



## RESEARCH ARTICLE

10.22067/ECONG.2023.81763.1072



## Pb-Zn Deposits in Ruchun-Mazar Region, Kerman Province: Geology, Alteration and Mineralization

Mahdi Ghorbani Dehnavi <sup>1</sup>, Azadeh Malekzadeh Shafaroudi <sup>2\*</sup> , Mohammad Hassan Karimpour <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. student, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposits of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

<sup>3</sup> Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposits of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received: 16 April 2023

Revised: 01 June 2023

Accepted: 06 June 2023

#### Keywords

Mineralogy

Alteration

Pb-Zn deposits

Mazar-Rutchun region

Sanandaj-Sirjan Zone

### ABSTRACT

Ruchun-Mazar region is located in southern Sanandaj-Sirjan Zone, southwest of Baft city in Kerman province, Iran. Seh Chah, Chah Sorbi, Chah Nar, Zardbazi Dar, and Chah Sorbi Arjmand Pb-Zn deposits located in this region were investigated. The most outcrops of the geological units in the area include the Paleozoic metamorphic complexes of Gol Ghohar (amphibolite, gneiss and micaschist), Ruchun (schist, marble, calcschist, black chert, slate and phyllite), and Khabar (marble, calcschist). Microdioritic, monzodioritic and diabasic dykes have intruded into the metamorphic units. Dolomitic and calcitic marble of Ruchun complex is the host rock for Pb-Zn mineralization. Primary mineralization in Seh Chah, Chah Sorbi, and Chah Nar deposits includes galena, sphalerite, and pyrite  $\pm$  chalcopyrite along with quartz, calcite, and dolomite  $\pm$  barite. Vein-veinlet, open space filling, brecciated  $\pm$  disseminated  $\pm$  laminate structures and textures can be seen in these deposits. The most important alterations in these deposits are silicification and carbonitization (calcitic and dolomitic alterations). Primary sulfide ore in Zardbazi Dar and Chah Sorbi Arjmand deposits has been weathered and mining has been carried out on nonsulfide ore (supergene ore). The nonsulfide ore formed at the expense of sulfides, and mainly consists of smithsonite, hydrozincite, hemimorphite, and cerussite. It seems that these deposits belong to the direct replacement and, to a lesser extent, wall rock replacement nonsulfide zinc deposits. Based on the geological, mineralogical and alteration evidence, the primary mineralization in the region can be divided into two groups of SEDEX type (Chah Sorbi deposit) and vein type (Chah Nar and Seh Chah deposits). It was concluded that under supergene conditions in some deposits, nonsulfide ore was also formed. Moreover, the deposits of this region can be categorized into primary sulfide (hydrothermal) and nonsulfide (supergene).

#### \*Corresponding author

Azadeh Malekzadeh Shafaroudi

✉ [shafaroudi@um.ac.ir](mailto:shafaroudi@um.ac.ir)

#### How to cite this article

Ghorbani Dehnavi, M., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2023. Pb-Zn Deposits in Ruchun-Mazar Region, Kerman Province: Geology, Alteration and Mineralization. *Journal of Economic Geology*, 15(2): 109–134. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.81763.1072>



©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Iran embraces extensive areas having high potential for carbonate-hosted (CH) Zn-Pb deposits due to the suitable geodynamic conditions and the occurrence of large carbonate platforms (Rajabi et al., 2012). A wide variety of Zn-Pb deposits have been reported along Sanandaj-Sirjan Zone (SSZ) in Iran. The development of SSZ is related to the generation of the Neo-Tethys Ocean during the Permian and its subsequent destruction due to the convergent and continental collision between the Arabian and Iran plates during Cretaceous to Tertiary periods (Mohajjel et al., 2003; Ghasemi and Talbot, 2006). Ruchun-Mazar (Rechan) region is located in the southern Sanandaj-Sirjan zone (Fig. 1). This area is located at 75 km southwest of Baft city in Kerman province, Iran. In this region, the lower paleozoic marble rocks of Ruchun complex host numerous Zn-Pb deposits (Fig. 2). Although sulfide mineralization is dominant in this region (e.g., Seh Chah, Chah Sorbi, and Chah Nar deposits), secondary non-sulfide ores are common (e.g., Zardbazi Dar and Chah Sorbi Arjmand deposits). Based on geology, mineralogy, mineralization and alteration, the similarities and differences among the Pb-Zn deposits of this region were investigated.

### Material and methods

At the first step, a 1:50,000 integrated geological map of Ruchun-Mazar region was prepared. Then, a more detailed investigation of the deposits, including field sampling of rock units, ore veins, tunnels and other mining works was done. Field observations were supplemented by petrographic studies and X-ray powder diffraction (XRD) analysis. From the collected samples (224 samples), 95 thin sections, 48 polished thin sections, and 41 polished sections were prepared for petrographic and mineralogical studies. Twenty-eight samples (sulfide and nonsulfide ores and gossan) were analyzed by XRD at the GSI. Nonsulfide ores, which contain Zn, were identified (stained bright red) by Zinc Zap, a solution of 3% potassium ferricyanide  $K_3Fe(CN)_6$  and 0.5% diethylaniline dissolved in 3% oxalic acid.

### Results

Ruchun-Mazar mining area is located in the southern part of Sanandaj-Sirjan zone (Fig. 1). Based on

stratigraphy of the region, chronological sequences from the oldest to youngest include Paleozoic Gol Gohar, Ruchun and Khabar metamorphic complexes, Permian-Triassic metamorphosed carbonates, Jurassic-Cretaceous meta flysch, Cretaceous marbles (Koh-e-Khabar), Eocene-Oligocene flysch, and Quaternary sediments (Fig. 2). Gol Gohar complex (unit Pz<sub>2</sub>) contains gneiss, micaschist and amphibolite with a probable Cambrian age which has been intruded by mafic intrusive bodies. The Ruchun complex (unit Pz<sub>3</sub>) is the host complex for lead, zinc and iron mineralizations in the region. Sequence of stratigraphic layers from bottom to the top contains Gol Gohar complex (Cambrian), Ruchun complex (Cambrian-Ordovician), and Khabar complex (Middle-Upper Devonian), respectively. Metamorphosed carbonate rocks (dolomitic and calcitic marbles) of Ruchun complex (Pz<sub>3</sub><sup>d</sup> and Pz<sub>3</sub><sup>m</sup>) are seen in brown and light to dark gray colors and often alternate associated with metamorphosed sedimentary and volcanic rocks (Pz<sub>3</sub><sup>sch</sup> unit) (Fig. 3A). The Ruchun complex was intruded by microdiorite, monzodiorite, microgabbro, and diabase dikes (Fig. 3B). Quartz and calcite veins have cut most of the Ruchun complex units (Fig. 3C and 3D). Calcitic and dolomitic marbles with probable Permian-Triassic age (Fig. 3E and F) can be seen on Ruchun complex (units PT<sup>m</sup> and PT<sup>d</sup>). Mafic (gabbro) to felsic (granite) intrusive bodies (gabbro to granite) were exposed in the west of DehSard village, next to Permian-Triassic dolomite (Fig. 3F). Pb-Zn mineralization in the Mazar-Ruchun region is formed in the calcitic and dolomitic marble (Pz3d and Pz3m) of the Ruchun complex (Fig. 4A, B, C and D). These metamorphosed carbonates are composed of calcite and dolomite, and minor minerals such as muscovite, quartz, and opaque minerals (Fig. 4E and F). Based on the morphology of calcite blade (Burkhard, 1993), and the presence of calcite (type I and II), the temperature of metamorphism of this marble is between 250 and 350 degrees, which corresponds with the green schist facies. Marbles alternate associate with schist (green schist, mica schist and graphite schist) and phyllite (Fig. 3A, E and G).

Primary mineralization in Seh Chah, Chah Sorbi and Chah Nar deposits includes galena, sphalerite, pyrite ± chalcopyrite associated with quartz, calcite, and dolomite ± barite. Vein-veinlet, open space filling,

brecciated ± disseminated ± laminated structures and textures can be seen in these deposits. The most important alterations in these deposits are silicification and carbonitization (calcitic and dolomitic alterations). Carbonate host rock and structural control can be considered as the most important factors for controlling primary ore mineralization in the Seh Chah and Chah Nar Pb-Zn deposits. Dolomitic and calcitic marble in the Seh Chah deposit are highly altered (Fig. 4B). A number of basic to intermediate intrusive bodies (often as dykes) can be seen in this area. Chah Nar and Seh Chah deposits were formed epigenetically with vein-veinlet, open space filling and brecciated structures and textures (Fig. 5B and C). Graphite schist in Chah Sorbi deposit is sometimes seen alternating with marble in the Ruchun complex sequence. In this deposit, in addition to vein-veinlet, open space filling and brecciated textures (which were also observed in the Seh Chah and Chah Nar deposits), part of the ore has a laminated and disseminated textures. It seems that the type of sulfide mineralization in Chah Sorbi deposit is different from the other two deposits (Fig. 6A to C). In Chah Sorbi deposit, galena, sphalerite, pyrite and chalcopyrite associated with quartz, calcite, organic matter, dolomite and barite were deposited in the hydrothermal mineralization stage (Fig. 6D and Table 1). The effects of metamorphism and deformation in this deposit can be traced by such evidence as microscopic and mesoscopic folds and faults in the ore and host rock (Fig. 6E and F). In contrast, Chah Nar and Seh Chah deposits were formed after the last metamorphic event (probably post Late Cretaceous) and no evidence of metamorphism can be seen in them.

Primary sulfide ores in Zardbazi Dar and Chah Sorbi Arjmand deposits have been weathered and mining has been carried out on nonsulfide ore (supergene ore). The nonsulfide ore formed at the expense of sulfides, and mainly consists of smithsonite, hydrozincite, hemimorphite, and cerussite (Fig. 8A and G, and Table 1).

### Discussion and conclusion

Sediment-hosted Pb-Zn deposits represent the world's largest accumulations of base metals (Goodfellow and Lydon, 2007; Wilkinson, 2014). Table 2 shows a comparison of the general characteristics of these deposits with Pb-Zn deposits in Ruchun-Mazar area. The host rock of the studied

deposits (calcitic and dolomitic marble) is different from the SEDEX type deposits (shale as the dominant host rock). Chah Nar and Seh Chah, deposits were formed epigenetically (within fracture and fault and as replacements) and deposited after the last metamorphic event (probably post Late Cretaceous). These deposits are classified as a group of epigenetic deposits and show a significant similarity to MVT deposits, although they also display fundamental differences with this category of ore deposit (especially host rock alteration).

The presence of laminated and disseminated textures (before the metamorphism event) in Chah Sorbi deposit classified it as a syngenetic to early diagenetic Pb-Zn deposit (e.g., Irish type or SEDEX). Chah Sorbi deposit shows notable similarity to Howard's Pass district, Selwyn Basin, of sedimentary exhalative (SEDEX) Zn-Pb deposits (Gadd et al., 2017). Mineralization in Howard's Pass district (Late Ordovician to Early Silurian) was hosted by carbonaceous, calcareous and, to a lesser extent, siliceous mudstones.

Mining works in Zardbazi Dar and Chah Sorbi Arjmand deposits was carried out on nonsulfide ore (supergene ore). The supergene nonsulfide deposits are unmetamorphosed and undeformed. They consist of low-temperature and low-pressure assemblages that precipitated from meteoric fluids, replacing sulfides and carbonate groundmass to form encrustations and fill pore spaces, veins, and fractures.

