (Fig. 11b), contradicting earlier classifications based on sulfur isotopes ($\delta^{34}S$ from +5.8 to +14.4‰) (Ehya et al., 2010).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

The formation of Pb-Zn deposits in the Malayer-Isfahan metallogenic belt is mainly attributed to the Zagros Orogen (Ehya et al., 2010) or the back-arc basin of the Nain-Bafq region (Rajabi et al., 2012). We suggest a relationship with continental rifting environments as recent models in the northern Sanandaj-Sirjan zone (Hunziker et al., 2015; Azizi et al., 2018; Azizi and Stern, 2019; Rahimzadeh et al., 2021).

Wangen and Munz (2004) argued that thick quartz veins cannot originate from ascending hot brines of the sedimentary basin, and the alteration of the host and adjacent sediments could lead to the saturation of diagenetic fluids that allow quartz veins to form. Recent studies by Emmings et al. (2020) indicate that quartz can form during early diagenesis under anoxic marine conditions due to the decomposition of terrigenous sediments. Quartz can precipitate from brines under low pH conditions in the rock formation, with high aluminum or iron oxide levels, or an abundance of organic material in anoxic environments. These brines have a strong potential for transporting sulfur and metals (Emmings et al., 2020). Widespread dolomitization also refers to regional diagenetic processes, and the presence of framboidal pyrites and siderite indicates a reducing marine environment during the Cretaceous, which is consistent with earlier studies on the S isotopes in the sulfides of the Emarat deposit (Fazli et al., 2012). Zinc, lead, and iron sulfides have been partially replaced by framboid pyrites during the initial diagenetic phase (Figs. 5e and 7b). Siderites (Fig. 7e, i) formed initially through to the middle stages of diagenesis in a low-oxygen marine environment. Potassium-rich brines, which produced micas, predate hydrothermal sulfides and form at low temperatures (below 50°C) in zinc deposits hosted by fine-grained terrigenous materials (Davidson, 1998; Magnall et al., 2023).

Conclusions

The findings of this study indicate that the main mineralization of lead and zinc occurred shortly after deposition. Basinal brines generated by the opening of rift structures and subsidence of the basin during diagenetic processes, ascended along deep fault systems and mixed with cold Cretaceous seawater, leading to the sedimentation of stratabound mineralization. The thermal source may be associated with the natural gradient during the development of the basin. The metal content of the fluids could be derived from the underlying Cadomian magmatic basement or from Mesozoic terrigenous sediments.

The tectonic setting, carbonate host rocks, stratabound nature, and microthermometry results collectively support an Irish-type deposit affinity for both Aregijeh and Emarat.

References

Azizi, H., Lucci, F., Stern, B., Hasannejad, S., Asahara, Y., 2018. The Late Jurassic Panjeh submarine volcano in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, northwest Iran: Mantle plume or active margin? Lithos 308. 10.1016/j.lithos.2018.03.019.

Azizi, H., Stern, B., 2019. Jurassic igneous rocks of the central Sanandaj-Sirjan zone (Iran) mark a propagating continental rift, not a magmatic arc. Terra Nova 31. 10.1111/ter.12404.

Bond, D.P.G., Wignall, P.B., 2010. Pyrite framboid study of marine Permian-Triassic boundary sections: A complex anoxic event and its relationship to contemporaneous mass extinction. Geological Society of America Bulletin 122(7-8), 1265-1279.

Davidson, G.J., 1998. Alkali alteration styles and mechanisms, and their implications for a “brine factory” source of base metals in the rift-related McArthur group, Australia: Australian Journal of Earth Sciences 45, 33–49.

Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010. Emarat carbonate-hosted Zn–Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. Journal of Asian Earth Sciences 37(2), 186-194.

Emmings, J.F., Dowey, P.J., Taylor, K.G., Davies, S.J., Vane, C.H., Moss-Hayes, V. and Rushton, J.C., 2020. Origin and implications of early diagenetic quartz in the Mississippian Bowland Shale Formation, Craven Basin, UK. Marine and Petroleum Geology 120, 104567.

Fazli, S., Shamanian, Gh., Shafiee, B., 2012. The Emarat and Muchan sedimentary rock-hosted stratabound Zn-Pb deposits: New data and genetic implications 20 (1), 67-80.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Hunziker, D., Burg, J.P., Bouilhol, P., Quadt, A., 2015. Jurassic rifting at the Eurasian Tethys margin: Geochemical and geochronological constraints from granitoids of North Makran, southeastern Iran: Tectonics 34, 571-593, https://doi.org/10.1002/2014TC003768

Magnall, J.M., Wirth, R., Hayward, N., Gleeson, S.A., Schreiber, A., 2023. Stratiform host-rock replacement via self-sustaining reactions in a clastic-dominated (CD-type) Zn deposit. Economic Geology 118(4), 823-836.

Niroomand, S., Haghi, A., Rajabi, A., Shabani, A.A.T., Song, Y.C., 2019. Geology, isotope geochemistry, and fluid inclusion investigation of the Robat Zn-Pb-Ba deposit, Malayer-Esfahan metallogenic belt, southwestern Iran. Ore Geology Reviews 112, p. 103040.

Rahimzadeh, B., Mahmoudi, S., Corfu, F., Ahadnejad, V., Von Quadt, A., 2021. A unique period of bimodal volcanism at 130–110 Ma in the northern Sanandaj-Sirjan Zone: Evidence for an extensional setting. Lithos 392, 106155.

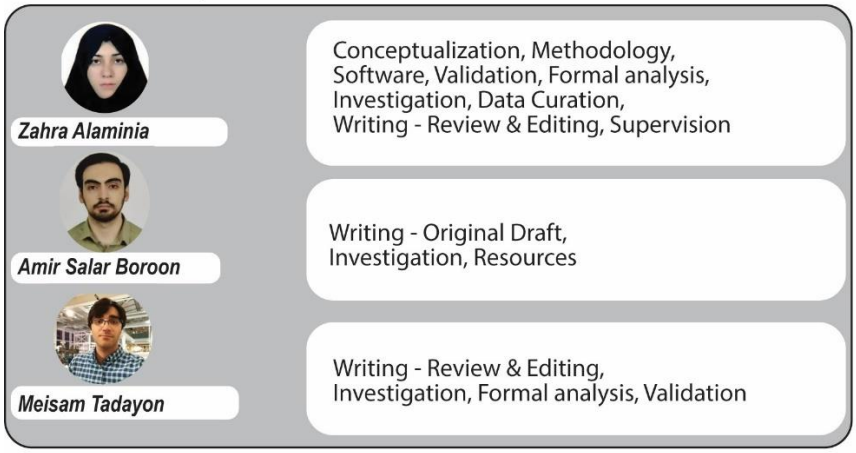
Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. International Geology Review 54(14), 1649-1672.

Wangen, M. and Munz, I.A., 2004. Formation of quartz veins by local dissolution and transport of silica. Chemical Geology 209(3-4), 179-192.

Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits: Lithos 55, 229-272.

Wilkinson, J.J., 2014. In: Sediment-Hosted Zinc-Lead Mineralization: Processes and Perspectives, second ed. Treatise on Geochemistry 219–249.

CRediT authorship contribution statement



[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

جلد ۱۱، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۴، صفحه ۷۲ تا ۱۰۲ شاپا چاپی: ۴۴۹x- ۲۵۳۸ شاپا الکترونیکی: ۱۶۱۹-۲۹۸۱

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

مجله علوم زمین خوارزمی

Journal homepage https://gnf.khu.ac.ir

نگاهی جدید به زمین‌شناسی و خاستگاه کانی‌سازی روی و سرب در مناطق معدنی اره‌گیجه و عمارت، جنوب اراک: شواهد کانی‌شناسی، بافت و میانبارهای سیال

زهرا اعلمی‌نیا[1*]، امیرسالار برون[2]، میثم تدین[3]

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲، ۳. گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۱۵

پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۴

واژه‌های کلیدی

کانه‌زایی روی-سرب، میزبان کربناته، میانبار سیال، نوع ایرلندی، جنوب اراک.

چکیده

کانسارهای روی و سرب اره‌گیجه و عمارت با سنگ میزبان آواری-کربناته به سن کرتاسه پیشین در جنوب اراک قرار دارد. این کانسارها در بخش شمالی پهنه سنندج – سیرجان، در جایگاه تکتونیکی ریفت درون‌قاره‌ای شکل گرفته‌اند. افق اصلی کانه‌زایی چینه‌کران در بخش بالایی آهک‌های ستبرلایه اوربیتولین‌دار (آپتین-آلبین) و بخش زیرین شیل و مارن با میان‌لایه‌های آهک نازک‌لایه دیده می‌شود. کانی‌زایی به صورت لایه‌ای، برشی، لامینه، رگه-رگچه و افشان شامل کانی‌های اسفالریت، گالن، پیریت، کمتر کالکوپیریت و سولفوسالت Ag-Sb-Cu با همراهی کانی‌های باطله‌ی کوارتز، دولومیت، کلسیت، باریت و سیدریت دیده می‌شوند. دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی‌شدن مهمترین دگرسانی‌های منطقه محسوب می‌شوند. فراوانی غیر معمول کوارتز دانه‌ریز، دولومیت بی‌شکل و پیریت فرامبوئیدال از شواهد مراحل آغازین دیاژنز هستند که مراحل کانه‌سازی با ته‌نشینی کوارتز دانه‌درشت، دولومیت خودشکل، سیدریت و سولفیدهای گرمابی تکمیل می‌شود. کانه‌زایی در محیط زیردریایی anoxic و کمی پس از رسوبگذاری بوقوع پیوسته است. نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال بازه دمای همگن‌شدگی مشابه (۱۲۵ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد در اره‌گیجه در برابر ۱۳۰ تا ۲۱۷ درجه سانتی‌گراد در عمارت) را نشان می‌دهد هرچند شوری‌های (۷/۵۹ تا ۱۳/۷۲ درصد معادل نمک طعام در اره‌گیجه در برابر ۷/۵۹ تا ۱۹/۸۴ درصد معادل نمک طعام در عمارت) محاسبه شده در کانسار عمارت بیشتر است. روابط بافتی، خصوصیات کانی‌شناسی و داده‌های میانبار سیال پیشنهاد می‌کند کانی‌سازی از شورابه‌های حوضه‌ای در طی دیاژنز و در یک محیط احیایی سازگار با کانسارهای نوع ایرلندی تشکیل شده است.

مقدمه

حوضه‌های رسوبی از نگاه ذخایر فلزات پایه و عناصر اساسی (حیاتی) اهمیت زیادی دارند و اکتشاف آنها می‌تواند چالش‌های زنجیره تامین را کاهش دهد (Hoggard et al., 2020). کانسارهای رسوبی سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی با میزبان کربناته (MVT) و کانسارهای با میزبان آواری (CD) منابعِ ۵۷ درصد روی و ۶۲ درصد سرب جهانی هستند (Mudd et al., 2017). سرب و روی در صنایع باتری، فولاد و کود شیمیایی کاربرد دارند. افزون بر آن، کانی‌های اسفالریت و گالن موجود در این ذخایر می‌توانند منابع خوبی برای تامین کادمیوم، گالیم، ژرمانیوم، آنتیموان و ایندیم باشند (Lawley et al., 2021). در حال حاضر تولید این مواد اولیه به چند مکان در سطح جهان محصور شده است (U. S. Geological Survey,

DOI http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.103843

***نویسنده مسئول:** زهرا اعلمی‌نیا alaminia@um.ac.ir

استناد به این مقاله: اعلمی‌نیا، ز.، برون، ا. س.، تدین، م. (۱۴۰۴). نگاهی جدید به زمین‌شناسی و خاستگاه کانی‌سازی روی و سرب در مناطق معدنی اره‌گیجه و عمارت، جنوب اراک: شواهد کانی‌شناسی، بافت و میانبارهای سیال. مجله علوم زمین خوارزمی. جلد ۱۱، شماره ۱، صفحه ۷۲ تا ۱۰۲. http://doi.org/10.22034/KJES.2025.11.1.103843

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

CC BY NC

2020). در جدیدترین تقسیم‌بندیِ ویلکینسون (Wilkinson, 2014)، کانسارهای رسوبی سرب و روی به سه دسته کانسارهای نوع دره می سی سی‌پی با میزبان کربناته (MVT)، کانسارهای برونده‌مین رسوبی (SEDEX) با میزبان آواری و کانسارهای بینابینی نوع ایرلندی با میزبان کربناته رده‌بندی شده است. کانسارهای چینه‌کران روی، سرب و نقره بخش میانی سرزمین ایرلند در سنگ آهک‌های دریایی با میان‌لایه‌های شیل و مارن با سن کربونیفر میزبانی می‌شوند و خصوصیات بینابینی میان کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی با میزبان کربناته و کانسارهای سدکس با میزبان آواری دارند (Wilkinson, 2014; Yesares et al., 2019; Doran et al., 2022). هرچند هنوز برخی از محققان، کانسارهای سرب و روی رسوبی را به دو زیر گروه اصلی کانسارهای همراه با رسوبات کربناته (MVT) و کانسارهای همراه با نهشته‌های تخریبی (CD) تقسیم می‌کنند (Leach et al., 2005, 2010; Lawley et al., 2022; Mu et al., 2021) و کانسارهای نوع ایرلندی را همانند گونه‌های آلپ، آپالاش، بلیبرگ، سالاشیای بالایی و راُسین، زیر رده کانسارهای نوع دره می سی سی‌پی (MVT) می‌پندارند (Leach et al., 2001, Wilkinson, 2010; Mu et al., 2021). کانسارهای سرب و روی با میزبانی سنگ‌های کربناته (نوع دره می سی سی‌پی و ایرلندی) حدود ۱۷ در صد از مهمترین ذخایر سرب و روی و ۳ در صد نقره دنیا را در برگرفته‌اند (Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). کانسارهای با میزبان کربناته، از نظر جایگاه تکتونیکی در سه موقعیت تکتونیکی ممکن است پدید آیند (Liu et al., 2017): ۱- پیش‌بوم کوهزایی (Foreland) مانند کانسارهای میان قاره‌ای شمال آمریکا (Appold and Garven, 1999; Leach et al., 2001)، ۲- کافت‌های محیط‌های کششی قاره‌ای مانند سرزمین میانی ایرلند، جنوب‌باختری آمریکا و هلند (Bau et al., 2003; Partey et al., 2009)، ۳- کمربندهای تراستی که اغلب تکتونیک وارون شده را تجربه کرده است مانند خاور ترکیه، بریتیش کلمبیا و کمربند سرب و روی سانجیانگ چین (Smethurst et al., 1999; Pannalal et al., 2003). دمای همگن‌شدگی کانسارهای گروه اول (جایگاه پیش‌بوم کوهزایی) بین ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد است در حالی‌که در بیشتر مناطق کشش دمای بالاتر و بین ۱۳۰ تا ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است که می‌تواند بخاطر غنی‌شدگی فلزات شورابه‌های حوضه‌ای باشد که در میان واحدهای سنگی ژرف پی‌سنگ چرخش دارند. گروه سوم کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناته، دمای بسیار بالاتری (۷۰ تا ۳۷۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به کانسارهای نوع دره می سی سی‌پیِ متداول داشته و منشا سیالات این گروه کمتر مطالعه شده است (Liu et al., 2017).

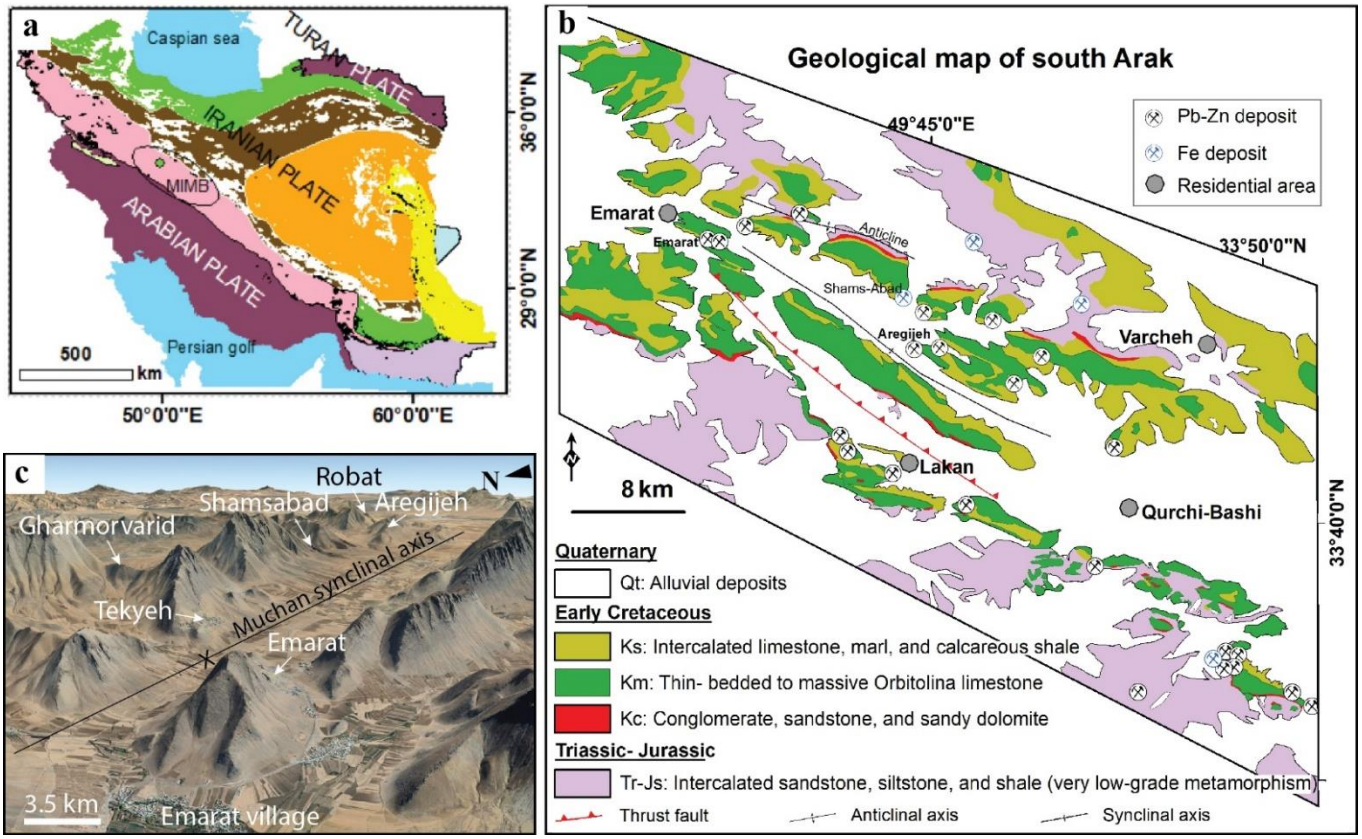
از ویژگی‌های مهم کانسارهای چینه‌کران MVT می‌توان به میزبان کربناته در جایگاه سکوهای قاره‌ای و حوضه‌های کوهزایی، کانی‌شناسی ساده اسفالریت و گالن همراه با سولفیدهای آهن و کمتر سولفوسالت، گسترش دگرسانی دولومیتی به همراه آنکریت، سیدریت و کلسیت و به‌ندرت کوارتز و باریت، بافت‌های پرکننده و جانشینی، کنترل‌کننده‌ی ساختاری، میزان شوری بین ۱۰ تا ۳۰ درصد وزنی معادل نمک طعام و دمای بین ۹۰ تا ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد اشاره نمود (Leach and Sangster, 1993; Basuki and Spooner, 2004; Leach et al., 2001; Leach et al., 2010; Tavazzani et al., 2024). در کانسارهای ایرلندی کانه‌های گالن، اسفالریت و پیریت با کانی‌های باطله دولومیت، کلسیت، کوارتز و باریت با بافت‌های برشی، رگه/رگچه و جانشینی همراهند و افزون بر تاثیر دیاژنز، کانه‌زایی با جایگاه کششی و سیالات گرمابی داغ مشتق از ساختارهای عمیق ارتباط دارد (Yesares et al., 2019, Doran et al., 2022). بازه دمایی بین ۷۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد دارند و بخش‌های دما بالا با کالکوپیریت، بورنیت و سولفوسالت‌های Hg, As, Bi, Sb و Ag همراه شده است (Wilkinson, 2014; Torremans et al., 2018). اغلب پژوهشگران بر این باورند که اختلاط میان سیال‌های فلزدار مشتق از پی‌سنگ ژرف (با دمای بالا تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و مقادیر مثبت ایزوتوپ گوگرد) با شورابه‌های سرد (کمتر از ۱۰۰ درجه

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

سانتی‌گراد و مقادیر منفی ایزوتوپ گوگرد) و کم‌عمق حامل گوگرد باکتریایی در نهشتگی کانسارهای نوع ایرلندی اهمیت دارد (Fallick et al., 2001; Gagnevin et al., 2014; Doran et al., 2022).

کانسار روی-سرب منطقه اره‌گیجه در جنوب اراک، واقع در کمربند فلززایی سرب و روی ملایر-اصفهان، در توالی رسوبی کرتاسه پیشین تشکیل شده است. کمربند ملایر-اصفهان یکی از پهنه‌های مهم فلززایی با میزبان کربناته محسوب می‌شود که میزبان کانسارهای بزرگ مانند عمارت در اراک، ایرانکوه در اصفهان و آهنگران در همدان است (Momenzadeh, 1976; Rajabi et al., 2012; Boveiri Konari et al., 2016; Peernajmodin et al., 2018; Maanijou et al., 2020; Mahmoodi et al., 2023; Tayebi et al., 2024). در ناحیه معدنی اراک توالی رسوبی کرتاسه پیشین رخنمون زیادی داشته و متشکل از کربنات و رسوبات تخریبی مربوط به دوره‌های پیشروی-پسروی دریا است که با یک ناپیوستگی روی سازند شمشک قرار گرفته است. کانه‌زایی اراک در دو توالی ژوراسیک (مانند کانسارهای روی و سرب حسین‌آباد و باباقله) و کرتاسه پیشین (مانند کانسارهای روی و سرب خان‌آباد، عمارت، رباط، تکیه و آهن- منگنز شمس آباد و گِزلدر) رخ داده است (Mahmoodi et al., 2018; Khosrobeigy et al., 2022). بیشتر مطالعات قبلی انجام شده در منطقه جنوب اراک بر روی کانسار عمارت بوده است. این کانسار با ذخیره قطعی ۱/۵ میلیون تن و عیار پنج درصد روی و یک درصد سرب در یال شمالی ناودیس برگشته موچان قرار گرفته است (شکل ۱-c). در مطالعات پیشین کانسار عمارت، بر اساس اندازه‌گیری دما و شوری میانبارهای سیال (دمای ۹۰ تا ۲۵۷ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۰ تا ۱۶ درصد معادل نمک طعام) و شواهد ایزوتوپی گوگرد (۵/۸+ تا ۱۴/۴+ درهزار) و سرب، از نوع دره می‌سی‌سی‌پی و در ارتباط با کوهزایی معرفی شده است (Ehya et al., 2010). هرچند برخلاف کانسارهای نوع دره می سی سی‌پی جهان، کوارتز بطور غیر معمول در این کانسار بوفور یافت می شود. در پژوهش دیگری از کانسار عمارت، دامنه تغییرات مقادیر ایزوتوپی گوگرد در گستره ۵/۹+ تا ۱۱/۶+ درهزار به دست آمده است که گوگرد سولفیدها را مشتق از آب رسوبات کرتاسه دانسته‌اند (Fazli et al., 2012). در حالی‌که مقادیر $\delta^{34}S$ گالن در کانسار آهن-منگنز شمس‌آباد (نزدیک عمارت) با توالی در برگیرنده کرتاسه زیرین، در گستره ۱/۵+ تا ۴/۹+ در هزار می‌باشد و آب‌های گرمابی زیردریایی در تشکیل این ذخیره نقش داشته است (Ehya and Marbouti, 2021). اگرچه در سال‌های اخیر مطالعات خوبی بر روی دیگر کانسارهای این کمربند انجام گرفته است، اما در برخی موارد کار پژوهشی دقیقی موجود نیست. روستای رباط بالا در نزدیکی خمین از توابع اراک واقع در استان مرکزی و در جنوب شرقی معادن سرب و روی عمارت و آهن شمس‌آباد قرار دارد (شکل ۱) و آثاری از سرب، روی و باریت (باریت رباط، باریت کوه دم سیاه و روی-سرب-باریت کوه‌کلنگه) در کوه‌های اطراف رباط (کوه‌های اره‌گیجه، تخت‌حسین و برآفتاب) وجود دارد. بررسی‌های انجام شده قبلی بر روی کانه‌زایی اره‌گیجه بیشتر جنبه اکتشافی داشته به‌طوری‌که به‌تازگی عملیات اکتشافی گسترده‌ای در منطقه اره‌گیجه توسط بخش خصوصی برای اکتشاف سرب و روی انجام شده است (شکل ۱-c) (Peyjab Kansar, 2012; Boroon et al., 2021). اخیرا پژوهش‌های مناسبی بر روی کانسار رباط که در نزدیکی اره‌گیجه قرار دارد توسط نیرومند و همکاران (Niroomand et al., 2019) انجام شده است (شکل ۲-b). در پژوهش حاضر ضمن معرفی کانسار اره‌گیجه، با توجه به شباهت جایگاه چینه شناسیِ کانه‌زایی در مناطق اره‌گیجه و عمارت، سعی شده است کانسار اره‌گیجه بر پایه مشاهدات صحرایی، میکروسکوپی و مطالعات میانبارهای سیال با اطلاعات جدید بدست آمده از کانسار عمارت (شکل ۲-a)، مقایسه شده تا ویژگی‌های تکاملی سیال کانه‌ساز بررسی و بر اساس رده‌بندی جدید کانسارهای سرب و روی رسوبی (Wilkinson, 2014) چگونگی زایش کانسارها بازسازی شود. مطالعات میانبارهای سیال اطلاعات مستقیمی از شرایط فیزیکوشیمی سیال سازنده است که می‌تواند ماهیت محلول کانه‌دار را آشکار کند و برای بررسی خاستگاه و تکامل سیال بکار رود (Kesler, 2005; Mu et al., 2023).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]



شکل ۱. a) نقشه زمین‌شناسی- ساختاری ایران شامل موقعیت کمربند فلززایی ملایر-اصفهان (MIMB) و کانسار اره‌گیجه (Aghanabati, 2013)، b) کانسارهای سرب- روی و آهن بر روی نقشه ساده زمین‌شناسی منطقه جنوب اراک نشان داده شده است (Vaezi and Kholghi, 2007). منطقه معدنی اره‌گیجه در جنوب خاوری معادن عمارت و شمس‌آباد قرار دارد، c) موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصویر گوگل ارث، زمینه تصویر در سامانه جغرافیایی WGS84 است.

Fig. 1. a) Structural-geological map of Iran including the location of the Malayer-Isfahan metallogenic belt (MIMB) and Aregijeh deposit (Aghanabati, 2013). b) Pb-Zn and Iron deposits are shown on the simplified regional geologic map of the south Arak (Vaezi and Kholghi, 2007). Aregijeh mining area is in SW of Emarat and Shamsabad mines. c) The location of study area on Google satellite imagery. Geographic coordinates are reported as WGS84.

تاریخچه زمین‌ساختی سنندج-سیرجان در مزوزوئیک

پهنه تکتونیکی- رسوبی سنندج- سیرجان به‌صورت یک نوار طویل با درازای ۱۵۰۰ کیلومتر، پهنای کمتر از ۱۵۰ کیلومتر، به موازات و در بخش شمالی زمین‌درز زاگرس جای گرفته است (شکل ۱-a). این پهنه یک نوار دگرگونی وابسته به کوهزاد زاگرس با پی‌سنگ گندوانا (پان‌افریقا) است که در حاشیه جنوب‌باختری بلوک قاره‌ای سیمرین تشکیل شده است (Ricou, 1994; Stampfli and Borel., 2002, Fergusson et al., 2016) و به دو بخش شمالی و جنوبی تقسیم می شود. بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری- رسوبی ایران، مناطق معدنی عمارت و اره‌گیجه در بخش شمالی پهنه سنندج - سیرجان قرار می‌گیرد (شکل ۱-a). با توجه به پیچیدگی زمین شناسی، اتفاق نظر در جایگاه تکتونیکی پهنه سنندج- سیرجان وجود ندارد، از اینرو در ادامه به شرح آن پرداخته می‌شود. بخش شمالی مشتمل بر پی سنگی از جنس کمان ماگمایی کادومین (۵۰۰ تا ۶۰۰ میلیون سال)، ردیفی از واحد های سنگی دگرگونی، گرانیت‌های پالئوزوئیک، توده‌های درونی مزوزوئیک و طبقات ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی است (Eftekharnejad, 1981).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

ترکیب واحدهای آتشفشانی حدواسط تا بازیک (بازالت‌ها و آندزیت‌های کالک‌آلکالن) متعلق به کرتاسه است که با میان‌لایه‌هایی از شیل، آهک و ماسه‌سنگ مزوزوئیک همراهند (Azizi and Jahangiri, 2008; Azizi et al., 2022). گرانیت‌ها و آتشفشانی‌های کرتاسه بالایی واحدهای سنگی قدیمی‌تر را قطع می‌کنند (Abdulzahra et al., 2018). توده‌های درونی ژوراسیک (گابرو، دیوریت و گرانیت) با سن ۱۴۳ تا ۱۷۷ میلیون سال، از خصوصیات بارز سنندج-سیرجان است (Azizi et al., 2022). بررسی‌های اخیر (Amin-Rasouli et al., 2021; Amin-Rasouli et al., 2022) گویای تغییر محیط رسوبی شیل‌های کرتاسه بالایی شمال زون سنندج- سیرجان، از درازگودال به سراشیبی درازگودال و حوضه پیش کمان ماگمایی، ناشی از مهاجرت کمان ماگمایی به سوی قاره است. بر اساس مطالعات جدید و به‌کمک شواهدی همچون ماگماتیسم بایمودال و افزایش سن توده‌های ژورا سیک در مرکز سنندج - سیرجان، توالی آتشفشانی-رسوبی مزوزوئیک در یک محیط کافت قاره‌ای در بالای پهنه فرورانش نئوتتیس نهشته شده است (Azizi and Stern, 2019; Hunziker et al., 2015)، در حالی‌که بیشتر زمین شناسان به‌کمک ویژگی‌های زمین‌شیمیایی توده‌های درونی ژوراسیک، یک محیط حاشیه فعال کمان قاره‌ای را برای این پهنه پیشنهاد کرده‌اند که در نتیجه فرورانش نئوتتیس و بسته شدن تتیس کهن پدیدار شده‌اند (Berberian and Berberian, 1981; Shahbazi et al., 2010; Sepahi et al., 2018). به عنوان نمونه متابازیت‌های ناحیه قروه (شمال خاوری سنندج -سیرجان) همراه با میان‌لایه‌های مرمر و شیست مشاهده می‌شوند و در برخی قسمت‌ها مورد تهاجم دایک‌های اسیدی قرار گرفته‌اند. سن کانی‌های زیرکن به دست آمده از متابازیت‌ها (۱۴۴ تا ۱۴۵ سال، ژوراسیک پسین) بیانگر خاستگاه کافت درون قاره است که می‌تواند مرتبط با آتشفشانی‌های زیردریایی باشد (Azizi et al., 2018; Gholipour et al., 2021). همچنین فعالیت ماگمایی شمال مریوان، ۱۵۰ تا ۱۷۰ میلیون سال تعیین شده است و پس از ۲۰ میلیون سال، سنگ‌های آتشفشانی بازالت و آندزیت در ۱۱۰ تا ۱۳۰ میلیون سال (بارمین تا آپتین) همراه با شیل و آهک با ضخامت ۲۰۰۰ متر نهشته شده‌اند (Rahimzadeh et al., 2021). ولکانیسم بایمودال در کافت‌ها و حوضه‌های کششی تولئیتی و آلکالن مانند کافت شرق آفریقا نیز دیده می شود (Bouabdellah et al., 2015). در ژورا سیک آغازین- میانی حوضه‌های کششی نابالغ مانند نایین-بافت در حاشیه‌ی خردقاره شرق-ایران مرکزی ایجاد شده که با ماگماتیسم بایمودال همراه هستند (Ghasemi and Talbot, 2006; Mehdipour Ghazi et al., 2012). پژوهشگران بیان کرده‌اند بیشتر این سنگ‌ها از ناحیه بالای فرورانش درون صفحه‌ای یا محیط فرافرورانش (supra-subduction) هستند که درون حوضه اقیانوسی نئوتتیس بین خردقاره شرق-ایران مرکزی و نوار سنندج-سیرجان شکل گرفته‌اند (Shirdashtzadeh et al., 2010). پژوهش‌های قبل‌تر اشاره می‌کردند کمربند فلززایی ملایر-اصفهان بر روی لبه حوضه کششی نایین-بافت تشکیل و در جایگاه ساختاری پشت قوسی جای دارند و بسیاری از کانسارهای روی-سرب با میزبان کربناته در حوضه‌های فروزمینی حاصل زمین‌ساخت کششی کرتاسه پیشین پدید آمده‌اند (Mohajjel and Ferguson, 2000; Rajabi et al., 2012; Boveiri Konari et al., 2016; Rajabi et al., 2024). سن‌های رادیومتریک اورانیوم-سرب زیرکن آمفیبولیت‌ها نشان می‌دهد ناحیه نایین - بافت یک حوضه اقیانوسی پشت کمان گسترش یافته در کرتاسه پسین است (Agard et al., 2011). باز شدن این حوضه باریک پشت کمان همزمان با فعالیت ولکانیسم و پلوتونیسم مرتبط با ۷۷ تا ۸۲ میلیون سال است (Hosseini et al., 2017). کوهزایی لارامید سبب بسته شدن حوضه پشت کمان نایین-بافت در کرتاسه پسین شده است (Alavi, 1994). به باور شاکر اردکانی (Shakerardakani et al., 2015)، مطالعات سن‌سنجی K/Ar، Ar/Ar، Rb/Sr و U/Pb نشان می‌دهد چندین مرحله دگرشکلی در سنگ‌های پهنه سنندج - سیرجان دیده شده است: اولی در ۱۸۰ میلیون سال و دومی طی ۶۵-۱۲۰ میلیون سال قبل رخ داده است. فاز کوهزایی سیمرین با بسته‌شدن پالئوتتیس و تبدیل

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

نهشته‌های سکوی کربناته پرمین-تریاس به رسوبات سیلیسی-آواری سازند شمشک با سن تریاس پسین تا ژوراسیک پیشین همراه است (Horton et al., 2008; Fursich et al., 2009). پس از کوهزاد سیمرین و برخورد صفحه ایران با توران (اوراسیا)، صفحه ایران در آغاز ژوراسیک پسین از اوراسیا جدا می شود (Wilmsen et al., 2015). رخدادهای اصلی تکتونیکی مرتبط با کوهزاد سیمرین پسین در فواصل ژوراسیک-کرتاسه با بلوک‌های گسلی شده، نهشتگی لایه‌های قرمز و کنگلومرا با ضخامت ۳۵۰ متر و نبود چینه‌نگاری متمایز می‌شوند (Wilmsen et al., 2015). اگرچه قاسمی و همکاران (Ghassemi et al., 2023) آن را از نوع کوهزاد ندانسته و بر این باورند که ناپیوستگی پایه توالی کرتاسه حاصل پیشروی گسترده دریای کرتاسه در سراسر جهان است که در کرتاسه پسین به اوج خود می‌رسد. اغلب پژوهشگران معتقدند دگرگونی ناحیه‌ای و دگرشکلی شکل‌پذیر در سنگ‌های پهنه سنندج - سیرجان در این زمان و در نتیجه فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر نوار سنندج - سیرجان (Sadeghi et al., 2016) و ایران مرکزی و برخورد مورب میان آنها رخ داده است (Shahbazi et al., 2010; Verdel et al., 2011; Sheikholeslami et al., 2019). در توالی رسوبی قائم چینه‌ای مزوزوئیک در سراسر نوار سنندج - سیرجان از میزان آواری‌هایی همچون کنگلومرا، شیل و ماسه‌سنگ کاسته و به سمت افق‌های بالا بر میزان دولومیت و آهک جوان‌تر افزوده می‌شود. سنگ‌های رسوبی تریاس با ضخامت ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر به‌طور ناپیوسته توسط رسوبات ژوراسیک با ضخامت ۷۰۰ تا ۳۰۰۰ متر پوشیده می‌شوند. سپس رسوبات ژوراسیک دگرشکلی پیدا کرده و به صورت دگرشیب بوسیله شیل و آهک کرتاسه پوشانیده می شوند. یکی از مهم‌ترین رخدادهای کرتاسه، جایگیری افیولیت‌ها در حاشیه غربی پهنه سنندج- سیرجان است. همراه با افیولیت‌ها، سری آهک‌های پلاژیک و رادیولاریت در نواحی کم‌ژرفا مشاهده می‌شود. از دیگر ویژگی‌های تکتونیکی خاص پهنه تکتونیکی- رسوبی سنندج- سیرجان وجود گسل‌های پی سنگی وارون شده مثبت (positive inverted fault) است که در زمان کرتاسه پیشین به صورت کششی و در زمان پالئوسن به صورت معکوس عمل کرده‌اند (Tadayon, 2013; Mohajjel et al., 2014).