Some of the key controls on the formation of carbonate-hosted nonsulfide Zn-Pb deposits are the nature and availability of near-surface sulfide protore, lithology, sub-aerial exposure, tectonic uplift, climate and favorable hydrology (Hitzman et al., 2003). Hitzman et al. (2003) described two specific forms of nonsulfide ore from various nonsulfide deposits around the world: red ore and white ore. Red ore is gossanous, usually found immediately above the sulfide protore, and typically contains >20% Zn, 7% Fe and Pb, and minor silver (Simandl and Paradis, 2008). Typical red ore nonsulfide minerals include iron-oxyhydroxides, goethite, hematite, hemimorphite, smithsonite, and/or hydrozincite and cerussite (Reichert and Borg, 2008). White ore contains up to 40% Zn but less than 7% Fe and Pb. Smithsonite and hydrozincite are common minerals in white ore with only small amounts of Fe-oxyhydroxides and

cerussite (Reichert and Borg, 2008). Zinc and Pb nonsulfides can be used as indirect indicator minerals in exploration for MVT, SEDEX, Irish-type, carbonate replacement, and vein-type Zn-Pb deposits.

It seems that Zardbazi Dar and Chah Sorbi Arjmand deposits belong to the direct replacement and lesser extent wall rock replacement nonsulfide zinc deposits.

### **Acknowledgments**

This study was done supported by a grant of Ferdowsi University of Mashhad. The study is part of the Project number 41179 and also part of the first author's doctoral thesis. We gratefully thank Dr. Mohammad Salehi Tinoni, Mohsen Jorjandipour, Ali Rashidi, Dr. Ali Amiri and Dr. Ahmad Rashidi Bosharabadi who helped us in different field works. We are grateful to the respected reviewers who played a significant role in the scientific improvement of the article.



## کانسارهای سرب و روی ناحیه مزار- روتشون، استان کرمان: زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی

مهدی قربانی دهنوی<sup>۱</sup>، آزاده ملکزاده شفارودی<sup>۲\*</sup>، محمدحسن کریم‌پور<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران<sup>۳</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

## چکیده

## اطلاعات مقاله

ناحیه مزار- روتشون در زون سنندج- سیرجان جنوبی و جنوب غرب شهر بافت قرار دارد. در این ناحیه، کانسارهای سرب و روی سه‌چاه، چاه سربی، چاه‌نار، زردبازی‌در و چاه سرب ارجمندی بررسی شد. بیشترین برون‌زد واحد های زمین‌شناسی ناحیه، دربردارنده کمپلکس‌های دگرگونی گل‌گهر (آمفیبولیت، گنیس و میکاشیست)، روتشون (شیست، مرمر، کالک‌شیست، اسلیت و فیلیت) و خَبر (مرمر و کالک‌شیست) به سن پالئوزوئیک است. دایک‌هایی با ترکیب میکرودیوریت، مونزودیوریت و دیاباز واحد های دگرگونی را قطع کرده‌اند. مرمر دولومیتی- کلسیتی کمپلکس روتشون، سنگ میزبان کانه‌زایی سرب و روی است. در کانسارهای سه‌چاه، چاه سرب و چاه‌نار کانه‌زایی اولیه دربردارنده گالن، اسفالریت، پیریت± کالکوپیریت به همراه کوارتز، کلسیت، دولومیت± باریت است. ساخت و بافت‌های رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، برشی± دانه پراکنده± لامینه‌ای در این کانسارها دیده می‌شود. مهم‌ترین دگرسانی در این کانسارها، سیلیسی و کربناتی‌شدن (کلسیتی و دولومیتی) است. در کانسارهای زردبازی‌در و چاه سرب ارجمندی، کانسنگ سولفیدی اولیه دیده نمی‌شود و کانسنگ غیرسولفیدی برون‌زد دارد. کانسنگ غیرسولفیدی در اثر اکسایش سولفیدها تشکیل شده و اغلب از اسمیت‌سونیت، هیدروزینسیت، همی مورفیت و سروسیت تشکیل شده است. به نظر می‌رسد کانسنگ غیرسولفیدی در این دو کانسار از نوع جانشینی مستقیم باشد. بر پایه شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و دگرسانی می‌توان کانه‌زایی اولیه در ناحیه را در دو گروه سرب و روی نوع رسوبی- برون‌دمی؟ (کانسار چاه‌سربی) و رگه‌ای (کانسارهای چاه‌نار و سه‌چاه) دسته‌بندی کرد که تحت شرایط برون‌زاد در برخی کانسارها، کانسنگ غیرسولفیدی نیز شکل گرفته است. همچنین می‌توان کانسارهای این ناحیه را در دو گروه سولفیدی اولیه (درون‌زاد) و غیرسولفیدی (برون‌زاد) دسته‌بندی کرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

## واژه‌های کلیدی

کانی‌شناسی

دگرسانی

کانسارهای سرب و روی

مزار- روتشون

زون سنندج- سیرجان

## نویسنده مسئول

آزاده ملکزاده شفارودی

shafaroudi@um.ac.ir ✉

## استناد به این مقاله

قربانی دهنوی، مهدی؛ ملکزاده شفارودی، آزاده و کریم‌پور، محمدحسن، ۱۴۰۲. کانسارهای سرب و روی ناحیه مزار- روتشون، استان کرمان: زمین‌شناسی، دگرسانی و کانه‌زایی.

زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۲): ۱۰۹-۱۳۴. https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.81763.1072

## مقدمه

ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی بیشتر در سنگ‌های آواری- کربناتی (ذخایر نوع رسوبی- برون‌دمی) و کربناتی (ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی و ایرلندی) گزارش شده‌اند (Goodfellow and Lydon, 2007; Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). در ایران با توجه به گسترده‌گی سرزمین‌های کربناتی و آواری، انواع مختلفی از ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی بررسی شده است. عمده ذخایر سرب و روی با میزبان کربناتی در ایران (شکل ۱)، در چهار کمربند فلززایی اصلی ملایر- اصفهان (زون سنندج سیرجان میانی)، یزد- انارک (بلوک یزد از زون ایران مرکزی)، طبس- پشت‌بادام (بلوک‌های طبس و پشت‌بادام در ایران مرکزی) و البرز مرکزی تشکیل شده‌اند (Rajabi et al., 2012). ناحیه معدنی مزار- روتشون (روچون یا رچان) در زون سنندج- سیرجان جنوبی قرار گرفته است (شکل ۱).

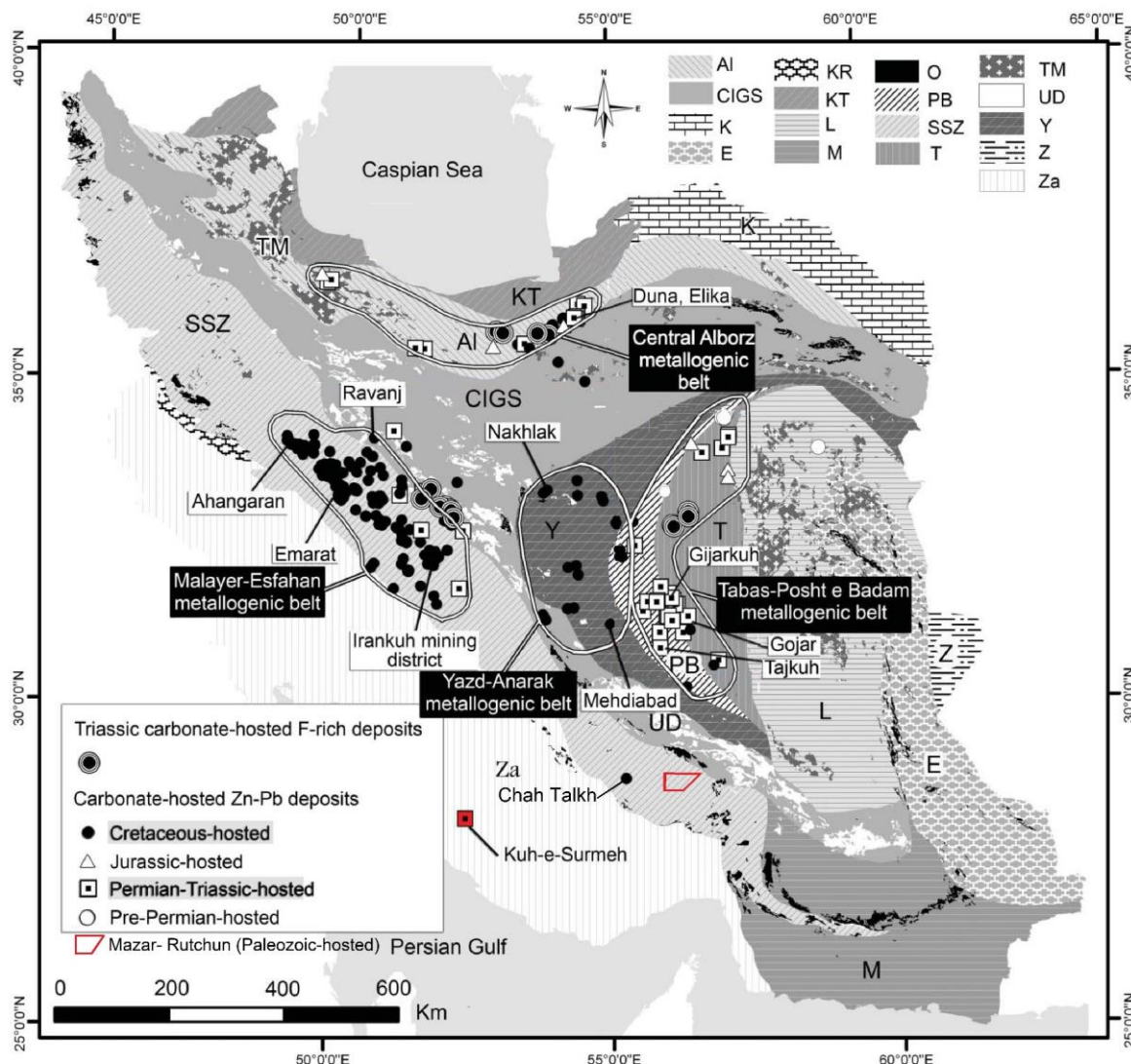
این ناحیه در ۷۵ کیلومتری جنوب غرب شهر بافت و در استان کرمان قرار دارد. از لحاظ بررسی‌های اکتشافی و زمین‌شناسی اقتصادی، از مغفول‌ترین ناحیه‌های سرب و روی در ایران بوده و در بردارنده ۵ کانسار سه‌چاه، چاه سربی، زردبازی‌در، چاه‌نار و چاه سرب ارجمندی و چندین کانسار و نشانه معدنی آهن از جمله غارنیگو، چاه گارسی، چاه‌انجیر و غار گرو است. مهم‌ترین دلیل پژوهش‌های اندک اکتشافی در این ناحیه، قرارگیری این منطقه معدنی در میانه پارک ملی حیات وحش خَبر و عدم اجازه هرگونه فعالیت معدنی و اکتشافی از اوائل دهه ۱۳۶۰ شمسی است. در این منطقه توزیع وسیعی از سرباره‌های حاصل از ذوب کانسنگ این معادن در مجاورت رودخانه‌های فصلی مشاهده می‌شود که بیانگر رونق معدن‌کاری در گذشته است. صفری لنگرودی (Safari Langroudi, 1992)، کانه‌زایی سرب و روی در این ناحیه را چینه کران و از نوع دیرزاد، پس از رخداد دگرگونی ناحیه‌ای و مرتبط با ماگماتیسیم فلسیک منطقه دانسته است و اشاره دارد که توده‌های بازیک تا حدواسط همراه با کانسارها بر اثر پدیده‌های پترولوژیکی نظیر هضم، از توده‌های فلسیک منتج شده‌اند.

در این پژوهش سعی شده است تا شباهت‌ها و تفاوت‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، کانه‌زایی و دگرسانی کانسارهای سرب و روی این ناحیه مورد بررسی قرار گیرد.