زمین‌شناسی جنوب اراک

کهن‌ترین سنگ‌های گسترش یافته در جنوب اراک مربوط به توالی ضخیم سنگ‌های رسوبی کمی دگرگون شده متعلق به اواخر تریاس- ژوراسیک میانی است که معمولاً ریخت‌شناسی نرم و تپه ماهوری ایجاد کرده‌اند. بخش های زیرین این واحد ژوراسیک از سریسیت-کلریت شیست چین‌خورده با رنگ سیاه تا خاکستری تیره تشکیل شده است. این سنگ‌ها در طی فرایند کوهزایی اکباتانی که از ژوراسیک تا کرتاسه فعال بوده است، در درجات پایین رخساره شیست سبز دیده می شوند (Ghassemi et al., 2023) و در پهنه سنندج-سیرجان با نام فیلیت‌های همدان شناخته می شوند (Alavi, 1994). سنگ‌های ژوراسیک میانی از شیل‌های رسی و سیلت‌های فیلیتی نازک‌لایه همراه با ماسه‌سنگ گریوکی آغشته به اکسید آهن (متناوب با شیل دگرگون شده) تشکیل شده است که به صورت دگرشیب فیلیت‌های همدان را می‌پوشاند (Vaezi and Kholghi, 2007).

توالی سنگی کرتاسه زیرین (آپتین-آلبین) از قدیم به جدید به ۵ بخش چینه‌ای Kc، Km، Kl، Ks و Klu تقسیم شده است که به صورت پیوسته و هم‌شیب بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند (Thiele et al., 1968; Momenzadeh, 1976). نهشته‌های بخش زیرین (قاعده‌ای) کرتاسه (Kc) با دگرشیبی زاویه‌دار بر روی شیل و ماسه‌سنگ‌های تیره رنگ ژوراسیک قرار دارد. رسوبات قاعده‌ای نشانگر آغاز رسوبگذاری توالی کرتاسه در محیط ساحلی کم‌ژرفا - خشکی می‌باشد (Wilmsen et al., 2014). قاعده کرتاسه از میکروکنگلومرا و ماسه‌سنگ درشت‌دانه (Kc1)، ماسه‌سنگ بالایی (Kc2) و دولومیت ماسه‌ای و آهک نازک‌لایه (Kc3) تشکیل شده که در برخی مناطق بین لایه‌هایی از آندزیت و آندزیت‌بازالت حفره‌دار بر روی کنگلومرای قاعده کرتاسه مشاهده شده است (Sahandi et al., 2006). از آنجا که واحد آندزیت‌بازالت در همه جا رخنمون ندارد نهشته‌های کرم رنگ

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

لایه نازکی از مارن، دولومیت ما سه‌ای، شیل‌های دولومیتی، دولومیت آرژیلیکی، آهک رسی و آهک دولومیتی (Km) به‌طور پیوسته بر روی نهشته‌های آواری قاعده‌ای کرتا سه پیشین قرار دارد و به صورت هم شیب و تدریجی با آهک ضخیم‌لایه تا توده‌ای (Kl) حاوی فسیل‌های اربیتولین، ساقه کرینوئید، خرده های دوکفه‌ای و آثار جلبکی با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر و به رنگ خاکستری روشن پوشیده می‌شود. این توالی صخره‌ساز بوده و مربوط به پیشروی دریا در کرتاسه آغازین است. واحد سنگی بعدی متشکل از آهک دولومیتی همراه میان لایه‌های نازکی از مارن، شیل آهکی و آهک دولومیتی سیلیسی (Ks) است و تا حدود زیادی فرسایش یافته و هوازده شده است. رنگ خاکستری تیره که ناشی از فراوانی مواد آلی در لایه‌های شیل و آهک می‌باشد در اثر هوازدگی به رنگ زرد نخودی درآمده است. در شمال باختری گلپایگان هم‌ارز Ks، توالی ضخیمی از توف و سنگ‌های آتشفشانی دیده می شود. پس از آن توالی آهک توده‌ای اوربیتولین‌دار بالایی (Klu) با ضخامت ۱۰۰ متر بر روی افق‌های قبلی کرتاسه زیرین تشکیل شده است. از آنجا که واحدهای کرتاسه پیشین دگرگونی ضعیفی دارند فعالیت آلپی به‌ویژه کوهزاد لارامید (رویداد نایینی) نقش موثری در تغییر شکل‌ها داشته و سبب بافت‌های فولیاسیون و تبلور مجدد به‌ویژه در لایه‌های شیل شده است (Karimzadeh, 1992; Vanaei, 1998; Ghassemi et al., 2023). کلیه واحدهای چینه‌سنگی معرفی شده در بالا با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی به صورت مجموعه‌ای از چین‌خوردگی‌های متوالی محصور بین گسل های معکوس با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی به نظم شده‌اند. شایان ذکر است که الگوی چین‌خوردگی واحدهای تریاس و ژوراسیک که به صورت ناپیوستگی زاویه‌دار توسط رسوبات کرتاسه پوشیده شده است، دارای شدت دگرشکلی بیشتری نسبت به واحدهای کرتاسه منطقه است و سبب تکرار وسیع واحدهای رسوبی کرتاسه در تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منطقه شده است.

روش پژوهش

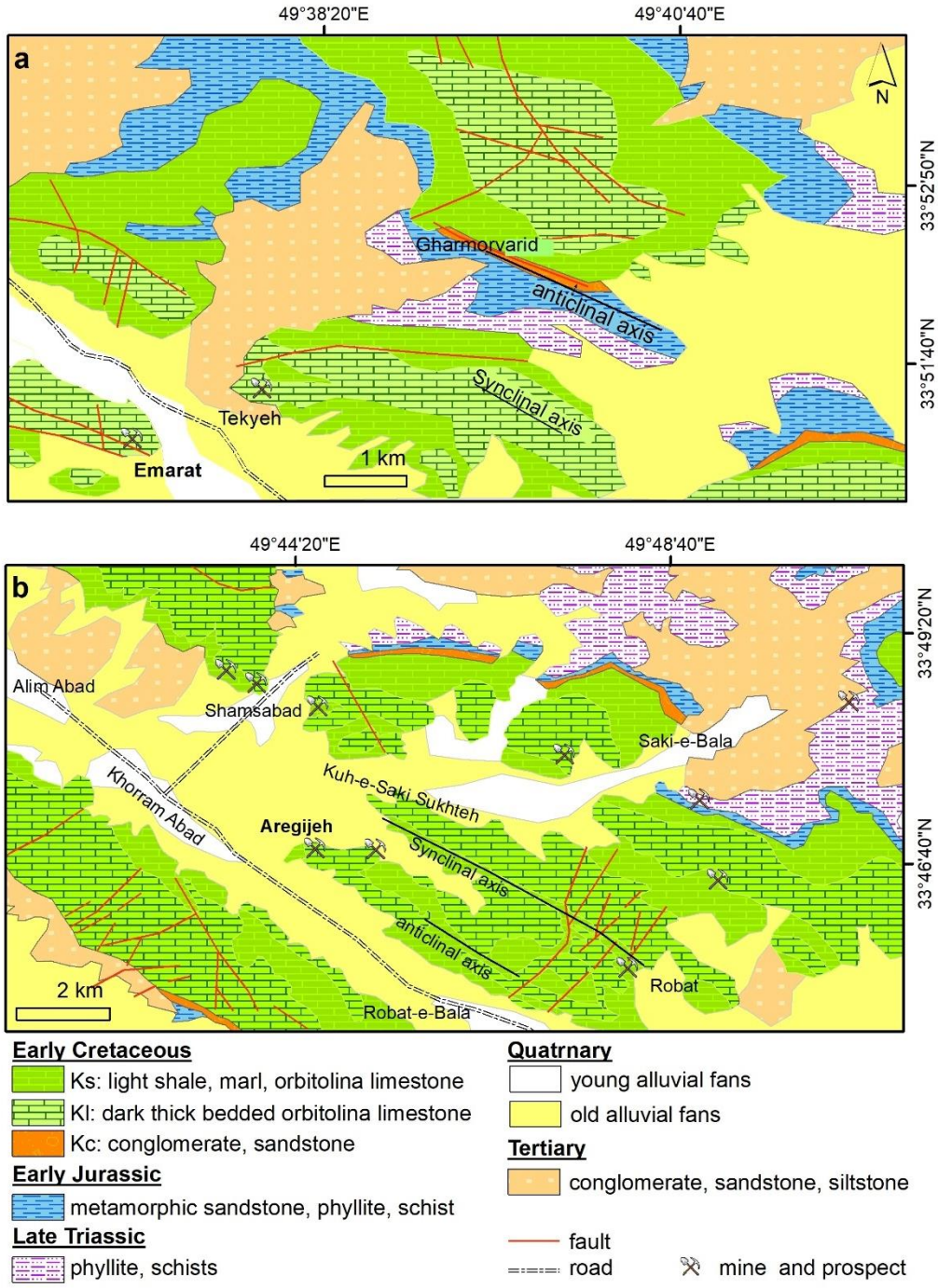
برای بررسی ویژگی‌های کانه‌زایی سرب و روی اره‌گیجه و مقایسه آن با کانسار عمارت، به‌ترتیب تعداد ۳۹ و ۲۵ نمونه سطحی از رگه‌های کانه‌دار، مناطق دگرسان و سنگ میزبان برداشت گردید. سپس تعداد ۲۷ نمونه مقطع نازک و نازک صیقلی جهت مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی کانسنگ و سنگ میزبان تهیه گردید. تعیین جایگاه چینه‌ای و ویژگی های ساخت، بافت و ارتباط بین کانه‌زایی و سنگ میزبان در بررسی‌های صحرایی و مطالعات میکروسکوپی مورد توجه قرار گرفت. سپس برش نازک میکروسکوپی از تعدادی از نمونه‌ها برای مطالعه با میکرو سکوپ دو منظوره عبوری- بازتابی بر روی مقاطع میکروسکوپی استاندارد با اندازه ۴۶ در ۲۷ میلی متر، تهیه، عکسبرداری و مطالعه گردید. پس از مطالعه کامل پتروگرافی، جهت شناخت ترکیب کانی‌شناسی و مطالعه نیمه کمی شیمی عناصر با دستگاه SEM، نقاط بر روی مقاطع مشخص و نمونه‌ها به‌مدت ۲۰ دقیقه جهت پوشش کربن در دستگاه قرار گرفتند و سپس ۲۱ نقطه بوسیله میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل JEOL JSM 7100F ساخت کشور ژاپن با ولتاژ ۱۵ کیلو الکترون ولت (kV) در دانشگاه مموریال کانادا مورد مطالعه قرار گرفت. با توجه به تکرار و تشابه ترکیبات فازی در نتایج SEM، از ارائه همه نقاط در بخش مربوطه صرف نظر شده است. تعداد ۵ مقطع دوبر صیقل از کانی‌های اسفالریت، کوارتز و کربنات همراه با نمونه‌های کانه‌دار با جهت برش مناسب برای بررسی‌های میانبارهای سیال با ضخامت ۱۰۰ میکرومتر تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور انجام مطالعات پتروگرافی و ریزدماسنجی بر روی میانبارهای سیال مناطق اره‌گیجه و عمارت، دوازده مقطع دوبرصیقل به ضخامت ۱۰۰ میکرون از کانی‌های کوارتز، کلسیت و اسفالریت تهیه شد. مطالعات میکرومتری در آزمایشگاه میانبارهای سیال گروه زمین شناسی دانشگاه اصفهان توسط دستگاه Linkam مدل THM600 با کنترل حرارتی TMS-9 و سردکننده LNP نصب شده بر روی میکروسکوپ ZEISS انجام شد.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

زمین‌شناسی و چینه‌نگاری مناطق اره‌گیجه و عمارت

شواهد صحرایی نشان می‌دهد چینه‌شناسی یکنواخت، نبود سنگ‌های آذرین و چین‌خوردگی مرکب از خصوصیات مشترک زمین‌شناسی مناطق اره‌گیجه و عمارت است. اگرچه رخنمون‌های محدودی از سنگ‌های آتشفشانی در کانسار آهن شمس‌آباد واقع در سه کیلومتری اره‌گیجه و میان لایه‌هایی از آندزیت و آندزیت بازالت در غرب شازند و نزدیکی عمارت دیده می‌شود (Sahandi et al., 2006). بر پایه برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورچه (Vaezi and Kholghi, 2007) و انطباق آن با برداشت‌های صحرایی، دو عضو از توالی‌های سنگی کرتاسه پیشین (Kl و Ks) بیشترین گسترش را در هر دو محدوده مطالعاتی دارند (شکل ۲). واحد سنگ آهک و آهک‌های دولومیتی اوربیتولین‌دار (Kl) ستبرلایه تا توده‌ای با رنگ خاکستری تیره سازنده اصلی ارتفاعات خشن منطقه است هرچند این واحد در منطقه عمارت گسترش وسیعتری دارد (شکل ۲-a). در منطقه اره‌گیجه ستبرای واحد Kl ۲۳۰ متر بوده و از لایه‌های آهک میکرایتی ستبر لایه، آهک درون آواری (اینترامیکریت)، آهک توده‌ای اوربیتولین‌دار کرم و آهک ستبرلایه اوربیتولین‌دار کرم رنگ تشکیل شده است (Adabi and Jamalian, 2006). رگه‌های کلسیت با ضخامت چند میلی‌متر تا سانتی متر در بخش‌های بالایی Kl که میزبان کانی‌سازی سرب و روی هستند، دیده می‌شود و با نزدیک شدن به لایه‌ی مارنی واحد Ks سیلیسی شدن شدت بیشتری پیدا می‌کند. این بخش متحمل تغییراتی همچون انحلال و تبلور مجدد کربنات ها شده و آثاری از دگرگونی ضعیف ناحیه‌ای و در برخی قسمت‌ها برگوارگی مبهمی نشان می‌دهد (شکل ۵-c). مطالعات چینه‌نگاری این واحد سنگی سن آن را آپتین-آلبین نشان می‌دهد (Adabi and Jamalian, 2006). اثر دیاژنز بر آهک های منطقه اره‌گیجه گزارش شده است که حاصل برهمکنش آب و سنگ با محلول جوی یا گرمابی می‌باشد (Adabi and Jamalian, 2006). آهک‌های اوربیتولین‌دار به‌صورت پیوسته و تدریجی به ردیفی از مارن، شیلهای آهکی، سنگ آهک‌های رسی با میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک‌های اوربیتولین‌دار (Ks) تبدیل می‌شود (شکل ۳). در منطقه عمارت، بافت‌های جهت‌یابی، صفحه‌ای شدن کانی‌ها، تبلور مجدد و شیستوزیته ضعیف بویژه در لایه‌های شیلی دارای مواد آلی قابل مشاهده است (شکل ۵-f) که بر اثر فاز کوهزایی نایینی (لارامین) در پایان کرتاسه (ماستریشتین) شکل گرفته است (Karimzade, 1992; Vanaei, 1998; Ehya et al., 2010; Ghassemi et al., 2023). این واحد ریخت‌شناسی نرم داشته و در صحرا خاکستری روشن تا زرد مایل به سبز روشن است (شکل ۳). جوانترین واحدهای دو منطقه مطالعاتی پادگانه های آبرفتی و مخروط افکنه های جوان دشت است. این ته‌نشست‌ها شامل رسوبات آواری سخت نشده یا کمی سخت شده است که از فرسایش واحدهای سنگی قدیمی‌تر رخنمون یافته به وجود آمده‌اند.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]