## روش مطالعه

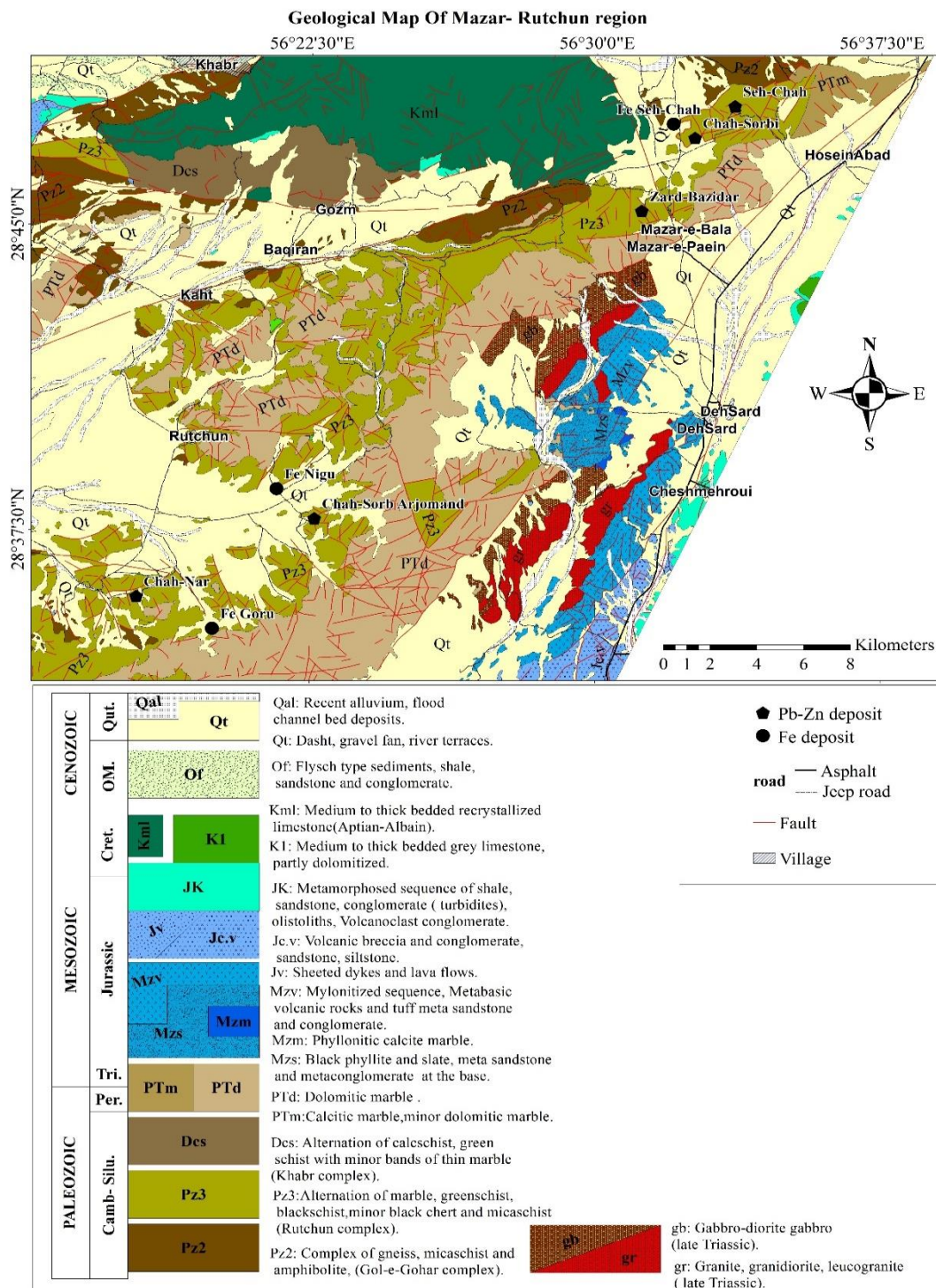
ناحیه مزار- روتشون در بردارنده بخشی از گستره دو ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خَبر (Roshanravan et al., 1997) و بزار یا ده‌سرد (Nazemzadeh and Rashidi, 2007) است. ضمن بررسی دفتری، تناقض‌هایی در عناوین واحدهای زمین‌شناسی، لیتولوژی و سن آنها، در مرز دو ورقه یادشده وجود داشت. به این علت در آغاز این پژوهش، با پیمایش صحرایی، نمونه‌برداری و بر پایه نتایج بررسی‌های دفتری جدید، نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ یکپارچه ناحیه مزار- روتشون (شکل ۲) تهیه شد.

گام دوم برداشت‌های صحرایی، در بردارنده بررسی دقیق‌تر هر محدوده معدنی بود و شامل نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و بخش‌های کانه‌دار، برداشت تونل‌ها و دیگر آثار معدن‌کاری، برداشت‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی ساختاری بوده است. به دلیل متروکه بودن معادن، متأسفانه هیچ‌گونه نقشه زمین‌شناسی و کانه‌زایی از معادن ناحیه در دسترس نیست. در مرحله بعد، از مجموع ۲۲۴ نمونه برداشت‌شده برای بررسی زمین‌شناسی ناحیه‌ای و بررسی معادن متروکه، تعداد ۹۵ مقطع نازک، ۴۸ مقطع نازک صیقلی و ۴۱ مقطع صیقلی برای بررسی سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری تهیه شد. سپس، بر پایه نتایج بررسی‌های میکروسکوپی، برای بررسی کانی‌شناسی (به روش پراش اشعه ایکس)، تعداد ۲۸ نمونه از کانسنگ‌های سولفیدی، غیرسولفیدی و گوسان در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور آنالیز شد. کان‌سنگ‌های غیرسولفیدی روی با استفاده از معرف Zinc Zap (محلولی از ۳ درصد فری‌سیانید پتاسیم  $K_3Fe(CN)_6$  و دی‌ایتیلانلین ۰/۵ درصد محلول در اسید اگزالیک ۳ درصد) شناسایی شدند (لکه‌دار شدن به رنگ قرمز روشن).



شکل ۱. نقشه پراکندگی کانسارهای سرب و روی و غنی از فلئور با میزان کربناتی ایران، چهار کمربند فلززایی اصلی ملایر- اصفهان، یزد- انارک، طبس- پشت‌بادام و البرز مرکزی مشخص شده است (با تغییرات جزئی از رجیبی و همکاران (Rajabi et al., 2013)). کانسارهای با سنگ میزبان پرموتریاس از نوع MVT هستند؛ اما کانسارهای با سنگ میزبان کرتاسه دربردارنده کانسارهای SEDEX، نوع ایرلندی و نوع MVT هستند. ناحیه مزار- روتشون با چهارضلعی قرمز رنگ مشخص شده است. نقشه زمین‌شناسی ساختمانی ایران با تغییرات از آقانباتی (Aghanabati, 1998; Aghanabati, 2004)

**Fig. 1.** Distribution map of carbonate-hosted Zn–Pb and F-rich deposits of Iran illustrating clusters in the Central Alborz, Tabas- Posht-e-Badam, Malayer-Esfahan and Yazd-Anarak metallogenic belts (modified after Rajabi et al., 2013). Those in Permian–Triassic rocks include MVT deposits, but the Cretaceous-hosted deposits include both Early Cretaceous Zn–Pb SEDEX and/or Irish-type deposits and some MVT deposits. The Mazar-Ruchun region is marked with a red rectangle (tectonic and structural map of Iran modified after Aghanabati, 1998; Aghanabati, 2004). Key: AI, Alborz ranges; CIGS, Central Iranian geological and structural transition zone; E, East Iran ranges; K, Kopeh-Dagh; KR, Kermanshah Radiolarites subzone; KT, Khazar-Talesh-Ziveh structural zone; L, Lut Block; M, Makran zone; O, ophiolite belts; PB, Posht-e-Badam Block; SSZ, Sanandaj-Sirjan Zone; T, Tabas Block; TM, Tertiary magmatic rocks; UD, Urumieh-Dokhtar magmatic arc; Y, Yazd Block; Z, Zabol area; Za, Zagros ranges



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده ناحیه مزار- روتشون (نقل با تغییرات از روشن روان و همکاران (Roshanravan et al., 1997) و ناظم‌زاده و رشیدی (Nazemzadeh and Rashidi, 2007)). کانسارهای سرب و روی با علامت  مشخص شده‌اند.

**Fig. 2.** Simplified geological map of the Mazar-Rutchun region (modified after Roshanravan et al., 1997 and Nazemzadeh and Rashidi, 2007). Pb-Zn deposits were marked with .



## زمین‌شناسی

از دیدگاه تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران زمین، ناحیه معدنی مزار- روتشون در پهنه ساختاری سنندج- سیرجان جنوبی قرار گرفته است (شکل ۱). بر اساس پژوهش محجل و همکاران (Mohajjel et al., 2003) و محجل و فرگوسن (Mohajjel and Fergusson, 2014) پهنه سنندج- سیرجان در موقعیت زمین‌ساختی پشت‌کمانی قرار دارد و در نتیجه فرورانش اقیانوس نئوتتیس به زیر صفحه ایران، ایجاد شده است (Ghasemi and Talbot, 2006). استنباط می‌شود که آغاز این فرورانش هم‌زمان با بسته‌شدن اقیانوس پالتوتتیس، در تریاس پسین تا ژوراسیک پیشین (Stampfli, 2000; Agard et al., 2005; Agard et al., 2011; Mohajjel and Fergusson, 2014) یا در ژوراسیک پسین (Mohajjel et al., 2003) است.

بر پایه داده‌های دو نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ خبر و بزار و بررسی‌های صحرائی این پژوهش، چینه‌شناسی ناحیه معدنی مزار- روتشون به ترتیب سن از قدیم به جدید شامل: کمپلکس (مجموعه یا هم‌تافت) گل‌گهر، کمپلکس روتشون و کمپلکس خَبر (به سن پالئوزوئیک)، کربنات‌های دگرگون‌شده پرمین، متافلیش‌های ژوراسیک- کرتاسه، مرم‌های کرتاسه (کوه‌خبر)، فلیش‌های ائوسن - الیگوسن و رسوبات کواترنر است (شکل ۲). مجموعه سنگ‌های کمپلکس گل‌گهر (واحد Pz<sub>2</sub>)، دربردارنده گنیس، میکاشیست، آمفیبولیت و کمی گدازه اولترامافیک دگرگون‌شده بوده و حاصل دگرگونی ردیفی رسوبی - آتشفشانی است که هم‌زمان یا با اندکی تأخیر مورد هجوم توده‌های نفوذی مافیک احتمالاً در حال تفریق قرار گرفته است.

کمپلکس روتشون (واحد Pz<sub>3</sub>) به عنوان میزبان کانه‌زایی سرب و روی و آهن در منطقه است. این مجموعه از نظر چینه‌شناختی در زیر کمپلکس خبر متعلق به دونین میانی - بالایی؟ و بر روی کمپلکس گل‌گهر قرار گرفته است. در کمپلکس روتشون تناوب مرم، شیست‌سبز، شیست‌های سیاه، میکاشیست، چرت‌های سیاه و تغییر رخساره شدید لیتولوژیکی در جهت افقی و عمودی دیده

می‌شود و فراوانی شیست سیاه و چرت سیاه در ارتباط مستقیم با گدازه‌های بازالتی دگرگون‌شده (شیست سبز و آمفیبولیت) است (Roshanravan et al., 1997). سنگ‌های کربناتی دگرگون‌شده (مرمرهای دولومیتی، آنکریتی و کلسیتی)، به رنگ‌های قهوه‌ای نارنجی و خاکستری روشن تا تیره دیده می‌شوند و اغلب بخش‌های به نسبت مرتفع منطقه را تشکیل داده و ضخامت آنها از کمتر از یک متر تا بیش از ۵۰۰ متر متغیر است. در میان تناوب غیرکربناته مرم‌ها، شیست‌سبز و کلریت شیست دیده می‌شود که بیانگر فعالیت‌های آذرین در زمان تشکیل آنهاست (شکل ۳- A). شکل‌های حاصل از چین‌خوردگی خمشی- جریانی و خمشی- برشی در مرم قابل مشاهده است.