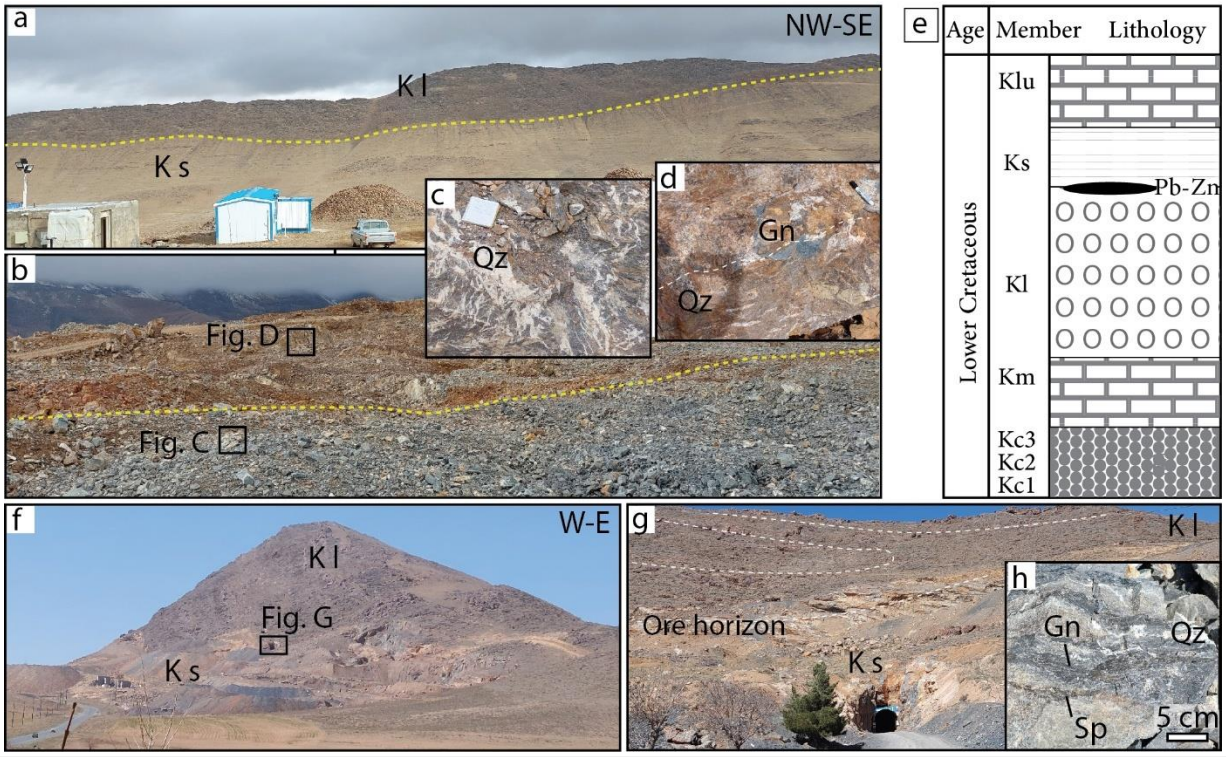
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ساده شده (براساس نقشه یکصد هزار ورچه)، a) منطقه اره‌گیجه، b) معدن عمارت (Vaezi and Kholghi, 2007).

Fig. 2. Simplified geologic map (from the 1:100000 Varcheh map) a) the Aregijeh area. b) the Emarat mine (Vaezi and Kholghi, 2007).

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

از نظر ساختاری به تبعیت از روند ساختاری پهنه سنندج-سیرجان، روند ساختاری غالب شمال‌غربی- جنوب شرقی به صورت مجموعه‌ای از چین‌خوردگی های متوالی محصور بین گسل های معکوس با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی واحدهای منطقه را شکل داده‌اند (شکل ۴). گسل پی‌سنگی و معکوس آب‌باریک با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی (N312-N319) و جهت شیب به سمت شمال شرق و با شیب میانگین ۶۲ درجه، ساختار اصلی کنترل‌کننده معماری ساختاری منطقه است (شکل ۴). گسل آب‌باریک سبب قرارگرفتن واحدهای ماسه سنگی و کنگلومرایی قاعده کرتاسه بر روی واحدهای سازند شمشک و ژوراسیک شده است. رانده‌شدن واحدهایی با سن جوانتر (کرتاسه) بر روی واحدهایی با سن قدیمی‌تر (ژوراسیک)، وارون شدن تکتونیکی گسل مرز حوضه‌ای آب‌باریک را نشان می‌دهد که در زمان کرتاسه به صورت کششی عمل کرده و سپس به صورت معکوس وارون شده است (Tadayon, 2013; Salehi and Tadayon, 2020).



شکل ۳- عکس‌های صحرایی محدوده مطالعاتی، a) تفکیک واحدهای چینه‌شناسی منطقه اره‌گیجه بر روی تصویر صحرایی، b) مرز واحد آهک اوربیتولین‌دار خاکستری با افق کانه‌زایی منطقه اره‌گیجه، c) نمای نزدیک از رگچه‌های کوارتز در واحد آهکی، d) نمای نزدیک از افق کانه‌دار با میزبان آهک سیلیسی در منطقه اره‌گیجه، e) ستون چینه‌شناسی کرتاسه پیشین و موقعیت کانه‌زایی کانسارهای عمارت و اره‌گیجه، h-f) چین‌خوردگی افق کانه‌دار در منطقه عمارت. حروف مخفف از (Whitney and Evans, 2010): Gn: گالن، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت.

Fig. 3. Field photos from study area, a) Differentiation of stratigraphic units of Aregijeh area on the field images. b) Orbitolina grey limestone boundary with ore horizon of Aregijeh. c) Close-up of quartz veinlets in limestone unit. d) Close-up of ore horizon within silicified limestone in Aregijeh area. e) Lithostratigraphic column of the Early Cretaceous and position of mineralization in Emarat and Aregijeh ore deposits, f-h) Folded ore horizon in Emarat area. Abbreviations used: Gn: galena, Qz: quartz, Sp: sphalerite.

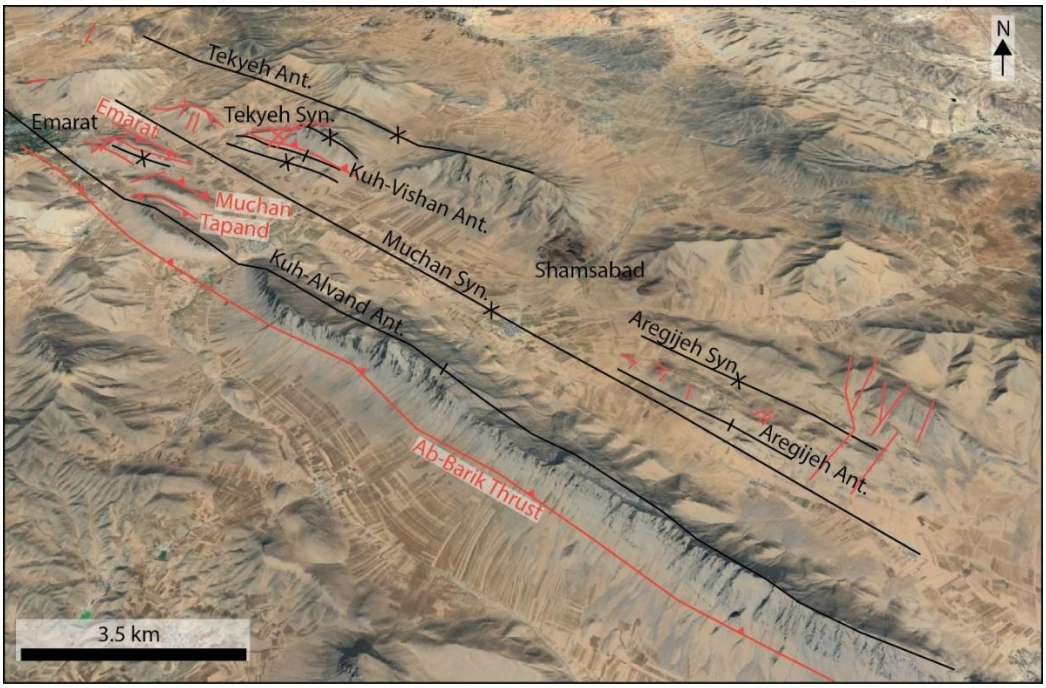
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

ساختارهای بزرگ مقیاس و اصلی منطقه با دید مقطع عرضی (cross-section) از ناحیه حدفاصل اره‌گیجه تا عمارت (شکل ۴) از سمت جنوب‌غرب به سمت شمال‌شرق، شامل ۱-گسل معکوس آب‌باریک، ۲- در فرادیواره گسل معکوس آب‌باریک تاقدیس کوه الوند با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، ۳- بلافاصله به دنبال آن ناودیس موچان با روند شمال‌غربی- جنوب شرقی، ۴-تاقدیس کوه ویشن و ۵- ناودیس و تاقدیس تکیه با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی می‌باشد. در این میان گسل‌های موازی آن همچون تپند، عمارت، موچان و تکیه با ساز وکار معکوس با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی نیز عمل کرده و در کنترل دگرشکلی منطقه نقش داشته‌اند.

جایگاه ساختاری کانسار اره‌گیجه بر روی پهلوی شمال‌شرقی تاقدیس اره‌گیجه و کانسار عمارت نیز بر روی پهلوی شمالی ناودیس موچان جای گرفته است (شکل ۴).

در منطقه دو سیستم گسلی اصلی با روندهای شمال باختری-جنوب خاوری (گسل‌های طولی موازی راستای محور چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های پی‌سنگی منطقه) و شمال خاوری-جنوب باختری (گسل‌های عرضی که تقریباً عمود بر راستای محور چین‌خوردگی‌ها) سبب دگریختی و پدیدآمدن چین‌های مرکب در دو واحد (Kl و Ks) شده است.

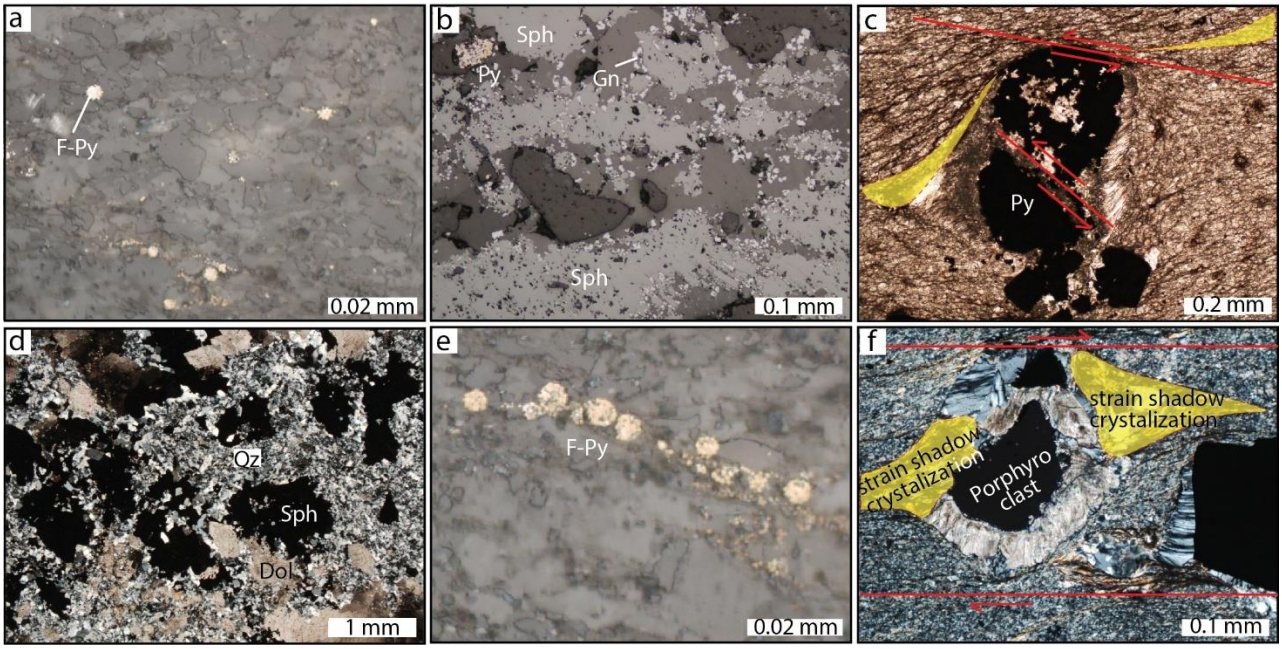
مطالعه میکروتکتونیکی مقاطع میکروسکوپی جهت‌دار حاوی کانه‌زایی در پهنه‌های برشی و گسلی مناطق عمارت و اره‌گیجه، نشانگر هاله رشدی کانی‌های جدید کوارتز، کربنات و بیوتیت به صورت دنباله‌هایی رشته‌ای، کشیده و نامتقارن که در منطقه سایه کرنشی (strain shadow) در دو سوی بلور پورفیروکلاست‌ها در حین تحمل تنش‌های جهت‌دار تشکیل شده است. از سوی دیگر این چنین الگوی رشدی سایه کرنشی نامتقارن نشانگر ساز و کار امتدادلغز راستگرد به همراه فشارش (ترافشارشی) در این پهنه‌های گسلی است (شکل ۵-c، f).



شکل ۴- عکس ماهواره‌ای اطراف کانسارهای عمارت و اره‌گیجه (از گوگل ارت، تصویر ۲۰۲۵)، با موقعیت محورهای تاقدیس‌ها و ناودیس‌ها و گسل‌های تراست و نرمال.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Fig. 4. Satellite photograph of the around the Aregijeh and Emarat deposits (from Google Earth; image 2025), with the position of syncline and anticline axis, and thrust and normal faults.



شکل ۵- تصاویر میکروسکوپ نوری a-c از منطقه اره‌گیجه: a) لامینه‌هایی از پیریت‌های دانه‌ریز فرامبوئیدال، b) پیریت بینابین اسفالریت و گالن رخ می‌دهد، c) رشد دولومیت و کوارتز رشته‌ای و نامتقارن در منطقه سایه کرنشی پورفیروکلاست پیریت در پهنه برشی با مولفه امتدادلغز راستگرد. تصاویر میکروسکوپی d-f از منطقه عمارت: d) دگرسانی معمول با سیلیسی دولومیتی نشان داده شده است، e) لامینه‌هایی از پیریت‌های فرامبوئیدال، f) رشد کوارتز رشته‌ای و نامتقارن در منطقه سایه کرنشی پورفیروکلاست پیریت در پهنه برشی با مولفه امتدادلغز راستگرد.

Fig. 5. Photomicrograph from optical microscopy a-c from Aregijeh, a) Laminations of fine-grained pyrite framboids, b) Pyrite occurring interstitially between sphalerite and galena. c) Peripheral growth of asymmetrical dolomite and quartz fibers at strain shadow zone of pyrite porphyroclast with in a right-lateral shear zone. Photomicrograph from optical microscopy d-f from Emarat, d) The common alteration is presented by silicification and dolomitization. e) Laminations of framboidal pyrites. f) Peripheral growth of asymmetrical quartz fibers at strain shadow zone of pyrite porphyroclast with in a right-lateral shear zone.

افق‌های کانه‌زایی و ساخت و بافت

کانه‌زایی روی و سرب در مناطق عمارت و اره‌گیجه به‌صورت چینه‌کران درون سنگ‌های کرتاسه پیشین رخ داده است. دگرسانی سیلیسی و کربناته (دولومیتی) در بخش‌های مختلف با شدت و گسترش متفاوت دیده می‌شود (شکل ۵). مشاهدات پتروگرافی موید آن است فاز گسترده دولومیتی‌شدن که ناشی از رخداد دیاژنز ناحیه‌ای است، سبب افزایش نفوذپذیری و تخلل سنگ شده است (شکل ۶). دولومیت‌های ریزبلور و بی‌شکل در طی دیاژنز رسوبات آهکی شکل گرفته است و دولومیت‌های گرمابی مرتبط با کانه‌زایی درشت و شکل‌دار هستند (شکل ۷-c). دولومیتی شدن بیشتر در واحد آهک ضخیم لایه و سیلیسی شدن به‌صورت ریزدانه و درشت‌دانه در بخش کانه‌زایی شده سنگ مشاهده می شود. از ویژگی‌های هر دو کانسار فراوانی غیر معمول کوارتز است. کوارتز دانه‌ریز پیش از کانه‌زایی و کوارتزهای دانه‌درشت همراه با کانه‌زایی شکل گرفته است. ماده معدنی بیشتر از نوع اسفالریت، گالن، پیریت و کمتر کالکوپیریت است. بافت‌های برشی، رگه-رگچه، جانشینی، افشان، شکل‌دار، پرکننده فضای خالی، لامینه‌ای، تبلور مجدد و فرامبوئیدال از بافت‌های متداول می‌باشد. در ادامه به شرح جداگانه هر کانسار پرداخته می‌شود.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

اره‌گیجه

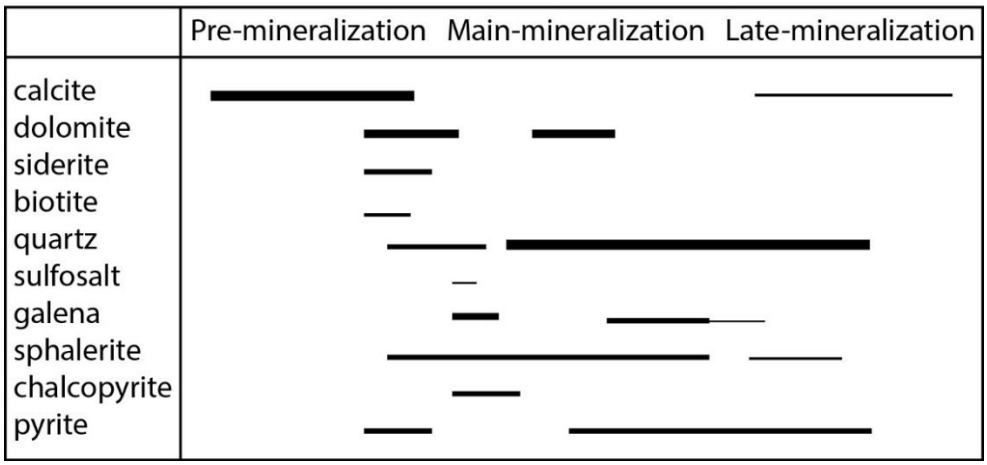
از نظر ساختاری محدوده معدنی کانسار اره‌گیجه بر روی پهلوی شمال شرقی تاقدیس اره‌گیجه واقع شده است (شکل‌های ۲-b و ۴). جایگیری ماده معدنی در اره‌گیجه هم روند با لایه‌بندی سنگ‌های کرتاسه پیشین بوده و در سه جایگاه چینه‌ای مشاهده می‌شود. ضخامت افق اصلی کانه‌زایی ۲ تا ۳ متر بوده هرچند در چین‌ها بیشتر می‌شود. این افق در بخش بالایی آهک توده‌ای واحد Kl که بشدت سیلیسی شده هم مرز با مارن‌های واحد Ks به صورت ناپیوسته جای گرفته است و دارای رخنمون طولی بیش از یک کیلومتر است. افق دوم همراه با رگه‌های سیلیسی به‌موازات لایه‌بندی و با پهنای ۲۰ سانتی‌متر تا کمتر از یک متر به‌صورت پیوسته و درون آهک‌های نازک لایه واحد Ks مشاهده می‌شود. ضخامت رگه‌های سیلیسی بین ۲ تا ۵ سانتی‌متر تغییر می‌کند. آغشتگی هماتیتی- لیمونیتی بر روی رگه‌ها مشاهده می‌شود. علاوه بر رگه‌ها کانه‌زایی به‌صورت پرکننده حفرات کوچک، رگچه‌های ظریف و جانشینی هم دیده می شود. افق سوم که اهمیت اقتصادی ندارد همراه با رگه‌های سیلیس و کلسیت دارای پیریت فراوان است که به‌صورت لامینه در شیل خاکستری تیره تا سیاه مشاهده می شود. به‌دلیل اکسایش کانی پیریت، واحد مارنی به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شود.

نتایج SEM نشان می‌دهد لامینه‌های پیریت‌های فرامبوئیدال در زمینه دولومیت‌های آهن‌دار مشاهده می‌شوند که توسط پیریت‌های درشت بلور، گالن و اسفالریت جانشین می‌شوند (شکل ۷-a و b). مشاهدات پتروگرافی نشانگر آن است که اندازه دانه‌های پیریت کمتر از ۱۰ میکرومتر است و می‌تواند بیانگر شرایط کاملا anoxic محیط باشد (شکل ۵-a) (Wilkinson., 2001; Bond and Wignall, 2010). سولفیدهای روی، سرب و آهن در مرحله آغازین دیاژنز، به‌طور نسبی جانشین گلسنگ و پیریت‌های فرامبوئیدال شده‌اند (شکل‌های ۵-e، ۶ و ۷-b). سیدریت و سولفوسالت آنتیموان- نقره از جمله فازهایی هستند که همراه با کانه‌زایی در اره‌گیجه شناسایی شدند (شکل ۷-h).

عمارت

از نظر ساختاری کانه‌زایی اصلی روی و سرب عمارت بر روی یال شمالی ناودیس برگشته موچان در یک افق اصلی بشدت سیلیسی واقع شده است. این افق با ضخامت بین ۳ تا ۶ متر در میزبانی بخش بالایی سنگ‌های آهکی ستبر لایه توده‌ای اوربیتولین‌دار سازند Kl قرار گرفته است. توزیع این افق کانه‌زایی به‌صورت لایه‌ای و ارتباط نزدیکی با شکل ناودیس دارد. کانی‌زایی شامل اسفالریت، گالن، کمتر پیریت و کالکوپیریت همراه با کانی‌های کلسیت، کوارتز و سیدریت می‌باشد که با مشاهدات کریم‌زاده (Karimzadeh, 1992) و ونایی (Vanaei, 1998) همخوانی دارد. حضور بیوتیت در بخش‌هایی از کانسار در نتایج SEM نشانگر متاسوماتیسم پتاسیم است که توسط کانی‌های سولفیدی قطع شده‌اند (شکل ۷-f). کانه‌زایی در افق دوم از نوع چینه‌کران و به‌صورت رگه/رگچه و یا افشان بوده و از نوع پیریت فرامبوئیدال، کوارتز و کلسیت در بخش شیل و آهک مارنی تیره سازند Ks رخ داده است.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

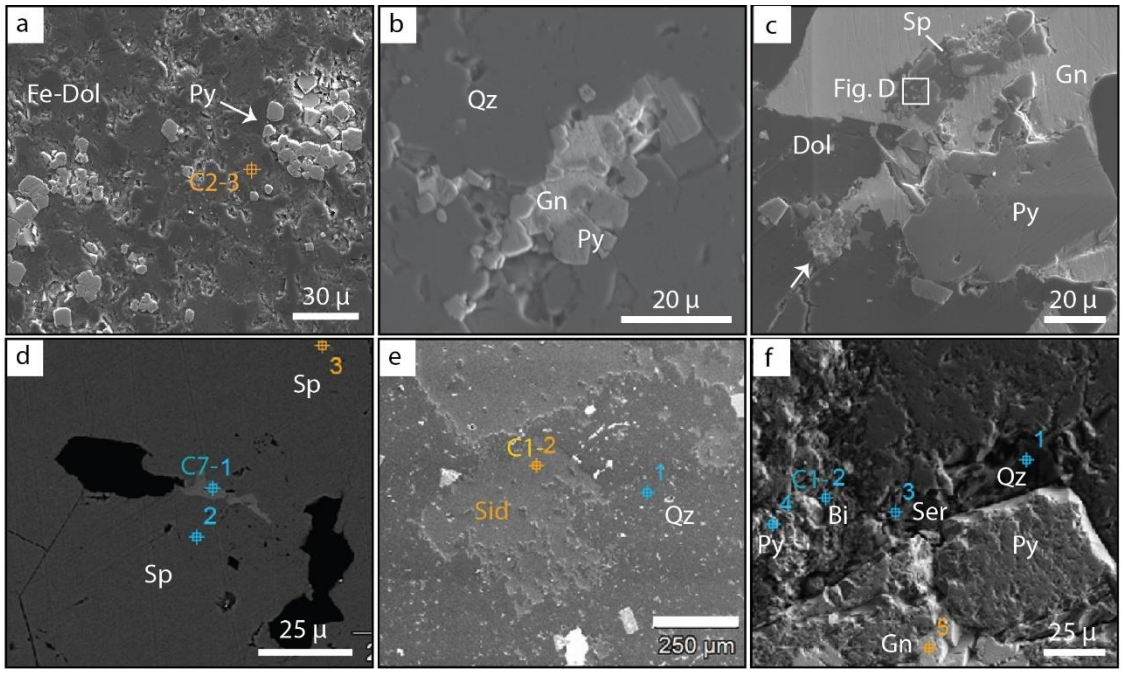


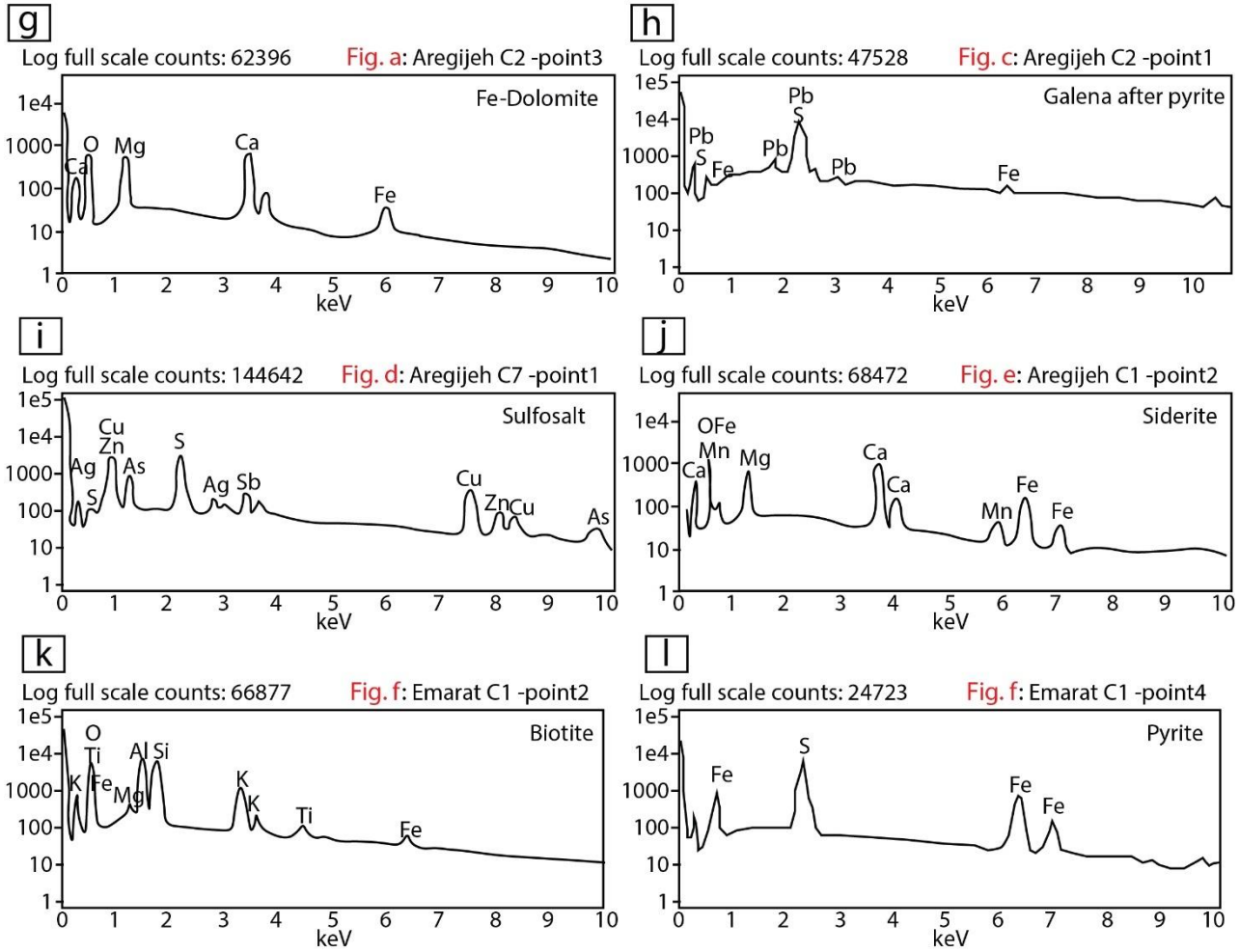
شکل ۶- توالی پاراژنتیک کانه‌ها در کانسارهای اره‌گیجه و عمارت.

Fig. 6. Paragenetic sequence of mineral deposition of Aregijeh and Emarat deposits.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]





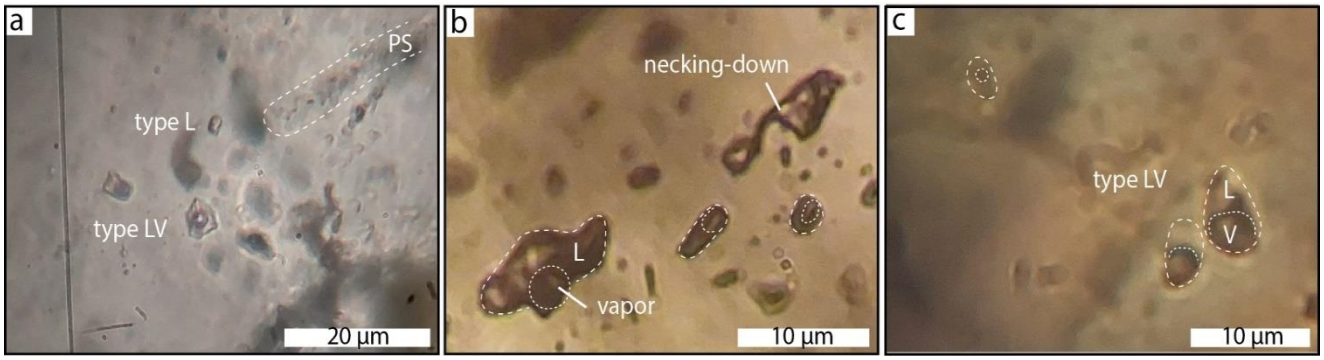
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

شکل ۷- تصاویر SEM-BSE از مجموعه کانی‌های درون کانسارهای اره‌گیجه (a-e) و عمارت (f)، a) پیریت‌های فرامبوئیدال در میزبان دولومیت‌های آهن‌دار، b) دو نسل پیریت فرامبوئیدال و شکل‌دار و تشکیل گالن در بین آن‌ها، زمینه کوارتز و دولومیت آهن‌دار است، c) نمای نزدیک‌تر از شکل b، پیریت‌های فرامبوئیدال در حال تبدیل به پیریت‌های در شت‌بلور، گالن، سولفو سالت و اسفالریت در زمینه دولومیت آهن‌دار و کوارتز. d) بزرگ‌نمایی بیشتر ادخال سولفو سالت درون اسفالریت، e) همراهی سیدریت و کوارتز با کانه‌زایی، f) پیریت بلوری و گالن در زمینه کانی‌های کوارتز، سریسیت و بیوتیت. h) گالن جانشین پیریت می شود و در هنگام تجزیه، افزون بر سرب و گوگرد، آهن نیز وجود دارد. حروف اختصاری از (Whitney and Evans, 2010)؛ Bi: بیوتیت، Fe-Dol: دولومیت آهن‌دار، Gn: گالن، Py: پیریت، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت، Sd: سیدریت و Sp: اسفالریت.

Fig. 7. SEM-BSE images of mineral assemblages within the Aregijeh (a-e) and Emarat (f) ore deposits. a) Pyrite framboids within Fe-bearing dolomite. b) Two generation of pyrite (framboidal and euhedral) and galena formation between them, c) Close up of B, framboid pyrites convert to euhedral coarse-grained pyrite. galena, sulfosalt and sphalerite in quartz and Fe-bearing dolomite aggregate. d) Higher magnification of sulfosalt inclusion within sphalerite. e) Siderite and quartz association with mineralization. f) pyrite crystal and galena in quartz, sericite and biotite minerals. h) Galena replaces pyrite, and during decomposition, in addition to lead and sulfur, iron is also present. Abbreviations: Bi: biotite, Fe-Dol: iron-bearing dolomite, Gn: galena, Py: pyrite, Qz: quartz, Ser: sericite, Sd: siderite, Sp: sphalerite.

میانبارهای سیال

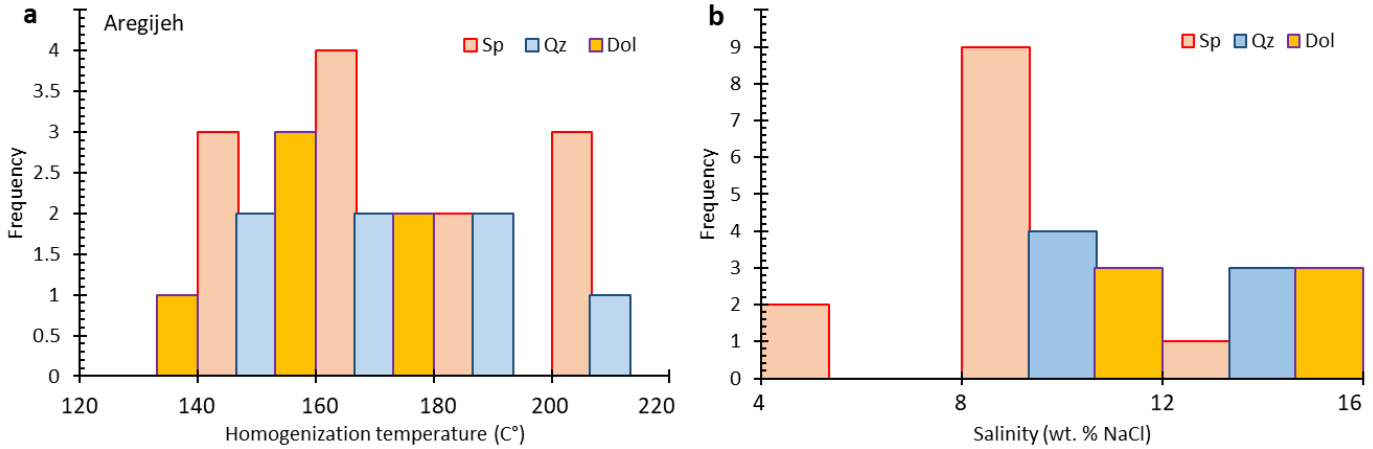
سنگ‌نگاری میانبارهای سیال اولیه در کانی‌های اسفالریت، کوارتز و کلسیت مورد مطالعه قرار گرفتند. میانبارهای منطقه اره‌گیجه به شکل‌های کروی، دوکی شکل، بیضوی و بی‌شکل با اندازه متوسط ۵ تا ۱۵ میکرون است (شکل ۸). بر اساس تقسیم‌بندی شفرد و همکاران (Shepherd et al., 1985) میانبارها از نوع دو فازی مایع-بخار و تک فازی مایع هستند و اندازه‌گیری دماسنجی بر روی میانبارهای اولیه انجام گرفته است. بر اساس بررسی‌های ریزدماسنجی دامنه تغییرات دمای همگن‌شدگی آنها (Th) بین ۱۲۵ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۹-a). دمای یوتکتیک اندازه‌گیری شده میانبارهای دوفازی برای اسفالریت و کوارتز در حدود ۲۴- درجه سانتی‌گراد و برای دولومیت ۲۸- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای ذوب آخرین قطعه یخ ثبت شده (Tm_{ice}) ۴/۸- تا ۹/۸- درجه سانتی گراد بوده که بر این اساس شوری بین ۷/۵۹ تا ۱۳/۷۲ درصد معادل نمک طعام به دست آمد (شکل ۹-b). مطالعه میانبارهای سیال عمارت نشان می‌دهد که میانبارهای سیال کشیده، کروی و بی شکل با اندازه ۸ تا ۱۶ میکرون و بیشتر از نوع دو فازی هستند. دمای همگن شدگی آنها در محدوده ۱۳۰ تا ۲۱۷ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است (شکل ۱۰-a). تغییرات دمای یوتکتیک در میانبارهای دوفازی کوارتز ۲۲- تا ۲۷- درجه سانتی‌گراد، در دولومیت ۲۶- تا ۲۹- درجه سانتی‌گراد و در اسفالریت ۲۳- تا ۲۷- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. دمای ذوب آخرین قطعه یخ ۴/۸- تا ۱۶/۵- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است. شوری محاسبه شده ۷/۵۹ تا ۱۹/۸۴ درصد معادل نمک طعام می‌باشد (شکل ۱۰-b).