اغلب سنگ‌های مجموعه (کمپلکس) گل‌گهر و روتشون توسط دایک‌هایی با ترکیب میکرودیوریت، میکروگابرو و تا دیاباز قطع شده‌اند (شکل ۳- B). همچنین بیشتر واحدهای کمپلکس روتشون مورد هجوم رگه‌های کوارتزی و کلسیتی قرار گرفته‌اند. رگه‌ها و بودین‌های کوارتزی تراوشی به رنگ سفید با ضخامت کمتر از یک سانتی‌متر تا بیش از ۵ متر درون شیست و مرم این واحد دیده می‌شوند (شکل ۳- C و D).

از آنجا که در بخش‌های واحد Dcs (اولین افق از کمپلکس خَبر) که به طور مستقیم بر روی بالاترین افق‌های شیستی کمپلکس گل‌گهر قرار گرفته، فسیل‌های مربوط به دونین میانی پیدا شده است شاید بتوان تصور کرد که حد بالایی کمپلکس روتشون تا سیلورین بالایی نیز برسد (Roshanravan et al., 1997).

واحدهای کمپلکس خبر، دربردارنده مجموعه‌ای از مرم دولومیتی، مرم کلسیتی، کالک شیست، اسلیت، فلیت و شیست سبز هستند که سن مجموعه آنها از دونین میانی تا کربونیفر زیرین است. نوازی و همکاران (Navazi et al., 2001) در شمال‌غربی روستای مزار و در حاشیه دامنه شرقی کوه خَبر، در متن سنگ آهکی بلورین متناسب به دونین کمپلکس خبر، نشانه‌های بارز و آشکاری از سنگ‌واره مشاهده کردند که به طور طبیعی به واسطه تأثیر پدیده دگرگونی، در نمونه دستی قابل شناسایی نبوده است.

توده‌های نفوذی با رخدادهای زمین‌ساختی در بخشی از پیکره خود دچار دگرریختی کاتاکلاستیک و میلونیتی شده است. گروه دوم شامل تعداد بسیار زیادی توده‌های نفوذی مافیک تا حدواسط با ترکیب میکروگابرو، مونزونیت و مونزودوریت و دیاباز است که اغلب به شکل دایک و گاهی به شکل آپوفیز درون سنگ‌های مختلف کمپلکس‌های گل‌گهر، روتشون و خبر نفوذ کرده‌اند (شکل ۲ و شکل ۳-B).

امتداد عمومی اغلب دایک‌ها نزدیک به E-W است. این توده‌های نفوذی در مجاورت تمامی کانسارها و نشانه‌های معدنی سرب و روی و آهن دیده می‌شود. به علاوه در مناطق بدون کانه‌زایی هم یافت می‌شوند. ضخامت دایک‌ها از ۰/۵ متر تا حدود ۷ متر بوده و درازای آنها به دلیل قرارگیری در زیر واریزه‌ها و نفوذ به عمق قابل اندازه‌گیری نیست؛ اما درازای آنها هیچ وقت کمتر از ۲۰ متر نبوده است.

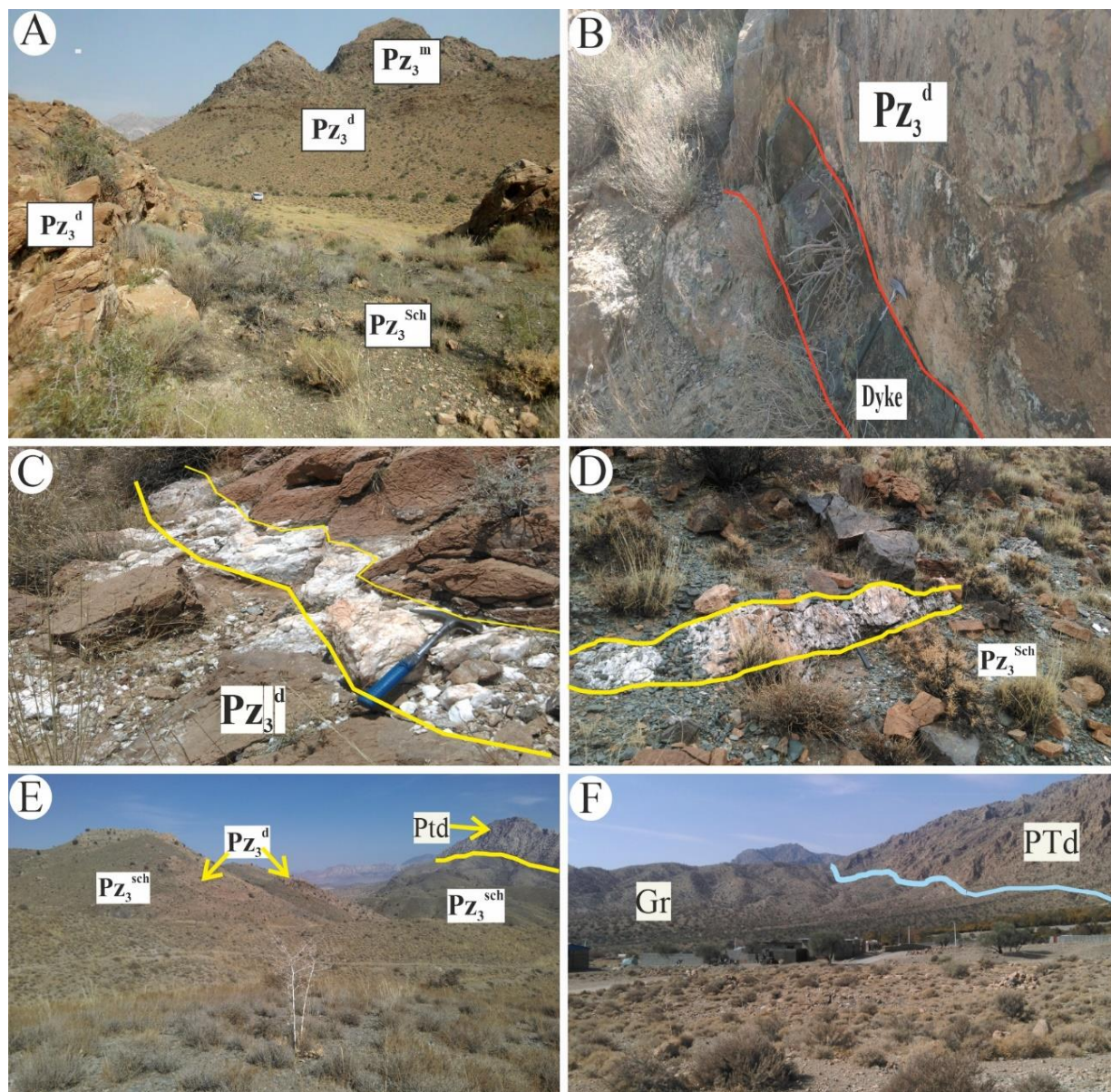
### ویژگی‌های عمومی کانه‌زایی

کانه‌زایی سرب و روی در ناحیه مزار- روتشون، درون مرمرهای کلسیتی و دولومیتی ( $PZ_3^d$  و  $PZ_3^m$ ) کمپلکس روتشون نهشته شده است (شکل ۴-A، B، C و D). این کربنات‌های دگرگون شده از دو کانی کلسیت و دولومیت تشکیل شده‌اند و کانی‌های فرعی مانند مسکویت، کوارتز، کانی کدر نیز در برخی از آنها دیده می‌شود. در مرمر کلسیتی بلورهای کلسیت با بیشینه قطر تا ۹ میلی‌متر با تیغه‌های ماکلی نازک تا ضخیم (نوع I و II) غیر عمود بر هم (شکل ۴-E و F)، بخش عمده سنگ را تشکیل می‌دهند. بر پایه ریخت‌شناسی ماکل‌های کلسیت (Burkhard, 1993) و حضور کلسیت (نوع I و II)، دمای دگرگون شدن این مرمر بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد است که با رخساره شایست سبز مطابقت دارد. مرمرها در تناوب با شایست (شایست سبز، میکا شایست و شایست گرافیتی) و فیلیت هستند (شکل ۳-A و E و شکل ۴-G). توده‌های نفوذی مافیک تا حدواسط، اغلب به شکل دایک و گاهی به شکل آپوفیز درون واحدهای مختلف کمپلکس روتشون نفوذ کرده‌اند (شکل ۳-B و شکل ۴-A).

بر پایه مجموعه میکروفسیل‌های یافت شده، سن سنگ آهکی بلورین کمپلکس خبر دونین نیست و آپتین-آلین است (Navazi et al., 2001). با این توضیح، می‌توان بخش عمده‌ای از کمپلکس خبر را به کرتاسه زیرین نسبت داد (شکل ۲) و سن دونین را می‌توان تنها برای بخش زیرین آن (گری‌واک دگرگون‌شده و کالک‌شایست واحد DCS) قبول کرد.

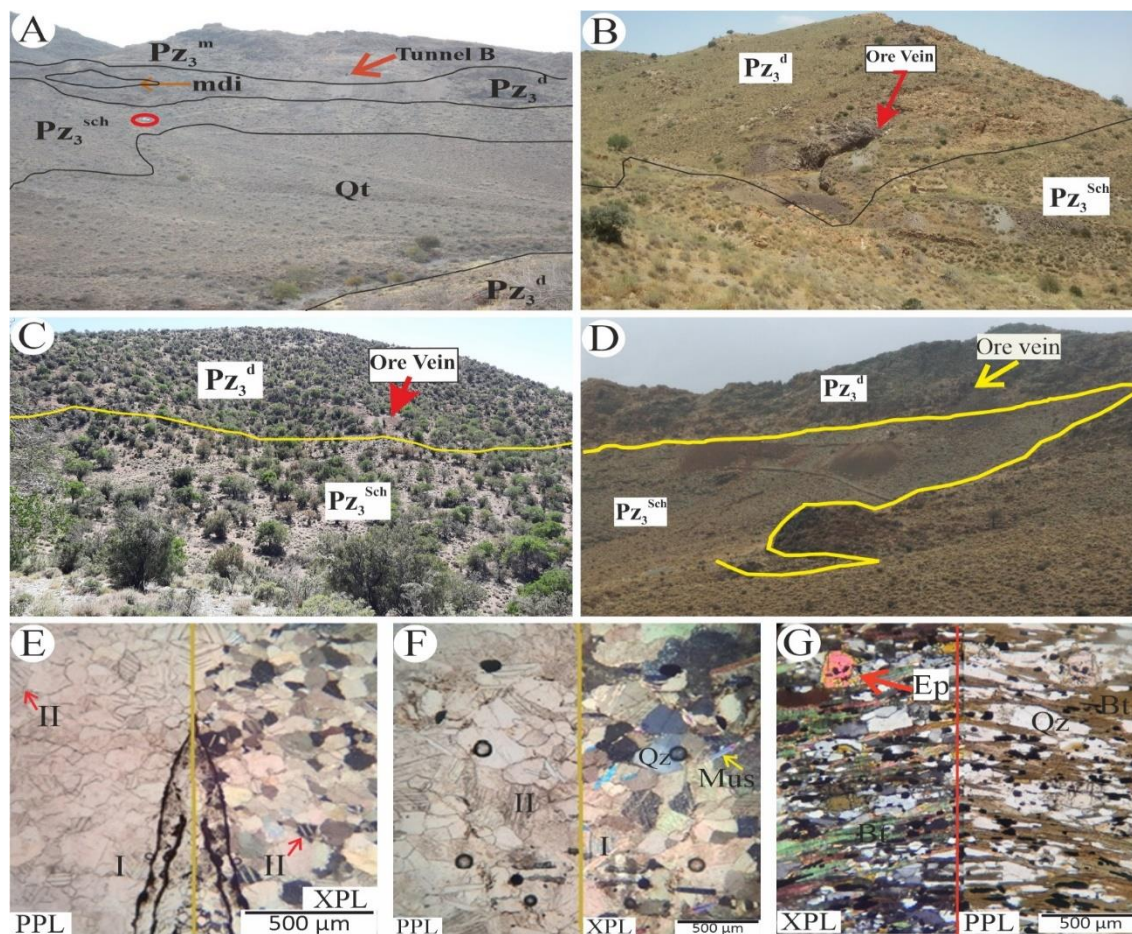
در مجاورت روستای درب مزار ضخامت قابل ملاحظه‌ای از مرمر کلسیتی و دولومیتی به سن احتمالی پرموتریاس (شکل ۲ و شکل ۳-E)، بر روی مجموعه روتشون دیده می‌شود (واحدهای  $PT^m$  و  $PT^d$ ). در غرب و جنوب‌غربی ده‌سرد بر روی واحدهای پرموتریاس، ردیفی از سنگ‌های رسوبی-آتشفشانی با ضخامت به نسبت زیاد (در حدود یک‌هزار متر) دیده می‌شود که در برگیرنده تناوبی از سنگ‌های آتشفشانی مافیک و پیرو کلاستیک‌های وابسته و شیل، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و کنگلومراست که همگی بیشینه تا ابتدای رخساره شایست سبز دگرگون شده‌اند (شکل ۲). سنگ‌های به سن ژوراسیک - کرتاسه به طور اساسی در یک محیط پرتکاپو با تغییراتی در عمق تشکیل شده‌اند و ردیفی از سنگ‌های آواری، آذرآواری، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، شیل و کمی سنگ آهک متبلور در تناوب با سنگ‌های آتشفشانی را دربردارد. فلیش‌های الیگومیوسن با یک باند کنگلومرای درشت دانه آغاز می‌شود و ردیف ضخیمی از رسوبات ماسه‌سنگی - شیلی کنگلومرای با تناوب ریتمی، دانه‌بندی تدریجی ادامه می‌یابد. نهشته‌های پادگانه‌ای و بستر آبراهه و مسیل به سن کواترن جوان‌ترین واحدهای ناحیه مزار- روتشون را تشکیل داده‌اند (شکل ۲).