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از میانبارهای سیال در میزبان کانی‌های کوارتز، اسفالریت و دولومیت از اره‌گیجه و عمارت (PPL). a) میانبارهای تک فازی و دو فازی در مجاورت ردیفی از میانبارهای ثانویه دروغین، b) پدیده باریک‌شدگی در خوشه‌ای از میانبارهای سیال LV درون اسفالریت، c) میانبارهای سیال دو فازی اولیه در دولومیت.

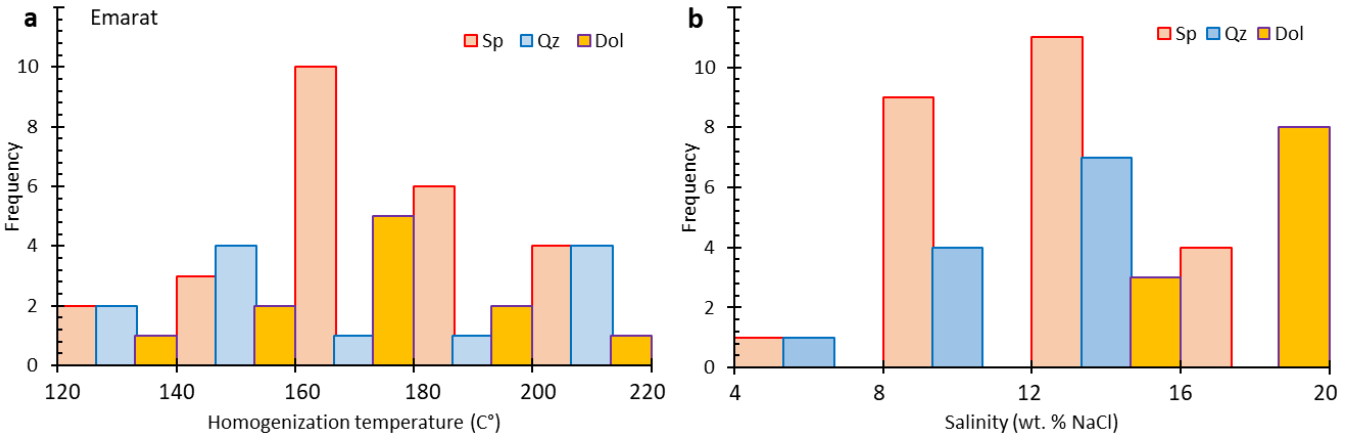
[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Fig. 8. Photomicrograph of fluid inclusions hosted in quartz, sphalerite, and dolomite minerals from Aregijeh and Emarat (PPL). a) two-phase and single-phase P inclusions adjacent to a trail of a PS (pseudo secondary) inclusions plan entrapped within the quartz, b) necking down phenomenon in a cluster of type LV fluid inclusions within the sphalerite. c) primary two-phase fluid inclusions in dolomite.



شکل ۹. نمودار a) فراوانی دمای همگن‌شدگی و b) شوری میانبارهای سیال در اسفالریت (Sp)، کوارتز (Qz) و دولومیت (Dol) از اره‌گیجه.

Fig. 9. Histograms of a) homogenization temperature and b) salinity of fluid inclusions in sphaletite (Sp), quartz (Qz), and dolomite (Dol) from Aregijeh.



شکل ۱۰. نمودار a) فراوانی دمای همگن‌شدگی و b) شوری میانبارهای سیال در اسفالریت (Sp)، کوارتز (Qz) و دولومیت (Dol) از عمارت.

Fig. 10. Histograms of a) homogenization temperatures and b) salinities of fluid inclusions in sphaletite (Sp), quartz (Qz), and dolomite (Dol) from Emarat.

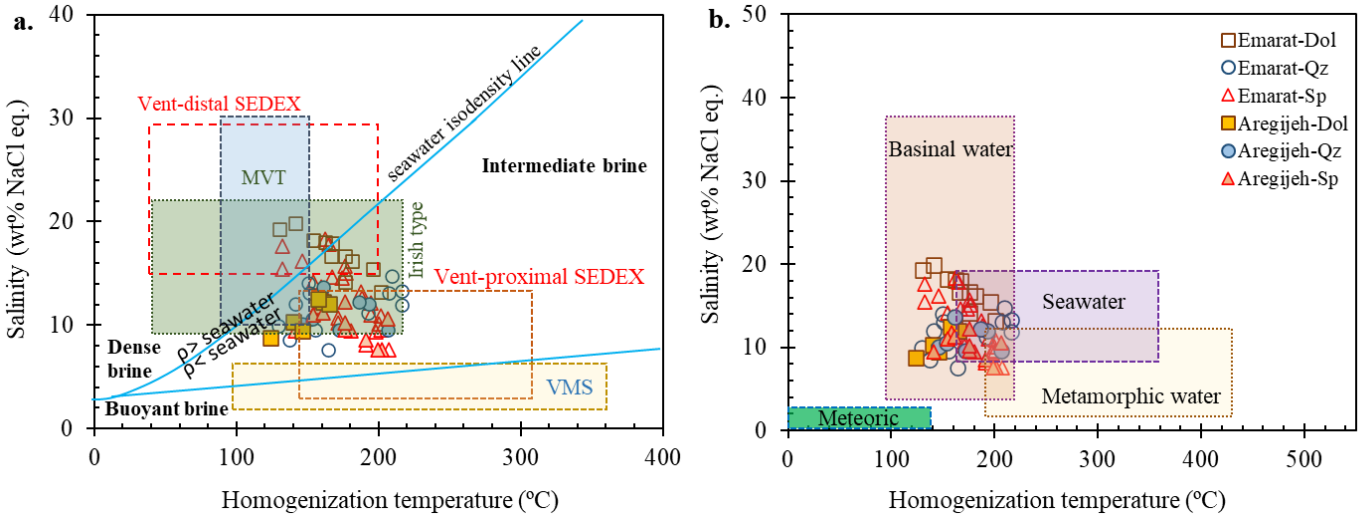
جدول ۱- نتایج ریزدماسنجی میانبارهای سیال کانسارهای اره‌گیجه و عمارت (n تعداد نمونه‌ها، Tm_{ice} دمای ذوب نهایی یخ، Th دمای همگن‌شدگی، L فاز مایع و V فاز بخار)

Table 1. Microthermometric results of fluid inclusions from Aregijeh and Emarat deposits.

area	sample	host mineral	type	Th (◦C)	n	Tm_{ice} (◦C)	salinity (wt.% NaCl eq)
Aregijeh	SA-12	sphalerite	L+V	142 to 207	6	-4.8 to -8.5	7.59 to 12.28
	SA-8	dolomite	L+V	125 to 166	6	-5.7 to -8.7	8.81 to 12.51
	SA-7	quartz	L+V	147 to 207	13	-6.7 to -9.8	10.11 to 13.72

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Emarat	SE-8	sphalerite	L+V	133 to 166	7	-9.8 to -14.6	13.72 to 18.30
	SE-11	sphalerite	L+V	168 to 202	6	-6.3 to -11.8	9.6 to 15.76
	SE-4	sphalerite	L+V	155 to 208	12	-4.8 to -11.1	7.59 to 15.07
	SE-7	dolomite	L+V	131 to 202	11	-9.3 to -16.5	13.18 to 19.84
	SE-8	quartz	L+V	130 to 165	7	-4.8 to -10.1	7.59 to 14.04
	SE-11	quartz	L+V	193 to 217	3	-7.6 to -10.8	11.22 to 14.77
	SE-4	quartz	L+V	208 to 217	2	-8.2 to -9.2	11.93 to 13.07



شکل ۱۱- a) نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری (معادل درصد نمک طعام) که نشان می‌دهد میانبارهای سیال در محدوده کانسارهای نوع ایرلندی قرار گرفته‌اند (Wilkinson et al., 2009; compiled by Rajabi et al., 2015 and Yarmohammadi et al., 2016)، b) نمودار محدوده‌های آب مختلف پیشنهادی از کسلر (Kesler, 2005).

Fig. 11. a) Homogenization temperatures versus salinities equivalent % NaCl diagram of Wilkinson et al., 2009; compiled by Rajabi et al., 2015 and Yarmohammadi et al., 2016 showing that fluid inclusions are plotted on the Irish-type area. b) Diagram of various water fields proposed by Kesler, 2005.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار

برمبنای مطالعات میانبارهای سیال، دمای اندازه‌گیری شده در کانسار اره‌گیجه بین ۱۲۵ تا ۲۰۷ درجه سانتی‌گراد و شوری محلول کانه‌دار بین ۷/۵۹ تا ۱۳/۷۲ درصدوزنی معادل نمک طعام با چگالی بین ۰/۹ تا ۱/۰ و در کانسار عمارت بین ۱۳۱ تا ۲۱۷ درجه سانتی‌گراد و شوری ۷/۵۹ تا ۱۹/۸۴ در صدوزنی معادل نمک طعام با چگالی بین ۰/۹ تا ۱/۱ تغییر می‌کند (جدول ۱). داده‌های میانبارهای سیال هر دو کانسار در نمودار دوتایی دمای همگن‌شدگی در برابر شوری یک روند رقیق‌شدگی و اختلاط با آب‌های سطحی را نشان می‌دهد هر چند روند جوشش نیز در داده‌های هر دو کانسار قابل مشاهده است (شکل ۱۱-a). با توجه به مقایسه آنها با سایر انواع کانسارهای روی و سرب، در محدوده کانسارهای روی و سرب ایرلندی نزدیک به کانسارهای بروندمی-رسوبی قرار گرفته‌اند و محلول‌های کانه‌ساز از آب‌های شورابه‌ای مشتق شده‌اند (شکل ۱۰-b). نکته مشابه در میانبارهای عمارت و اره‌گیجه، مقادیر دمای یوتکتیک بین ۲۲- تا ۲۹- درجه سانتی‌گراد است که با سیستم شوری متوسط (۱۵ تا ۲۵ درصد وزنی نمک طعام) و ترکیب H_2O-NaCl-KCl تطابق دارد (Sterner et al., 1992). حضور KCl می‌تواند مرتبط با انحلال پتاسیم فلدسپار و یا کانی‌های رسی طی واکنش آب-سنگ در هنگام تدفین رسوبات یا چرخش ژرف آب در پی‌سنگ در دماهای حداقل ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد (Baccar et al., 1993). شوری متوسط می‌تواند منتج از تعامل سیالات شور با پی‌سنگ و یا رسوبات

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

فلزدار (منشا پوسته‌ای با ایزوتوپ سرب نشان داده شده است، Ehya et al., 2010) با شد، همانگونه که برای سیالات کانه‌دار کانسارهای ایرلندی پیشنهاد شده است (Fusswinkel et al., 2013; Wilkinson, 2014, Mu et al., 2021). بر ا ساس داده‌های تجربی هاس (Haas, 1971; Haas, 1976) و بودنار و همکاران (Bodnar et al., 1985)، فشار به دام افتادن سیالات برای هر دو کانسار کمتر از ۵۰ بار به دست آمد. با توجه به میانگین چگالی، عمق کانه‌زایی کمتر از ۵۰۰ متر زیر سطح ایستابی قدیمی تخمین زده می‌شود (Roedder and Bodnar, 1980; Peter and Scott, 1999) و از این‌رو کانه‌زایی در یک محیط کم‌ژرفا شکل گرفته باشد.

بحث

در گذشته، تشکیل کانسارهای سرب و روی کمربند فلززایی ملایر- اصفهان اغلب به زمین‌درز زاگرس (Ehya et al., 2010) و یا حوضه پشت قوسی نایین-بافت (Rajabi et al., 2012; Mohajjel and Fergusson, 2014) نسبت داده می‌شد. بر اساس آخرین پژوهش‌های صورت گرفته در مورد جایگاه تکتونیک سنندج- سیرجان شمالی، مرتبط با کافت محیط‌های کششی درون‌قاره‌ای معرفی شده است (Hunziker et al., 2015; Azizi et al., 2018; Azizi and Stern, 2019; Rahimzadeh et al., 2021). هدف اصلی این مطالعه بررسی فرایندهای کانه‌ساز با تاکید بر شواهد دیاژنتیک و محیط کششی حاکم بر تشکیل مراحل ابتدایی کانسارهای اره‌گیجه و عمارت بوده است. با وجود مطالعات پیشین عمارت (Ehya et al., 2010; Fazli et al., 2012) که آن را از نوع MVT معرفی کرده‌اند شواهد حاضر از جمله جایگاه چینه‌شناسی، حضور کانی‌های مس‌دار و سولفوسالت همراه با کوارتز، میکا و سیدریت در پاراژنز، بافت‌های برشی، رگه/رگچه و جانشینی، همراهی مراحل اولیه کانه‌زایی با رویدادهای کششی (دیاژنز) و شواهد اختلاط با سیالات گرمابی دما بالاتر در میانبارهای سیال، همخوانی بیشتری با مدل ایرلندی دارد که در دهه‌ی اخیر توسط ویلکینسون (Wilkinson, 2010) معرفی شده و از دیدگاه فرایندهای تکاملی، مدل ایرلندی از نوع MVT متمایز می‌شود. انتخاب این مدل به دلیل توانایی آن در تبیین بهتر نقش فرایندهای کششی و دیاژنز در کنترل کانه‌زایی است.

تطابق چینه شناسی توالی کرتاسه زیرین نشان داد که کانه‌زایی روی و سرب در کانسارهای اره‌گیجه و عمارت در دو افق تشکیل شده است. افق اصلی در بخش بالایی واحد آهک خاکستری اوربیتولین‌دار Kl هم مرز با واحد شیل و مارن آهکی Ks رخ داده که به‌صورت هم‌روند با لایه‌های کربناته آواری شکل گرفته است. افق دوم که فرعی می‌باشد در میان لایه‌های زرد رنگ مارن، شیل آهکی و آهک‌های نازک لایه واحد Ks است که کانه‌زایی سولفیدی ضعیفی در این افق دیده می شود. از نظر محیط رسوبی واحد Kl مربوط به پیشروی دریا است که میل به افزایش ژرفا و فرونشست حوضه کرتاسه آغازین را نشان می‌دهد. این فرایند با گسل‌های همزمان با رسوبگذاری و افزایش ضخامت رسوبات در حین ته‌نشست همراه است و در ادامه سنگ‌های واحد Ks که در محیط لاگونی کم‌ژرفا، کم انرژی، احیایی و گرم تا نیمه‌گرم نهشته شده‌اند (Karimzadeh, 1992). مشاهدات کانی‌شناسی (کوارتز، دولومیت، پیریت فرامبوئیدال و سیدریت) این پژوهش شواهد بازشدگی حوضه را تایید می‌کند. وانگن و مونز (Wangen and Munz, 2004) معتقد بودند رگه‌های ضخیم کوارتز نمی‌توانند از سیالات بالارونده داغ کف حوضه رسوبی شکل گرفته باشند و تجزیه رسوبات میزبان و مجاور می‌تواند سبب اشباع شدن سیالات دیاژنزی شده تا رگه‌های کوارتز شکل بگیرند. پژوهش‌های جدید از امینگز و همکاران (Emmings et al., 2020) نشان می‌دهد کوارتز در دیاژنز آغازین می‌تواند در محیط anoxic دریایی در اثر انحلال و تجزیه رسوبات آواری شکل گیرد. کوارتز با پایین آمدن pH آب درون سازندی، بالا بودن آلومینیوم یا اکسید آهن و یا فراوانی مواد آلی در محیط anoxic می‌تواند از شورابه‌ها ته‌نشین شود. این آب‌ها پتانسیل خوبی برای حمل گوگرد و فلزات دارند (Emmings et al., 2020). دولومیتی شدن فراگیر نیز به پدیده دیاژنز ناحیه‌ای اشاره دارد و حضور پیریت‌های فرامبوئیدال و سیدریت بیانگر محیط احیایی زیردریایی در دوره کرتاسه می‌باشد که با مطالعات پیشین انجام گرفته

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

بر روی ایزوتوپ‌های گوگرد سولفیدهای کانسار عمارت (Fazli et al., 2012) همخوانی دارد. مقایسه اندازه پیریت‌های فرامبوئیدال با دانه‌های سازنده سنگ میزبان بیانگر ته‌نشینی همزمان پیریت‌ها در کف دریا در همراهی با رسوبات آواری سخت نشده می‌باشد (Sawlowicz, 2000; Bond and Wignall, 2010). سولفیدهای روی، سرب و آهن در مرحله آغازین دیاژنز، به صورت ناقص جانشین گلسنگ‌ها و پیریت‌های فرامبوئیدال شده‌اند (شکل ۷-b). سیدریت‌ها (شکل ۷-e و i) در ابتدا تا مراحل میانی دیاژنز و در یک محیط دریایی کم‌اکسیژن شکل گرفته‌اند (Kozłowska et al., 2021). شورابه‌های پتاسیم‌دار که میکاها را پدید آورده‌اند، قبل از سولفیدهای گرمابی و در دمای پایین (کمتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد) در کانسارهای روی با میزبان آواری دانه‌ریز شکل می‌گیرند (Davidson, 1998; Magnall et al., 2023).

آرایش خطی کانسارهای روی و سرب با روند شمال‌غرب-جنوب‌شرق می‌تواند نشانگر زون تغذیه‌کننده برای کانسارهای اره‌گیجه و عمارت باشد (شکل ۱-b). نسبت‌های بالای Zn/Pb (فراوانی بیشتر اسفالریت به گالن) و Zn/Fe (فراوانی اسفالریت به پیریت) و وجود سولفوسالت‌های غنی از آنتیموان، نقره و آرسنیک از شواهد وجود زون تغذیه‌کننده در کانسارهای نوع ایرلندی هستند (Leach et al., 2010; Torremans et al., 2018) که با دورشدن از رگه-رگچه‌های بخش پرعیار، این نسبت‌ها کاهش می‌یابند. این زون‌بندی در کانسارهای نوع دره می سی سی‌پی دیده نمی شود (Leach et al., 2010). همچنین کاهش دمای میانبارهای سیال با دور شدن از بخش پرعیار و مهاجرت جانبی سیالات چینه‌کران همراه شده است. میانبارهای با دمای حدود ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در کانی‌های اسفالریت و کوارتز مرحله اصلی کانی‌زایی، شوری پایین‌تری نشان می‌دهند در حالی‌که در مراحل پایانی کانه‌زایی همزمان با سردشدن سیستم، شوری آن‌ها افزایش می‌یابد. این الگو می‌تواند نشان‌دهنده پدیده اختلاط سیالات با دماهای متفاوت (مانند سیال شورابه‌ای داغ و آب دریا) باشد که با نتایج حاصل از بررسی تغییرات ایزوتوپی در کانسار عمارت نیز همخوانی دارد (Fazli et al., 2012).

همانطور که گفته شد، گسل آب‌باریک سبب قرارگرفتن واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی قاعده کرتاسه بر روی واحدهای سازند شمشک و ژوراسیک شده است. که این موضوع رانده‌شدن واحدهایی با سن جوانتر (کرتاسه) بر روی واحدهایی با سن قدیمی‌تر (ژوراسیک) توسط گسل پرشیب نشانگر وارون‌شدن تکتونیکی گسل مرز حوضه‌ای آب‌باریک بوده که در زمان کرتاسه به صورت کششی عمل کرده و سپس با تغییر شرایط تکتونیکی از کششی به فشارشی به صورت معکوس وارون شده است (Tadayon, 2013; Salehi and Tadayon, 2020). در جدیدترین پژوهش صورت گرفته در کانسار عمارت، میزان همبستگی کمی (۰/۱۵۷) در ارتباط عیار ماده معدنی با تعداد گسل‌ها در ترازهای مختلف کانسار محاسبه شده (Ahmadi and Masoudieh, 2022) که نشانه نقش موثر دیاژنز در مقایسه با کنترل‌کننده‌های ساختاری در رخداد کانی‌سازی دارد. در حالیکه در کانسار تکیه که در مجاورت عمارت است (شکل‌های ۱ و ۴)، زمین‌ساخت وارون در تشکیل پهنه‌های گسلی موثر بوده و کانه‌زایی و دگرریختی واحدها وابسته به گسل‌های پرشیب می‌باشد (Alipoor et al., 2021).

نتایج مطالعه میکروتکتونیکی انجام شده در این پژوهش بر روی مقاطع میکروسکوپی جهت‌دار حاوی کانه‌زایی در پهنه‌های برشی و گسلی مناطق عمارت و اره‌گیجه، به وضوح الگوی رشدی سایه کرنشی نامتقارن را نشان می‌دهند که این مهم بیانگر ساز و کار امتدادلغز راستگرد به همراه فشارش (ترافشارشی) در این پهنه‌های گسلی است. به نوبه خود نتایج مطالعات ساختاری در این منطقه نشان‌دهنده تغییرات متناوب رژیم تکتونیکی در منطقه است. این تغییرات رژیم تکتونیکی به صورت کلی از رژیم تکتونیکی کششی کرتاسه پایینی به رژیم فشارشی در دوره پالئوژن و بعد از آن از رژیم تکتونیکی فشارشی به رژیم تکتونیک ترافشارشی راستگرد است. نتایج این تغییرات رژیم تکتونیکی در منطقه با نتایج مطالعات تکتونیکی در دیگر مناطق پهنه

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]
[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

سنندج-سیرجان به‌خوبی انطباق دارد (Mohajjel et al, 2003; Tadayon, 2013; Salehi and Tadayon, 2020; Pesarane Pesarane Sharif and Tadayon, 2022).

نتیجه‌گیری

کانسارهای مورد مطالعه (عمارت و اره‌گیجه) با وجود شباهت‌های اولیه با ذخایر سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی (مانند میزبان کربناته و کانی‌شناسی غالب اسفالریت و گالن) تفاوت‌های کلیدی دارند که سبب شده در نگاه جدیدتری، مدل ایرلندی برای آنها پیشنهاد شود. مطالعات این پژوهش نشان می‌دهد کانی سازی اصلی روی و سرب به فاصله کمی پس از رسوبگذاری صورت گرفته و شورابه‌های درون حوضه‌ای با بازشدن کافت و نشست حوضه در طی مراحل دیاژنز، به حرکت در آمده و در امتداد گسل‌های ژرف به سمت بالا صعود و با اختلاط با آب سرد دریای کرتا سه، کانه‌زایی لایه‌کران ته‌نشین می‌شود. منبع حرارتی می‌تواند با گرادیان زمین‌گرمایی در طی تحول حوضه ارتباط داشته باشد. محتوای فلزی سیالات می‌تواند از پی‌سنگ ماگمایی کادومین و یا رسوبات آواری مزوزوئیک تامین شود. جایگاه زمین‌ساختی، سنگ میزبان کربناته و نتایج ریزدماسنجی بیانگر آن است که کانه‌زایی در کانسارهای اره‌گیجه و عمارت مشابه با کانسارهای نوع ایرلندی است.

قدردانی

نتایج SEM این پژوهش در طول فرصت مطالعاتی نویسنده اول انجام شده است. بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان که در فراهم‌کردن امکانات یاری رسانمان بودند تشکر می شود. از جناب آقای دکتر پوریا محمودی به خاطر همراهی در پیمایش صحرایی و مشاوره علمی ایشان سپاسگزاری می‌شود. همچنین از سردبیر محترم مجله و داوران گرامی برای ارائه نظرهای مفید و سازنده سپاسگزاری می‌شود.

References

Abdulzahra, I., Hadi, A., Asahara, Y., Azizi, H., Yamamoto, K., 2018. Petrogenesis and geochronology of Mishao peraluminous I-type granites, Shalair valley area, NE Iraq. Chemie der Erde 78. 10.1016/j.chemer.2018.01.003.

Adabi, M.H., Jamalian, M., 2006. Recognition of Original carbonate mineralogy and determination of ore genesis in Robat mine (Khomein-Arak) carbonates. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 66 (17), 2-23.

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Moni´e, P., Meyer, B., Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. Geological Magazine 148, 692-725.

Aghanabati, S. A., 2013. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, p. 587.

Ahmadi, R., Afzali, N., 2019. Inversion of geophysical data and potential mapping of Robat-Arregijeh Pb-Zn deposit, Khomein, Markazi province, using integration of exploratory information in GIS. New Findings in Applied Geology 13(25), 17-32.

Ahmadi, R., Masoudieh, P., 2022. 2D and 3D modeling and determining correlation of faults with mineralization in the Emarat deposit. Tectonics 6 (22). 10.22077/JT.2023.6316.1155.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: New data and interpretations. Tectonophysics 229, 211–238.

Alipoor, R., Hajiloo, S.Z., Hosseinkhani, A., 2021. Structural analysis of the Takiyeh Zn-Pb mine in the Malayer-Esfahan metallogenic belt, west Iran. Journal of Economic Geology 13(3), 627-643.

Amin-Rasouli, H., Azizi, H., Asahara, Y., Armstrong-Altrin, J.S. and Mahmodyan, S., 2022. Whole-rock chemistry and Sr isotope concentrations in the Upper Cretaceous shale, western Iran: evidence for a transition from trench to fore-arc setting. Arabian Journal of Geosciences 15(18), p.1513.

Amin-Rasouli, H., Azizi, H., mahmodyan, S., 2021. Geochemistry, and Geodynamic of Upper Cretaceous shale, Northern Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 31(4), pp. 13-28.

Appold, M.S., Garven, G., 1999. The hydrology of ore formation in the Southeast Missouri district: Numerical models of topography-driven fluid flow during the Ouachita orogeny. Economic Geology 94, 913–935.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Azizi, H., Jahangiri, A., 2008. Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. Journal of Geodynamics 45, 178-190.

Azizi, H., Lucci, F., Stern, B., Hasannejad, S., Asahara, Y., 2018. The Late Jurassic Panjeh submarine volcano in the northern Sanandaj-Sirjan Zone, northwest Iran: Mantle plume or active margin? Lithos 308. 10.1016/j.lithos.2018.03.019.

Azizi, H., Nouri, F., Stern, R.J., Azizi, M., Lucci, F., Asahara, Y., Zarinkoub, M.H. and Chung, S.L., 2020. New evidence for Jurassic continental rifting in the northern Sanandaj Sirjan Zone, western Iran: the Ghalaylan seamount, southwest Ghorveh. International Geology Review 62(13-14), 1635-1657.

Azizi, H., Stern, B., 2019. Jurassic igneous rocks of the central Sanandaj-Sirjan zone (Iran) mark a propagating continental rift, not a magmatic arc. Terra Nova 31. 10.1111/ter.12404.

Azizi, H., Stern, R.J., Kandemir, R., Karsli, O., 2023. A Jurassic volcanic passive margin in Iran and Turkey. Terra Nova 35(3), 141-152.

Baccar, M.B., Fritz, B., and Made, B., 1993. Diagetic albitization of K-feldspar and plagioclase in sandstone reservoirs-thermodynamic and kinetic modeling. Journal of Sedimentary Petrology 63, 1100–1109.

Basuki, N., Spooner, E., 2004. A review of fluid inclusion temperatures and salinities in Mississippi Valley-type Zn-Pb deposits: Identifying thresholds for metal transport. Exploration and Mining Geology 11, 1–17.

Bau, M., Romer, R.L., Lüders, V., Dulski, P., 2003. Tracing element sources of hydrothermal mineral deposits: REE and Y distribution and SrNd-Pb isotopes in fluorite from MVT deposits in the Pennine orefield, England: Mineralium Deposita 38, 992–1008.

Berberian, F., Berberian, M., 1981. Tectono-plutonic episodes in Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution 3, 5-32.

Bodnar, R.J., Reynolds, T.J., Kuehn, C.A., 1985. Fluid-inclusion systematics in epithermal systems. In: B.R. Berger and P.M. Bethke (Editors), Geology and Geochemistry of Epithermal Systems. Society of Economic Geologists 73–97.

Bond, D.P.G., Wignall, P.B., 2010. Pyrite framboid study of marine Permian-Triassic boundary sections: A complex anoxic event and its relationship to contemporaneous mass extinction. Geological Society of America Bulletin 122(7-8), 1265-1279.

Boroon, A.S., Alaminia, Z., Mahmoodi., P., 2021. Geological and mineralogical studies of the Are-Gijeh Pb-Zn mine, Markazi province. 7th Symposium of Sedimentological Society of Iran. p. 555 (in Persian).

Bouabdellah, M., Niedermann, S., Velasco, F., 2015. The Touissit-Bou Beker Mississippi Valley-type district of northeastern Morocco: relationships to the Messinian salinity crisis, Late Neogene-Quaternary alkaline magmatism, and buoyancy-driven fluid convection. Economic Geology, 110(6), 1455-1484.

Boveiri, M., Rastad, E., 2016. Nature and origin of dolomitization associated with sulphide mineralization: new insights from the Tappehsorkh Zn-Pb (-Ag-Ba) deposit, Irankuh Mining District. Geological Journal 2875. https://doi.org/10.1002/gj.2875

Davidson, G.J., 1998. Alkali alteration styles and mechanisms, and their implications for a “brine factory” source of base metals in the rift-related McArthur group, Australia: Australian Journal of Earth Sciences 45, 33–49.

Doran, A., Hollis, S., Menuge, J., Piercey, S., Boyce, A., Johnson, S., Güven, J., Turner, O., 2022. A Distal, High-grade Irish-type Orebody: Petrographic, Sulfur Isotope, and Sulfide Chemistry of the Island Pod Zn-Pb Orebody, Lisheen, Ireland. Economic Geology 117. 10.5382/econgeo.4882.

Eftekharnejad, J., 1981. Tectonic division of Iran with respect to sedimentary basins. Journal of Iranian Petroleum Society 82, 19–28 (in Persian with English Abstarct).

Ehya, F., Lotfi, M. and Rasa, I., 2010. Emarat carbonate-hosted Zn–Pb deposit, Markazi Province, Iran: A geological, mineralogical and isotopic (S, Pb) study. Journal of Asian Earth Sciences 37(2), 186-194.

Ehya, F., Marbouti, Z., 2021. The Shamsabad Fe-Mn deposit, Markazi Province, Iran: LA ICP MS and sulfur isotopic geochemistry. Ore Geology Reviews 139. 104555. 10.1016/j.oregeorev.2021.104555.

Emmings, J.F., Dowey, P.J., Taylor, K.G., Davies, S.J., Vane, C.H., Moss-Hayes, V. and Rushton, J.C., 2020. Origin and implications of early diagenetic quartz in the Mississippian Bowland Shale Formation, Craven Basin, UK. Marine and Petroleum Geolog 120, 104567.

Fallick, A.E., Ashton, J.H., Boyce, A.J., Ellam, R.M., Russell, M.J., 2001. Bacteria were responsible for the magnitude of the world-class hydrothermal base metal sulfide orebody at Navan, Ireland: Economic Geology 96, 885–890.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Fazli, S., Shamanian, G.h., Shafiee, B., 2012. The Emarat and Muchan sedimentary rock-hosted stratabound Zn-Pb deposits: New data and genetic implications. Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (1), 67-80.

Fergusson, C., Nutman, A.P., Mohajjel, M., Bennett, V., 2016. The Sanandaj–Sirjan Zone in the Neo-Tethyan suture, western Iran: Zircon U–Pb evidence of late Palaeozoic rifting of northern Gondwana and mid-Jurassic orogenesis. Gondwana Research 40. 10.1016/j.gr.2016.08.006.

Fursich, F. T., Wilmsen, M., Seyed-Emami, K., Majidifard, M. R., 2009. Lithostratigraphy of the Upper Triassic–Middle Jurassic Shemshak Group of northern Iran. In: Brunet, M.F., Wilmsen, M., Granath, J.W. (Eds.), South Caspian to Central Iran Basins. Geological Society of London Special Publications 312, 129–160. https://doi.org/10.1144/SP312.6.

Fusswinkel, T., Wagner, T., Walle, M., Wenzel, T., Heinrich, C.A., and Markl, G., 2013. Fluid mixing forms basement-hosted Pb-Zn deposits: Insight from metal and halogen geochemistry of individual fluid inclusions: Geology 41, 679–682.

Gagnevin, D., Menuge, J., Kronz, A., Barrie, C., Boyce, A., 2014. Minor Elements in Layered Sphalerite as a Record of Fluid Origin, Mixing, and Crystallization in the Navan Zn-Pb Ore Deposit, Ireland. Economic Geology 109, 1513-1528. 10.2113/econgeo.109.6.1513.

Ghasemi, A., Talbot, C., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). Jouranl of Asian Earth Sciences 26, 683–693.

Ghassemi, M., Sheikholeslami, M., Javadi, H., Heidarzadeh, G., 2023. Block rotation, kinematic relations, and block configurations: How do they work in nature?. Journal of Structural Geology 176, 104979. 10.1016/j.jsg.2023.104979.

Gholipour, S., Azizi, H., Masoudi, F., Asahara, Y. and Tsuboi, M., 2021. Zircon U-Pb ages, geochemistry, and Sr-Nd isotope ratios for early cretaceous magmatic rocks, southern Saqqez, northwestern Iran. Geochemistry 81(1), p.125687.

Haas Jr, J.L., 1976. Thermodynamics properties of the coexisting phases and thermochemical properties of the NaCl component in boiling NaCl solutions. US, Geological Survey, Bull. (United States), 1421.

Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. Economic geology 66(6), 940-946.

Hoggard, M.J., Czarnota, K., Richards, F.D., Huston, D.L., Jaques, A.L., Ghelichkhan, S., 2020. Global distribution of sediment–hosted metals controlled by craton edge stability. Nature Geoscience 13 (7), 504–510. https://doi.org/10.1038/s41561-020- 0593-2.

Horton, B.K., Hassanzadeh, J., Stockli, D.F., Axen, G.J., Gillis, R.J., Guest, B., Amini, A., Fakhari, M.D., Zamanzadeh, S.M., Grove, M., 2008. Detrital zircon provenance of Neoproterozoic to Cenozoic deposits in Iran: Implications for chronostratigraphy and collisional tectonics. Tectonophysics 451, 97–122.

Hosseini, M.R., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Sun, W., Li, C., 2017. Age revision of the Neotethyan arc migration into the southeast Urumieh-Dokhtar belt of Iran: Geochemistry and U–Pb zircon geochronology. Lithos 284. 10.1016/j.lithos.2017.03.012.

Hunziker, D., Burg, J.P., Bouilhol, P., von Quadt, A., 2015. Jurassic rifting at the Eurasian Tethys margin: Geochemical and geochronological constraints from granitoids of North Makran, SE Iran. Tectonics 34, 571-593. 10.1002/2014TC003768.