توده‌های نفوذی پهنه ساندج- سیرجان جنوبی در ناحیه مورد بررسی را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه نخست را توده‌های نفوذی مافیک تا فلسیک (گابرو تا گرانیت) دربر می‌گیرد که به شکل استوک و باتولیت‌های کوچک تظاهر دارند (Ebrahimnejad et al., 2020) (شکل ۳-F). توده‌های آذرین نفوذی ده‌سرد مهم‌ترین توده‌های این گروه هستند (شکل ۲). این



شکل ۳. واحدهای سنگی ناحیه مزار-روتشون. A: تناوب شیست ( $Pz_3^{sch}$ )، مرمر دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) و مرمر کلسیتی ( $Pz_3^m$ ) در کمپلکس روتشون، B: دایک دیابازی درون مرمرهای دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) کمپلکس روتشون، C: رگه کوارتزی تراوشی بدون کانه‌زایی درون مرمرهای دولومیتی کمپلکس روتشون، D: رگه سیلیسی بدون کانه‌زایی درون شیست ( $Pz_3^{sch}$ ) کمپلکس روتشون، به بودین شدگی رگه دقت شود، E: مرمر دولومیتی پرموتریاس ( $Pz_3^d$ ) درون مرمرهای دولومیتی کمپلکس روتشون، توجه به بودین رگه، F: نفوذ گرانیت به سن تریاس بالا (Gr) در مجاورت مرمر دولومیتی پرموتریاس ( $PT^d$ ) در جنوب روستای مزار و شمال غرب ده‌سرد

**Fig. 3.** Some rock units of the Mazar-Rutchun region. A: Alternation of schist ( $Pz_3^{sch}$ ), dolomitic marble ( $Pz_3^d$ ) and calcitic marble ( $Pz_3^m$ ) in the Rutchun complex, B: Diabasic dyke in dolomitic marbles ( $Pz_3^d$ ) of Rutchun complex, C: Barren quartz vein in the dolomitic marble of Rutchun complex, D: Barren silicic vein within the schist ( $Pz_3^{sch}$ ) of the Rutchun complex, pay attention to the vein boudinage, E: Permian-Triassic dolomitic marble ( $PT^d$ ) is placed on schist and marble alternation of Rutchun complex, western of Mazar village, and F: Intrusion of Upper Triassic granite (Gr) in Permian-Triassic dolomitic marble ( $PT^d$ ) in the south of Mazar village and northwest Deh-Sard



**شکل ۴.** برخی ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانی‌سازی در ناحیه مزار-روتشون. A: قرارگیری شیسیت ( $Pz_3^{sch}$ ) در زیر مرمر دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) و کلسیتی ( $Pz_3^m$ ) در کانسار چاه‌نار. به حضور توده آذرین میکرودیوریتی (mdi) و دگرسانی شدید در اطراف رگه کانه‌دار نیز توجه شود. B: شیسیت ( $Pz_3^{sch}$ ) در زیر مرمر دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) در کانسار سه‌چاه. به دگرسانی شدید در اطراف رگه کانه‌دار توجه شود. C: شیسیت ( $Pz_3^{sch}$ ) در زیر مرمر دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) در کانسار زردبازی‌در، D: شیسیت ( $Pz_3^{sch}$ ) در زیر مرمر دولومیتی ( $Pz_3^d$ ) در کانسار چاه‌سرب ارجمندی. در تمامی کانسارهای سرب و روی این ناحیه، رگه‌های کانه‌دار درون مرمر تشکیل شده‌اند. E: تصویر میکروسکوپی آینه‌ای مرمر کلسیتی به نسبت خالص (سمت راست PPL و سمت چپ XPL) واحد  $Pz_3^m$  با بلورهای کلسیت با تیغه‌های ماکلی نازک تا ضخیم (نوع I و II) و رگه کلسیتی و اکسید آهنی (نمونه CN-A5). F: تصویر میکروسکوپی آینه‌ای از مرمر کلسیتی، دربردارنده بلورهای کلسیت با تیغه‌های ماکلی نازک تا ضخیم (نوع I و II) غیر عمود بر هم، کوارتز و مسکویت (نمونه CN-A5) و G: تصویر میکروسکوپی آینه‌ای (سمت راست نور XPL و سمت چپ PPL) از شیسیت واحد  $Pz_3^{sch}$ . کانی‌های بیوتیت، کوارتز، اپیدوت و کانی کدر در تصویر مشخص هستند (نمونه CN-A6). علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده‌اند (Bt: بیوتیت، Ep: اپیدوت، Mus: مسکویت، Qz: کوارتز).

**Fig. 4.** Some features of geology and mineralization in Mazar-Rutchun region. A: Schist ( $Pz_3^{sch}$ ) under dolomitic ( $Pz_3^d$ ) and calcitic marble ( $Pz_3^m$ ) in Chah-Nar deposit. Pay attention to the presence of microdiorite bodies (mdi) and alteration around the ore vein, B: schist ( $Pz_3^{sch}$ ) under the dolomitic marble ( $Pz_3^d$ ) in Seh-Chah deposit, pay attention to the alteration around the ore vein, C: schist ( $Pz_3^{sch}$ ) under the dolomitic marble ( $Pz_3^d$ ) in Zardbazi-Dar deposit. In all the Pb-Zn deposits of this region, mineralized veins have occurred in the marble, E: Mirror photomicrographs of calcitic marble ( $Pz_3^m$ ) with thin to thick twin calcite blades (type I and II) and calcite and iron oxide vein, F: Mirror photomicrograph of calcitic marble ( $Pz_3^m$ ) contains thin to thick (type I and II) non-perpendicular calcite twin blades, quartz and muscovite, and G: Mirror microscopic transmitted light image (right side XPL and left side PPL) of schist ( $Pz_3^{sch}$ ) contains biotite, quartz, epidote and opaque minerals (sample CN-A6). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Bt: Biotite, Ep: Epidote, Mus: Muscovite, Qz: Quartz)

### کانه‌زایی سولفیدی اولیه (گرمابی):

کانه‌زایی اولیه (سولفیدی) در ۳ کانسار سه‌چاه، چاه‌سربی و چاه‌نار دیده می‌شود. مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی کانسننگ اولیه در معادن متروکه سرب و روی سه‌چاه و چاه‌نار را می‌توان سنگ‌میزبان کربناتی و کنترل ساختاری نام برد.

رگه اصلی معدن متروکه سرب و روی چاه‌نار، درون زون گسلی با مختصات  $N70^{\circ}E/15^{\circ}NW$  قرار گرفته است. این رگه در تونل‌های A و B مورد استخراج و بهره‌برداری قرار گرفته است (شکل ۴-A). درون تونل A، رگه دیگری با مختصات  $N95^{\circ}E/72^{\circ}NE$  نیز استخراج شده است.

مرمرهای دولومیتی و کلسیتی در کانسار سرب و روی سه‌چاه بسیار دگرسان شده‌اند (شکل ۴-B). تعداد زیادی توده نفوذی بازیک تا حدواسط و اغلب به شکل دایک در این محدوده دیده می‌شود. در زیر مرمرهای  $Pz_3$  تناوبی از میکا شیست، کلریت شیست و شیست گرافیتی- مواد آلی وجود دارد (شکل ۳-E). کانه‌زایی در امتداد سه گسل با مختصات  $N85^{\circ}W/85^{\circ}N$ ،  $N75^{\circ}W/65^{\circ}N$  و  $N25^{\circ}W/90^{\circ}$  حادث شده است (شکل ۵-A). دایکی با روند  $N70^{\circ}W$ ، روند کانه‌زایی دوم را قطع کرده است و بیانگر نفوذ توده‌های آذرین پس از کانه‌زایی است.

دو کانسار چاه‌نار و سه‌چاه از نوع دیرزاد (اپی‌ژنتیک) بوده و ساخت و بافت‌های رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و برشی به طور آشکار در آنها دیده می‌شود (شکل ۵-B و C). در کانسار چاه‌نار در مرحله کانه‌زایی گرمابی گالن، اسفالریت، پیریت به همراه کوارتز، کلسیت و مقادیر ناچیزی دولومیت نهشته شده‌اند (شکل ۵-D). همبرزایی کانه‌زایی در کانسار سه‌چاه نیز شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت به همراه کوارتز، کلسیت، دولومیت و باریت است (جدول ۱).

سنگ‌میزبان کانه‌زایی سرب و روی در کانسار چاه‌سربی نیز مرمرهای کمپلکس روتشون هستند. در این کانسار در توالی کمپلکس روتشون، گاهی شیست گرافیتی نیز در تناوب با مرمر دیده می‌شود. در چندین نقطه دایک‌های با ترکیب حدواسط تا

بازیک به درون واحدها نفوذ کرده‌اند. آثار معدن‌کاری باستانی به صورت سرباره در مجاور کانسار دیده می‌شود. در کانسار چاه‌سربی علاوه بر ساخت و بافت‌های رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و برشی (که در دو کانسار سه‌چاه و چاه‌نار هم مشاهده شد)، بخشی از کانسننگ ساخت لامینه‌ای و دانه پراکنده دارد و به نظر می‌رسد که نوع کانه‌زایی سولفیدی در آن، با دو کانسار دیگر متفاوت باشد (شکل ۶-A تا C). دیگر تفاوت کانه‌زایی این کانسار با دو کانسار دیگر را می‌توان به حضور مواد آلی در قالب احتمالی گرافیت در کنار سولفیدها اشاره کرد (شکل ۶-B). این موضوع با توالی چینه‌شناسی کمپلکس روتشون که تناوبی از مرمر، شیست سبز و شیست گرافیتی را شامل می‌شود، قابل توجیه است. در مرحله کانه‌زایی گرمابی گالن، اسفالریت، پیریت و کالکوپیریت به همراه کوارتز، کلسیت، مواد آلی، دولومیت و باریت نهشته شده‌اند (شکل ۶-D و جدول ۱). بافت و ساخت دانه پراکنده و لامینه‌ای کانسننگ (به طور عمده پیریت) درون سنگ‌میزبان کربناتی بیانگر نهشت این کانی هم‌زمان با رسوب‌گذاری سنگ‌میزبان است (شکل ۶-A). اثرهای دگرشکلی و دگرگونی در این کانسار با شواهدی از جمله چین‌خوردگی‌ها و گسلس میکروسکوپی و مزوسکوپی در کانسننگ و سنگ‌میزبان قابل پیگرد است (شکل ۶-E و F)؛ در حالی که دو کانسار چاه‌نار و سه‌چاه پس از آخرین رخداد دگرگونی (احتمالاً پس از کرتاسه پسین) نهشته شده‌اند و شواهدی از دگرگونی در آنها دیده نمی‌شود.

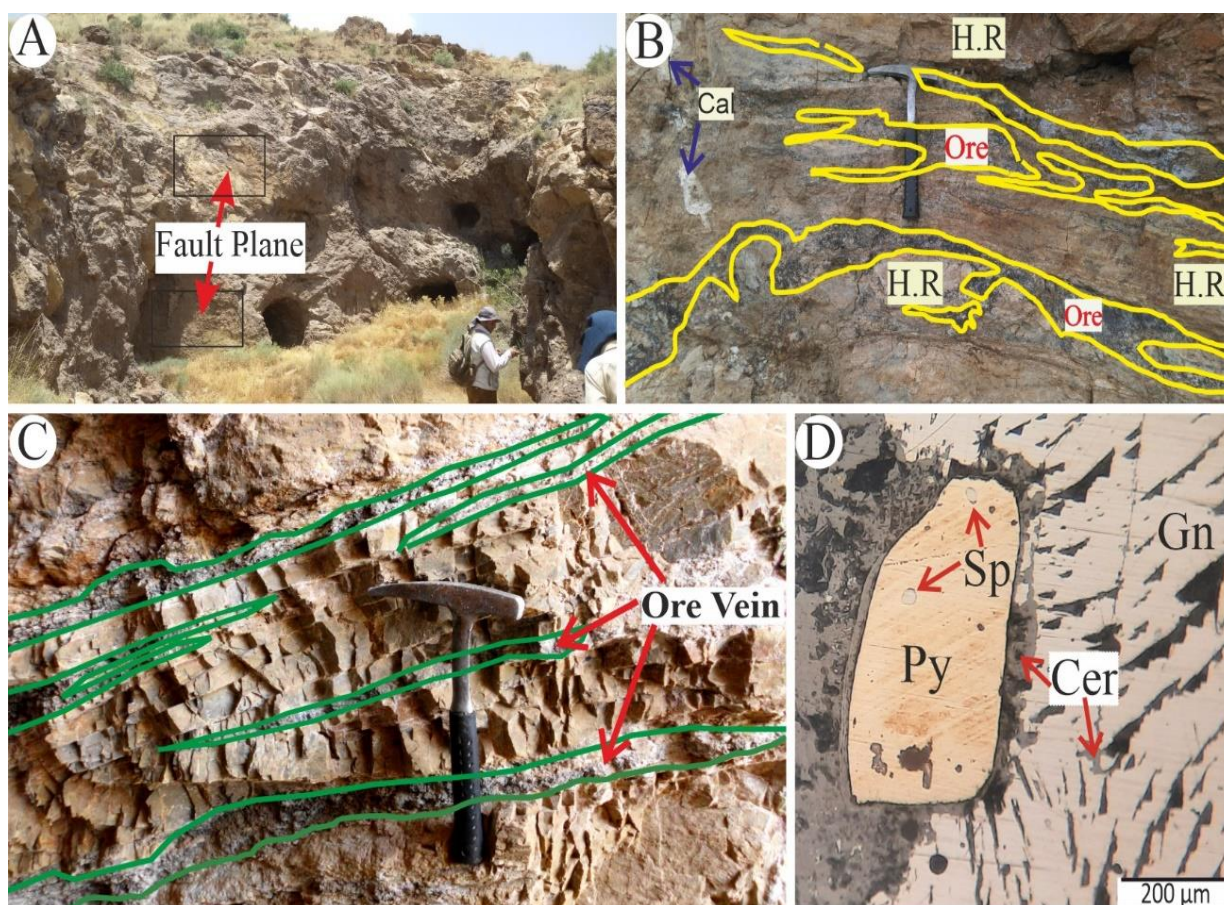
### کانه‌زایی غیرسولفیدی ثانویه (برون‌زاد)

در ناحیه مزار- روتشون آب و هوای نسبتاً گرم و خشک حاکم بر دوره هولوسن، برای اکسایش سوپرژن (برون‌زاد) سولفیدها و تشکیل کانی‌سازی غیرسولفیدی فلزهای پایه با میزبان کربناتی مطلوب بوده است.

در دو کانسار زردبازی در و چاه سرب ارجمندی فقط کانسننگ ثانویه (غیرسولفیدی) و گوسان دیده می‌شود (شکل ۷-A و B) و

غیرسولفیدی در اثر اکسایش سولفیدهای اولیه تشکیل شده و اغلب از اسمیت‌سونیت، هیدروزینیت، همی‌مورفیت و سروزیت تشکیل شده است (شکل ۷- D، E، F و G).

عملیات معدن کاری برای استخراج کانسنگ غیرسولفیدی بوده است. علاوه بر این دو کانسار، در بخشی از کانسار چاه‌نار نیز کانسنگ غیرسولفیدی و گوسان همراه آن تشکیل شده و مورد بهره‌برداری نیز قرار گرفته است (شکل ۷- C). کانسنگ



شکل ۵. کانی‌سازی در کانسارهای چاه‌نار و سه‌چاه. A: صفحه گسل با مختصات  $N85^{\circ}W/85^{\circ}N$  در بردارنده رگه معدنی در کانسار سه‌چاه، B: ساخت جانشینی، پرکننده فضای خالی و برشی در کانسار چاه‌نار، C: ساخت پرکننده فضای خالی در کانسار چاه‌نار و D: حضور اسفالریت به صورت ادخال در کانی پیریت در کنار کانی گالن. گالن به دلیل فرایند جفت گالوانیک (گالن-پیریت) در حال اکسید شدن به آنگلزیت و سروزیت است (نور انعکاسی). علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Cer: سروزیت، Gn: گالن، Sp: اسفالریت، Py: پیریت، H.R: سنگ میزبان).

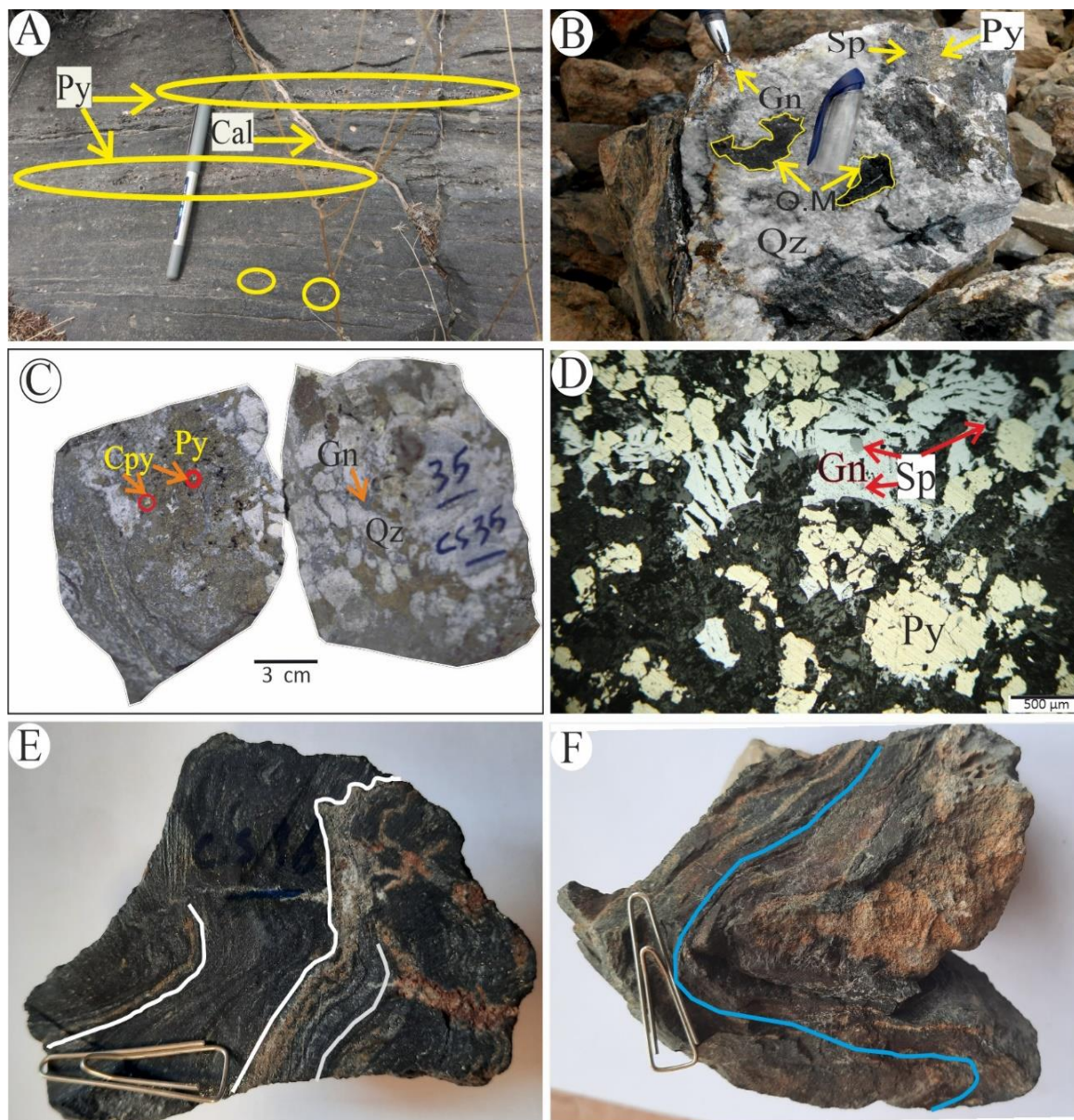
**Fig. 5.** Mineralization in Chah-Nar and Seh-Chah deposits. A: Fault plane with coordinates  $N85^{\circ}W/85^{\circ}N$  containing the vein ore in Seh-Chah deposit, B: replacement, open space filling and breccia structures in Chah-Nar deposit, C: Open space filling structure in Chah-Nar deposit, and D: Sphalerite as an inclusion in the pyrite next to the galena. Galena is being oxidized to anglesite and cerusite due to the process of galvanic coupling (galena-pyrite) (reflected light). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: Calcite, Cer: Cerusite, Gn: Galena, Sp: Sphalerite, Py: Pyrite, H.R: Host rock).

**جدول ۱.** کانی‌های شناسایی شده در نمونه‌های کانسنگ سولفیدی، غیرسولفیدی و گوسان (کلاهیک آهنی) کانسارهای ناحیه مزار-روتشون به روش پراش پرتو ایکس. نام اختصاری کانسارها: (CN: چاه‌نار، CS: چاه سربی، SE: سه‌چاه، CA: چاه سرب ارجمندی، ZD: زردبازی‌در). علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) و بونی و موندیلو (Boni and Mondillo, 2015) اقتباس شده است (Angl: آنگلزیت، Brt: باریت، Cer: سرروزیت، Cal: کلسیت، Cpy: کالکوپیریت، Dol: دولومیت، Gn: گالن، Ght: گوئیت، Hem: هماتیت، Hmp: همی‌مورفیت، Hyz: هیدروزینسیت، Ill: ایلیت، Mas: ماسیکوت، Mnr: مینرکوردیت، Sp: اسفالریت، Smt: اسمیت‌زونیت، Qz: کوارتز، Py: پیریت).

**Table 1.** Minerals identified in sulfide, nonsulfide and gossan (iron cap) ore samples of Pb-Zn deposits in the Mazar-Rutchun region by X-ray diffraction method.