Karimzadeh, A., 1992. Investigation on type, mineralogical–geochemical relationships, and the possible genesis of Emarat lead–zinc mine (Arak). Unpublished MSc thesis, Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran, pp. 153.

Kesler, S.E., 2005. Ore-forming fluids. Elements 1(1), 13-18.

Khosrobeigy, M., Alaminia, Z., Tadayon, M., Jazi, M., 2022. Geochemical and structural studies of the Hossein-Abad Zn-Pb ore deposit (Markazi Province). 10.22084/NFAG.2022.25838.1511.

Kozłowska, A., Feldman-Olszewska, A., Kuberska, M., Maliszewska, A., 2021. Diagenesis and the Conditions of Deposition of the Middle Jurassic Siderite Rocks from the Northern Margin of the Holy Cross Mountains (Poland). Minerals 11(12), 1353.

Lawley, C.J.M., McCafferty, A.E., Graham, G.E., Gadd, M.G., Huston, D.L., Kelley, K.D., Paradis, S., Peter, J.M., Czarnota, K., 2022. Datasets to support prospectivity modelling for sediment hosted Zn–Pb mineral systems. Geological Survey of Canada Open File 8836, 11. https://doi.org/10.4095/329203.

Leach, D.L., Bradley, D., Lewchuk, M.T., Symons, D.T., de Marsily, G., Brannon, J., 2001. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits through geological time: Implications from recent age-dating research: Mineralium Deposita 36, 711–740.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D., Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D., Gardoll, S.J., 2010. Sediment-hosted lead-zinc deposits in Earth history: Economic Geology 105, 593–625.

Leach, D.L., Sangster, D., Kelley, K.D., Large, R.R., Garven, G., Allen, C., Gutzmer, J., Walters, S., 2005. Sediment–hosted lead-zinc deposits: a global perspective. Econ. Geol. 100th Anniv. 561–607.

Leach, D.L., Sangster, D.F., 1993. Mississippi Valley-type lead-zinc deposits: Geological Association of Canada Special Paper 40, 289–314.

Liu, Y.C., Kendrick, M.A., Hou, Z.Q., Yang, Z.S., Tian, S.H., Song, Y.C., Honda, M., 2017. Hydrothermal fluid origins of carbonate-hosted Pb-Zn deposits of the Sanjiang Thrust Belt, Tibet: indications from noble gases and halogens. Economic Geology 112(5), 1247-1268.

Maanijou, M., Fazel, E.T., Hayati, S., Mohseni, H., Vafaei, M., 2020. Geology, fluid inclusions, C–O–S–Pb isotopes and genesis of the Ahangaran Pb-Ag (Zn) deposit, Malayer-Esfahan Metallogenic Province, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 195, 104339. https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104339

Magnall, J.M., Wirth, R., Hayward, N., Gleeson, S.A., Schreiber, A., 2023. Stratiform host-rock replacement via self-sustaining reactions in a clastic-dominated (CD-type) Zn deposit. Economic Geology 118(4), 823-836.

Mahmoodi, P., Peter, J.M., Rajabi, A., Rastad, E., 2023. Geological and textural characteristics as evidence for Irish-type mineralization in the Eastern Haft-Savaran deposit. Irish-type Deposits around the world, Irish Association for Economic Geology, Dublin. 533-544. 10.61153/PXZE7581.

Mahmoodi, P., Rastad, E., Rajabi, A., Alfonso, P., Canet, C., Peter, J.M., 2021. Genetic model for Jurassic shale-hosted Zn-Pb deposits of the Arak Mining District, Malayer-Esfahan metallogenic belt: Insight from sedimentological, textural, and stable isotope characteristics. Ore Geology Reviews 136, 104262.

Mahmoodi, P., Rastad, E., Rajabi, A., Peter, J.M., 2018. Ore facies, mineral chemical and fluid inclusion characteristics of the Hossein Abad and Western Haft-Savaran sediment-hosted Zn-Pb deposits, Arak Mining District. Iran. Ore Geology Reviews 95, 342–365.

Mehdipour Ghazi, J., Moazzen, M., Rahgoshay, M., Moghadam, H.S., 2012. Geochemical characteristics of basaltic rocks from the Nain ophiolite (Central Iran); constraints on mantle wedge source evolution in an oceanic back arc basin and a geodynamical model. Tectonophysics 574–575, 92–104.

Moghadam, H.S., Whitechurch, H., Rahgoshay, M., Monsef, I., 2009. Significance of Nain-Baft ophiolitic belt (Iran): Short-lived, transtensional Cretaceous back-arc oceanic basins over the Tethyan subduction zone. Comptes Rendus Geoscience 341(12), 1016-1028.

Mohajjel M., Fergusson C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. Journal of Structural geology 22(8), 1125-1139.

Mohajjel, M., Fergusson, C.L. and Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous–Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj–Sirjan zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21(4), 397-412.

Mohajjel, M., Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. International Geology Review 56(3), 263-287.

Mohajjel, M., Tadayon, M., Karimi, H.R., 2015. Structural evidence of inversion tectonic in SE Esfahan, and its significance in Sanandaj-Sirjan zone. 32th international geological conference.

Momenzadeh M., 1976. Stratabound lead–zinc ores in the lower Cretaceous and Jurassic sediments in the Malayer-Esfahan district (west central Iran), lithology, metal content, zonation, and genesis. Unpublished Ph.D thesis. University of Heidelberg, Heidelberg, pp. 300.

Mu, L., Hu, R., Bi, X., Tang, Y., Lan, T., Lan, Q., Zhu, J., Peng, J., Oyebamiji, A., 2021. New insights into the origin of the world-class Jinding sediment-hosted Zn-Pb deposit, Southwestern China: Evidence from LA-ICP-MS analysis of individual fluid inclusions. Economic Geology 116(4), 883-907.

Mu, L., Ruizhong, H., Xianwu, B., Tingguang, L., Tang, Y., Chen, Y., Wei, G., 2023. In situ Trace Elements and Sulfur Isotope Analyses of Layered Sphalerite as a Record of Ore-Forming Processes in the World-Class Jinding Sediment-Hosted Zn-Pb Ore Deposit, China. Ore Geology Reviews 163. 10.1016/j.oregeorev.2023.105794.

Mudd, G., Jowitt, S., Werner, T., 2017. The world's lead–zinc mineral resources: scarcity, data, issues and opportunities. Ore Geology Reviews 80, 1160–1190. https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.08.010.

Niroomand, S., Haghi, A., Rajabi, A., Shabani, A.A.T., Song, Y.C., 2019. Geology, isotope geochemistry, and fluid

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Rajabi, A., Rastad, E., Canet, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate-hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration. International Geology Review 54(14), 1649-1672.

Ricou, L.E., 1994. Tethys reconstructed: plates, continental fragments and their Boundaries since 260 Ma from Central America to South-eastern Asia. Geodinamica acta 7(4), 169-218.

Roedder, E., Bodnar, R.J., 1980. Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies: Annual Review of Earth and Planetary Sciences 8, 263-301.

Sadeghi, S., Storti, F., Yassaghi, A., Nestola, Y., Cavozzi, C., 2016. Experimental deformation partitioning in obliquely converging orogens with lateral variations of basal décollement rheology: Inferences for NW Zagros, Iran. Tectonophysics 693. 10.1016/j.tecto.2016.05.014.

Sahandi, M., Radfar, J., HosseiniDoust, H., Mohajjel, M., 2006. Geological Map of Shazand. Geological Survey of Iran.

Salehi, M.A., Tadayon, M., 2020. "Early Cretaceous sedimentary provenance and structural evolution of the central Sanandaj–Sirjan Zone, Iran: implications for palaeogeographic reconstructions of the northern Neo-Tethyan margin." International Geology Review 62(11), 1359-1386.

Sawłowicz, Z., 2000. Framboids: from their origin to application 88. Warsaw: Wydawnictwo Oddziału Polskiej Akademii Nauk.

Sawlowicz, Z., Gize, A.P., Rospondek, M., 2000. Organic Matter from Zechstein Copper Deposits (Kupferschiefer) in Poland//Organic Matter and Mineralisation: Thermal Alteration, Hydrocarbon Generation and Role in Metallogenesis; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 220–242.

Sepahi, A.A., Salami, S., Lentz, D., McFarlane, C., Maanijou, M., 2018. Petrography, geochemistry, and U–Pb geochronology of pegmatites and aplites associated with the Alvand intrusive complex in the Hamedan region, Sanandaj–Sirjan zone, Zagros orogen (Iran). International Journal of Earth Sciences 107, 1059-1096.

Shahbazi, H., Siebel, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., Sepahi, A.A., Shang, C.K., Abedini, M.V., 2010. Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian earth sciences 39(6), 668-683.

inclusion investigation of the Robat Zn-Pb-Ba deposit, Malayer-Esfahan metallogenic belt, southwestern Iran. Ore Geology Reviews 112, 103040.

Pannalal, S.J., Symons, D.T.A., Misra, K.C., 2003. Sweetwater Ba-F-Zn district, eastern Tennessee: A paleomagnetic age for dolomitisation from fluid flow: Journal of Geochemical Exploration 78–79, 235–241.

Partey, F., Lev, S., Casey, R., Widom, E., Lueth, V.W., Rakovan, J., 2009. Source of fluorine and petrogenesis of the Rio Grande rift-type barite-fluorite-galena deposits: Economic Geology 104, 505–520.

Peernajmodin, H., Rastad, E., Rajabi, A., 2018. Ore structural, textural, mineralogical and fluid inclusions studies of the Kouh-Kolangeh Zn-Pb-Ba deposit, Malayer-Isfahan metallogenic belt, South Arak, Iran. Scientific Quarterly Journal of Geosciences 27(107) 287-302.

Pesarane Sharif, H. and Tadayon, M., 2022. Assess the controlling structures on the vein-type barite mineralization at the east of the Murchekhurt, North Isfahan. Journal of Tectonics 6(22), 46-70.

Peter, J. M., and Scott, S. D., 1999. Windy Craggy, Northwestern British Columbia: the world's largest Besshi-type deposit. In: Barrie CT, Hannington MD (eds) Volcanic-associated massive sulfide deposits: processes and examples in modern and ancient settings, Reviews in Economic Geology 8, 261–295.

Peyjab Kansar company., 2012. The report of first detailed exploration stage in Robat Zn-Pb deposit (West Khomeyn city) (in Persian).

Rahimzadeh, B., Mahmoudi, S., Corfu, F., Ahadnejad, V., Von Quadt, A., 2021. A unique period of bimodal volcanism at 130–110 Ma in the northern Sanandaj-Sirjan Zone: Evidence for an extensional setting. Lithos 392, 106155.

Rajabi, A., Canet, C., Rastad, E., Alfonso, P., 2015. Basin evolution and stratigraphic correlation of sedimentary-exhalative Zn–Pb deposits of the Early Cambrian Zarigan–Chahmir Basin, Central Iran. Ore Geology Reviews 64, 328-353.

Rajabi, A., Mahmoodi, P., Alfonso, P., Canet, C., Andrew, C., Azhdari, S., Rezaei, S., Alaminia, Z., Tamarzadeh, S., Yarmohammadi, A., Khan Mohammadi, G., Saeidi, R., 2024. Barite Replacement as a Key Factor in the Genesis of Sediment-Hosted Zn-Pb±Ba and Barite-Sulfide Deposits: Ore Fluids and Isotope (S and Sr) Signatures from Sediment-Hosted Zn-Pb±Ba Deposits of Iran. Minerals 14. 671. 10.3390/min14070671.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Shakerardakani, F., Neubauer, F., Genser, J., Masoudi, F., Mehrabi, B., Monfaredi, B., Friedl, G., 2015. Tectonic history of the central Sanandaj-Sirjan zone, Iran: Potentially Permian to Mesozoic polymetamorphism and implications for tectonics of the Sanandaj-Sirjan zone.

Sheikholeslami, M., Ghassemi, M., Hassanzadeh, J., 2019. Tectonic evolution of the hinterland of the Zagros Orogen revealed from the deformation of the Golpaygan Metamorphic Complex, Iran. Journal of Asian Earth Sciences 182. 10.1016/j.jseaes.2019.103929.

Shepherd, T., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie USA Chapman & Hall, New York, p. 239.

Shirdashtzadeh, N., Torabi, G., Arai, S., 2010. Metamorphism and metasomatism in the Jurassic Nain ophiolitic mélange, Central Iran. Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen 255(3), 255.

Smethurst, M., Sangster, D., Symons, D., Lewchuk, M., 1999. Paleomagnetic age for Zn-Pb mineralization at Robb Lake, northeastern British Columbia: Bulletin of Canadian Petroleum Geology 47, 548–555.

Stampfli, G.M., Borel, G.D., 2002. A plate tectonic model for the Paleozoic and Mesozoic constrained by dynamic plate boundaries and restored synthetic oceanic isochrons. Earth and Planetary science letters 196(1-2), 17-33.

Sterner, S.M., Chou, I.M., Downs, R.T. and Pitzer, K.S., 1992. Phase relations in the system NaCl-KCl-H_2O: V. Thermodynamic-PTX analysis of solid-liquid equilibria at high temperatures and pressures. Geochimica et Cosmochimica Acta 56(6), 2295-2309.

Tadayon, M., 2013. Structure of basin bounded faults in Shahreza area (south of Isfahan) (Central Sanandaj-Sirjan), [M.Sc. thesis]: Tehran, Tarbiat Modares University, p. 96.

Tavazzani, L., Guillong, M., Giuliani, A., Fontboté, L. and Chelle-Michou, C., 2024. Not so fast: Million-years of metal precipitation in Mississippi Valley type deposits inferred from in-situ petrochronology of hydrothermal carbonates. Earth and Planetary Science Letters 636, p.118718.

Tayebi, N., Alaminia, Z., Bahrami, A.., 2024. The formation model for the Komsheche barite in Triassic carbonate deposits, NE Isfahan, Central Iran: Insights from mineralogy, stable isotopes, and fluid inclusions, Journal of Economic Geology 16(2), 95-134.

Thiele, O., Alavi, M., Assefi, R., Hushmandzadeh, A., SeyedEmami, K., Zahedi, m., 1968. Explanatory text of Golpaygan Quad angle survey of Iran, geological Quad angle, No, 37.

Torremans, K., Kyne, R., Doyle, R., Güven, J., Walsh, J.J., 2018. Controls on metal distribution at the Lisheen and Silvermines deposits: Insights into fluid flow pathways in Irish-type Zn-Pb deposits: Economic Geology 113, 1455–1477.

U.S. Geological Survey, 2020. Mineral commodity summaries 2020. U.S. Geological Survey 200. https://doi.org/10.3133/mcs2020.

Vaezi M.J., Kholghi M.H., 2007. Geological Survey of Iran Geological quadrangle map of Iran, Varcheh, Scale 1: 100,000. (Eds.) GSI, Tehran.

Vanaei, M., 1998. Textural, structural and geochemical characteristics of Emarat Pb– Zn mine (Arak). M.Sc. Thesis, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran (in Persian).

Verdel, C., Wernicke, B., Hassanzadeh, J., Guest, B., 2011. A Paleogene extensional arc flare-up in Iran. Tectonics. 30. 10.1029/2010TC002809.

Wangen, M. and Munz, I.A., 2004. Formation of quartz veins by local dissolution and transport of silica. Chemical Geology 209(3-4), 179-192.

Whattam, S.A., Stern, R.J., Azizi, H., Yi, K., Baggazi, H.M., Alqubalee, A., Nouri, F., Jicha, B., Lemdjou, Y.B., El Fakharani, A., 2024. Shift from arc to within-plate magmatism at 635 Ma as recorded by Neoproterozoic dikes, southern Midyan terrane, NW Arabian Shield. Precambrian Research 409, 107430.

Whitney D.L., Evans B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American mineralogist 95, 185-187.

Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos 55, 229-272.

Wilkinson, J.J., 2010. A review of fluid inclusion constraints on mineralization in the Irish ore field and implications for the genesis of sediment-hosted Zn-Pb deposits: Economic Geology 105, 417–442.

Wilkinson, J.J., 2014. In: Sediment-Hosted Zinc-Lead Mineralization: Processes and Perspectives, second ed. Treatise on Geochemistry 219–249.

Wilkinson, J.J., Stoffell, B., Wilkinson, C.C., Jeffries, T.E., Appold, M.S., 2009. Anomalously metal-rich fluids form hydrothermal ore deposits. Science 323, 764-767.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]

Wilmsen, M., Fürsich, F., Majidifard, M., 2015. An overview of the Cretaceous stratigraphy and facies development of the Yazd Block, western Central Iran. Journal of Asian Earth Sciences. 102. 10.1016/j.jseaes.2014.07.015.

Wilmsen, M., Storm, M., Fürsich, F., Majidifard, M., 2014. Integrated Stratigraphy and Facies Analysis of the Upper Albian–Turonian (Cretaceous) Debarsu Formation (Yazd Block, Central Iran). 10.1007/978-3-319-04364-7_120.

Yarmohammadi, A., Rastad, E., Rajabi, A., 2016. Geochemistry, fluid inclusion study and genesis of the sediment-hosted Zn-Pb (± Ag ± Cu) deposits of the Tiran basin, NW of Esfahan, Iran. Jouranl of Mineralogy and Geochemistry 193, 183–203.

Yesares, L., Drummond, D.A., Hollis, S.P., Doran, A.L., Menuge, J.F., Boyce, A.J., Blakeman, R.J., Ashton, J.H., 2019. Coupling mineralogy, textures, stable and radiogenic isotopes in identifying ore-forming processes in Irishtype carbonate-hosted Zn–Pb deposits: Minerals 9, 335.

[Downloaded from gnf.khu.ac.ir on 2025-11-17]

[DOI: 10.22034/KJES.2025.11.1.103843]