Abbreviated names of deposits; (Chah-Nar: CN, Chah-Sorbi: CS, Seh-Chah: SE, Chah Sorb Arjmandi: CA, Zardbazi-Dar: ZD). Abbreviations after Whitney and Evans (2010) and Boni and Mondillo (2015) (Ang: Angelesite, Brt: Barite, Cer: Cerussite, Cal: Calcite, Cpy: Chalcopyrite, Dol: Dolomite, Gn: Galena, Ght: Goethite, Hem: Hematite, Hmp: Hemimorphite, Hyz: Hydrozincite, Ill: Illite, Mas: Massicot, Mnr: Minrecordite, Py: Pyrite, Qz: Quartz, Smt: Smithsonite, Sp: Sphalerite).

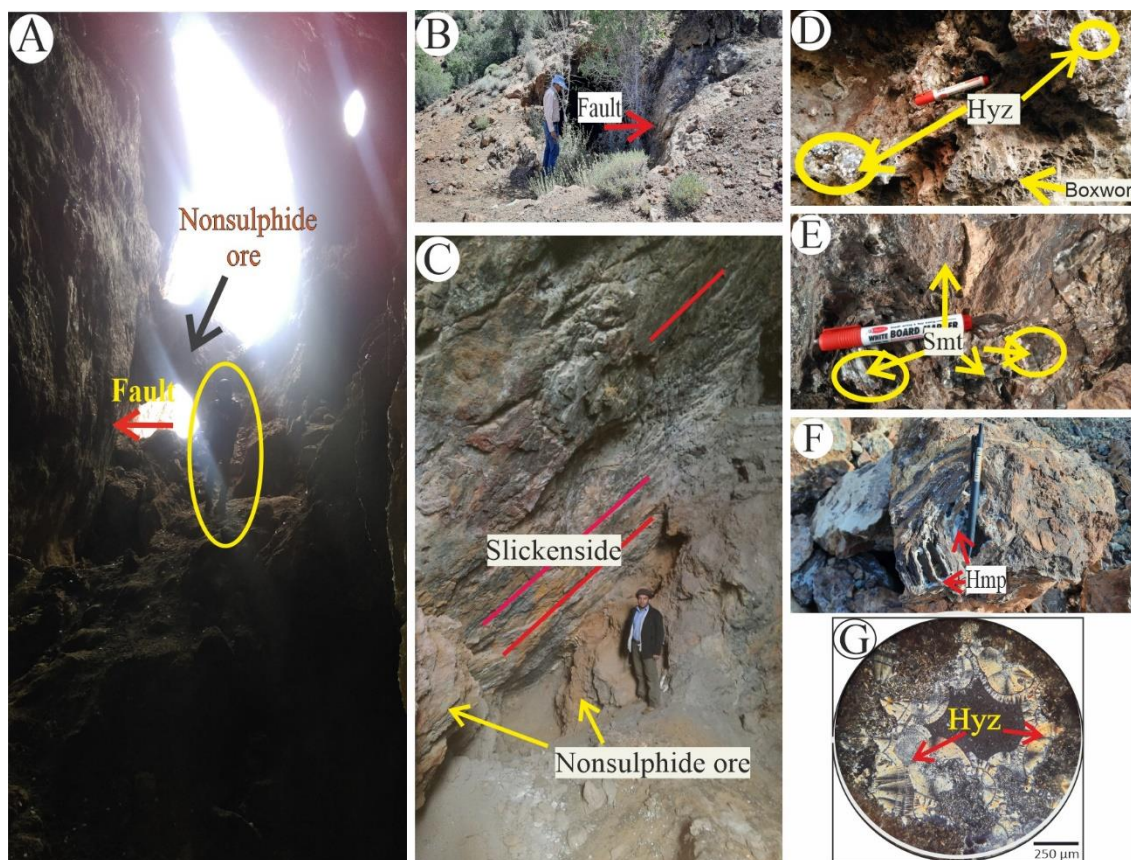
Other minerals (Silicate, oxide, sulfide, carbonate, sulfate and clay)	lead minerals (carbonate sulfide, oxide)	Zinc minerals (sulfide, carbonate and silicate)	Ore type	Sample No
Qz, Py	Gn, Angl, Cer		sulfide	CN-A-7
Qz, Py	Gn, Angl		sulfide	CN-A-11
Qz, Ght		Hmp	nonsulfide	CN-A-1
Qz, Py	Angl, Cer, Mas		nonsulfide	CN-A-12
Qz, Dol	Gn, Cer	Smt, Hmp, Mnr	nonsulfide	CN-B-2
Qz, Dol	Gn, Cer	Smt, Hyz, Hmp	nonsulfide	CN-B-6
Qz, Ill		Hmp	nonsulfide	CN-C-1
Qz, Dol, Cal	Cer	Smt, Hmp, Mnr	nonsulfide	CN-E-1
Qz, Dol, Cal		Smt, Hmp	nonsulfide	CN-E-4
Qz, Ght, Hem, Cal			gossan	CN-E-3
Qz, Ght			gossan	CN-N-1
Qz, Ght, Hem			gossan	CN-N-2
Qz, Py	Gn	Sp, Smt	sulfide	CS-6
Qz, Py, Dol, Cal	Gn	Sp	sulfide	CS-12
Qz, Dol	Gn	Sp	sulfide	CS-16
Qz, Dol, Brt	Gn, Cer	Smt	sulfide	SE-18
Qz, Py	Gn	Sp	sulfide	SE-28
Qz, Cpy, Dol, Cal	Gn	Sp	sulfide	SE-R3
Qz, Ght	Cer	Smt, Hmp	nonsulfide	CA-2
Qz, Ght, Hem	Cer	Smt, Hyz, Hmp	nonsulfide	CA-3
Qz, Ght, Hem			gossan	CA-9
Ght, Hem, Cal, Dol			gossan	CA-11
Qz, Dol		Smt	nonsulfide	ZD-B2
Qz, Ght, Hem	Cer	Hyz	nonsulfide	ZD-5
Cal, Dol		Hyz, Hmp	nonsulfide	ZD-40-1
Qz, Ght, Hem			gossan	ZD-B1
Qz, Hem	Cer		gossan	ZD-3



**شکل ۶.** کانی‌سازی در کانسار چاه‌سربی A: ساخت لامینه‌ای و دانه پراکنده پیریت درون سنگ میزبان مرمر دولومیتی. به رگچه کلسیتی تأخیری هم توجه شود، B: کانسنگ سولفیدی با ساخت غالب جانشینی و برشی با حضور پیریت، اسفالریت، گالن، کوارتز و مواد آلی (O.M)، C: ساخت برشی و جانشینی در کانسنگ سولفیدی، D: حضور پیریت و گالن در کانسنگ سولفیدی همراه با ادخال‌های اسفالریت در گالن، E و F: دگرگونی و در پی آن چین‌خوردگی و گسلش در کانسنگ سولفیدی و سنگ میزبان همراه آن. علامت اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Cpy: کالکوپیریت، Gn: گالن، Sp: اسفالریت، Py: پیریت، Qz: کوارتز، O.M: ماده آلی).

**Fig. 6.** Mineralization in the Chah-Sorbi deposit. A: Laminated and disseminated structure of pyrite in dolomitic marble (mineralized host rock). Pay attention to the post mineralization calcite vein, B: Sulfide ore with the dominant replacement and brecciated structures, presence of pyrite, sphalerite, galena, quartz and organic matter (OM), C: Replacement and breccia structure in sulfide ore, D: Pyrite and galena in sulfide ore with inclusions of sphalerite in galena, E and F: Metamorphism and subsequent folding and faulting in sulfide ore and host rock. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: Calcite, Cpy: Chalcopyrite, Gn: Galena, O.M: Organic matter, Py: Pyrite, Qz: Quartz, Sp: Sphalerite).





**شکل ۷. A:** استخراج کانسنگ غیرسولفیدی در کانسار چاه سرب ارجمند، کانه‌زایی در سطح گسل ایجاد شده است. روش استخراج کانسار، اتاق و پایه است، **B:** سطح گسلی در محل کانی‌زایی غیرسولفیدی کانسار زردبازی در، **C:** کانه‌زایی غیرسولفیدی در امتداد گسل در کانسار چاه‌نار، **D:** تشکیل هیدروزینسیت در کانسار چاه سرب ارجمند. به ساخت جعبه‌ای تشکیل شده از اکسید-هیدروکسیدهای آهن دقت شود، **E:** کانی اسمیت‌زونیت در کانسنگ غیرسولفید کانسار چاه‌نار، **F:** ساخت لایه‌ای همی مورفیت در کانسار چاه سرب ارجمند و **G:** مقطع میکروسکوپی کانی هیدروزینسیت در کانسنگ غیرسولفیدی چاه‌سرب ارجمندی (نور عبوری، XPL). علائم اختصاری کانی‌ها از بونی و موندیلو (Boni and Mondillo, 2015) اقتباس شده است (Hmp: همی مورفیت، Hyz: هیدروزینسیت، Smt: اسمیت‌زونیت).

**Fig. 7. A:** Extraction of nonsulfide ore in the Chah-Sorb Arjmandi deposit, mineralization has occurred on the fault surface. The mining method is the room and pillar, **B:** Fault plane in nonsulfide mineralization of Zardbazi-Dar deposit, **C:** Nonsulfide mineralization along the fault in Chah-Nar deposit, **D:** Formation of hydrozincite in Chah-Sorb Arjmandi deposit. Pay attention to the boxwork structure of iron oxide-hydroxides, **E:** Smithsonite in the nonsulfide ore of Chah-Nar deposit, **F:** Hemimorphite as layered shape in Chah-Sorb Arjmandi deposit, and **G:** Microscopic image of hydrozincite mineral in nonsulfide ore of Chah-Sorb Arjmandi deposit (transmitted light, XPL). Abbreviations after Boni and Mondillo (2015) (Hmp: Hemimorphite, Hyz: Hydrozincite, Smt: Smithsonite).

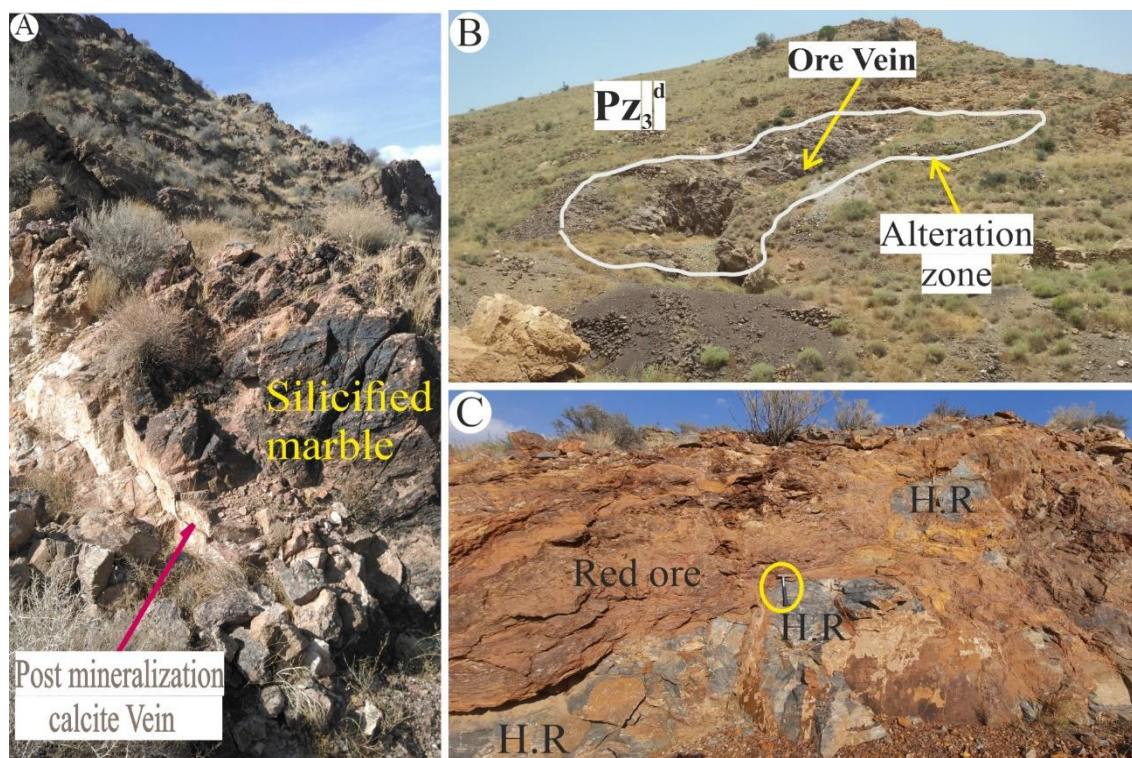
چینه‌شناسی محدوده معادن) را تشکیل داده‌اند. سنگ‌های کربناته به سبب انحلال‌پذیری و واکنش‌پذیری بالا، می‌توانند حتی در حالی که تنها در قسمت کوچکی از ستون چینه‌نگاری منطقه وجود دارند؛ به عنوان یک افق مناسب جهت کانی‌سازی عمل

### دگرسانی سنگ میزبان

مرمرهای دولومیتی - کلسیتی کمپلکس روتشون (واحد Pz3)، سنگ میزبان کانه‌زایی سرب و روی هستند و حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد از کل توالی چینه‌شناسی منطقه (بین ۴۰ تا ۷۵ درصد توالی

اکسیدهای آهن گسترش بیشتری دارد و رنگ محدود کانه‌زایی را شتری رنگ کرده است (شکل ۸-B). در کانسار چاه سربی دگرسانی سیلیسی، دولومیتی و کلسیتی دیده می‌شود (شکل ۶-B و C). در دو کانسار زردبازی در و چاه سرب ارجمندی که کانسنگ غیرسولفیدی دارند، در کنار سیلیسی و کربناتی شدن سنگ میزبان، بیشتر اکسید و هیدروکسیدهای آهن خودنمایی می‌کند (شکل ۸-C)؛ هر چند آثاری از دگرسانی گرمایی کربناتی و سیلیسی هم در اطراف رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شود.

کنند (Evans, 1993). در محدوده کانی‌زایی، مرمر کلسیتی-دولومیتی، به شدت دگرسان شده‌است. دگرسانی‌های سیلیسی و کربناتی (کلسیتی و دولومیتی) به عنوان مهم‌ترین دگرسانی در این کانسارها به شمار می‌آید. شدت و نوع دگرسانی‌ها در کانسارهای مختلف تفاوت‌هایی دارد. سیلیسی شدن در کانسار چاه‌نار به طور گسترده در سنگ میزبان قابل پیگرد است و تا چندین ده متر از رگه‌های کانه‌دار هم قابل مشاهده است. این دگرسانی سیمای تیره به سنگ میزبان داده و سطح سنگ را قهوه‌ای بسیار تیره تا مشکی کرده است (شکل ۸-A). در کانسار سه‌چاه دگرسانی دولومیتی و



**شکل ۸.** دگرسانی. A: سیلیسی شدن مرمر دولومیتی در مجاورت رگه کانه‌دار در کانسار چاه‌نار، B: دولومیتیزاسیون و سیلیسی در مجاورت رگه کانه‌دار در کانسار سه‌چاه و C: جانشینی کانسنگ غیرسولفیدی قرمز (Red ore) به جای مرمر سنگ میزبان (H.R) در کانسار چاه سرب ارجمندی. اکسید-هیدروکسیدهای آهن به رنگ لیمویی و قهوه‌ای هم در تصویر دیده می‌شوند.

**Fig. 8.** Alteration. A: Silicification of dolomitic marble in the vicinity of the ore vein in Chah-Nar deposit, B: Dolomitization and silicification in the vicinity of the ore vein in Seh-Chah deposit, and C: Substitution of nonsulfide ore (Red ore) instead of marble host rock (H.R) in the Chah-Sorb Arjmandi deposit. Iron oxide-hydroxides can be seen in lemon and brown color in the picture.

## مقایسه ویژگی‌های کانسارهای ناحیه مزار -

### روتشون با انواع کانسارهای جهان و ایران

کانسارهای سرب و روی با میزبان رسوبی بیشتر در سنگ‌های آواری- کربناتی (ذخایر نوع رسوبی- برون‌دمی) و کربناتی (ذخایر نوع دره می‌سی‌سی‌پی و ایرلندی) گزارش شده‌اند (Goodfellow and Lydon, 2007; Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). مقایسه ویژگی‌های عمومی این کانسارها با کانسارهای سرب و روی ناحیه مزار- روتشون در جدول ۲ آمده است. سنگ میزبان کانسارهای مورد بررسی (مرمر کلسیتی و دولومیتی که در نتیجه دگرگونی سنگ آهک و سنگ دولومیت تشکیل شده‌اند) با اغلب کانسارهای نوع رسوبی- برون‌دمی که اغلب سنگ میزبان شیل و سیلیستون دارند، متفاوت است. کانی‌سازی نوع رسوبی- برون‌دمی در ناحیه هواردز پاس (اردوئیسین پسین تا سیلورین پیشین) دارای سنگ میزبان گل‌سنگ‌های کربنی و آهکی و تا حدودی سیلیسی است. این لیتولوژی با مرمرهای چاه سربی قابل قیاس است. از لحاظ لیتولوژی سنگ میزبان کانسارهای سرب و روی ناحیه مزار- روتشون بیشترین شباهت را با کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی و ایرلندی نشان می‌دهند.

دو کانسار سه‌چاه و چاه‌نار پس از رخداد دگرگونی ناحیه‌ای تشکیل شده‌اند و در گروه کانسارهای دیرزاد (اپی‌ژنتیک) دسته‌بندی می‌شوند. به این جهت تشکیل این دو کانسار با کانسارهای نوع ایرلندی و متصاعدی- رسوبی کاملاً متفاوت است و تا حدی ویژگی‌های کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی از جمله کانی‌شناسی کانسنگ، بافت و ساخت کانسنگ را نشان می‌دهند؛ هرچند تفاوت‌های اساسی (از جمله دگرسانی غالب) نیز با این رده کانساری دارند. در اغلب کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی دگرسانی دولومیتی و تشکیل نسل‌های مختلف دولومیت هیدروترمال، زین اسی و ... رایج است؛ در حالی که در کانسارهای ناحیه مزار- روتشون دگرسانی سیلیسی شدن غالب است و دولومیتی شدن بسیار محدود دیده می‌شود. این سیلیس‌ها احتمالاً

منشأ دگرگونی داشته باشند.

ویژگی‌های ساختی و بافتی، کانی‌شناسی و زمان کانه‌زایی کانسار چاه سربی تا حدودی شبیه کانسارهای نوع رسوبی- برون‌دمی زیر رده سولیان مانند کانسار هواردز پاس در حوضه سولیان (Gadd et al., 2017) است (جدول ۲)؛ زیرا که همانند این نوع کانسارها، ساخت و بافت‌های لامینه‌ای، انتشاری، برشی و جانشینی را نشان می‌دهد، کانی‌شناسی مشابهی با آنها دارد و سن کانی‌سازی در این کانسار (احتمالاً اردوئیسین- سیلورین) با کانسارهای هواردز پاس حوضه سولیان (اردوئیسین پسین تا سیلورین پیشین) قرابت دارد. سنگ میزبان کانسار چاه سربی مرمر کلسیتی است و با سنگ میزبان این دسته کانسارها (گل‌سنگ‌های آهکی) مشابه است. محیط زمین‌ساختی تشکیل سنگ میزبان در این کانسارها نیز محیط کشتی است.

در جدول ۳، برخی ویژگی‌های کانسارهای سرب و روی مورد بررسی در این پژوهش با کانسارهای سرب و روی زون سنندج- سیرجان مقایسه شده است. در مورد منشأ کانسارهای مشهور سرب و روی زون سنندج- سیرجان از جمله معادن ایرانکوه و انگوران اختلاف نظر جدی وجود دارد (جدول ۳). برای مثال کریم‌پور و همکاران (Karimpour et al., 2018) و حسینی‌دینانی و آفتابی (Hosseini-Dinani and Aftabi, 2016)، ناحیه معدنی ایرانکوه را از نوع کانسارهای سرب و روی نوع دره می‌سی‌سی‌پی می‌دانند؛ اما گناری و همکاران (Konari et al., 2017) این ناحیه معدنی را از نوع رسوبی- برون‌دمی قلمداد می‌کنند.

به اعتقاد آنلز و همکاران (Annels et al., 2003)، کانسار انگوران از نوع رسوبی- برون‌دمی است؛ در حالی که گیلگ و همکاران (Gilg et al., 2006) این کانسار را یک نوع کانسار جدید سرب و روی با میزبان کربناتی دمای پایین و مجزا از کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی و رسوبی- برون‌دمی می‌دانند و ژانگ و همکاران (Zhuang et al., 2019) معتقدند که کانسار انگوران از نوع دره می‌سی‌سی‌پی است.

**جدول ۲.** مقایسه ویژگی‌های اصلی ذخایر سرب و روی متصاعدی-رسوبی، نوع ایرلندی و نوع دره می‌سی‌سی‌پی (Wilkinson, 2003; Leach et al., 2005; Wilkinson, 2014) با کانسارهای سرب و روی چاه‌نار، سه چاه و چاه سربی

**Table 2.** Comparison of the main characteristics of the SEDEX, Irish type and the MVT deposits (Wilkinson, 2003; Leach et al., 2005; Wilkinson, 2014) with Chah-Nar, Seh-Chah and Chah-Sorbi Pb-Zn deposits.

Specific-ation	SEDEX	Irish-type	MVT	Chah-Sorbi deposit	Seh-Chah deposit	Chah-Nar deposit
<b>Host rock</b>	Shales, carbonates, calcareous/ Organic rich siltstones	Non-argillaceous carbonates	Mainly dolostone and limestone, rarely sandstone	Calcitic and dolomitic <b>marble</b>	Calcitic and dolomitic <b>marble</b>	Calcitic and dolomitic <b>marble</b>
<b>Ore minerals</b>	Sphalerite, galena, pyrite, pyrrhotite, marcasite, minor sulfosalts, chalcopyrite	Sphalerite (low Fe), galena, pyrite, marcasite, minor sulfosalts, chalcopyrite	Sphalerite, galena, pyrite, marcasite, minor sulfosalts	<b>Galena</b> , pyrite, <b>sphalerite</b> , chalcopyrite	<b>Galena</b> , pyrite, sphalerite	<b>Galena</b> , pyrite, sphalerite
<b>Gangue minerals</b>	calcite, siderite, dolomite, quartz. Barite (common to absent)	dolomite, calcite, quartz. barite(common), fluorite(rare)	dolomite, calcite. barite (minor to absent), fluorite (rare)	<b>Quartz</b> , calcite is minor and dolomite is rare	<b>Quartz</b> , dolomite is minor and calcite is rare. Barite is rare	<b>Quartz</b> , calcite is minor and dolomite is rare
<b>Texture</b>	Bedding-parallel, fine-grained, layered, and banded textures with or without coarser-grained brecciated, veined, fragmental	Dominated by massive sulfide but highly variable and complex textures. replacement, common veins and open-space filling	Coarsely crystalline to fine-grained, massive to disseminated. Replacement and open-space filling.	banded textures with coarser-grained brecciated, veined,	Coarsely crystalline to fine-grained, massive to disseminated. Replacement and open-space filling.	Coarsely crystalline to fine-grained, massive. open-space filling and Replacement.
<b>Trace metal content</b>	Cu, As, Cd, Sb, Tl, Hg, Se, Bi, Ge, Ni	Cu, Cd, Ag, As, Ni, Co	Cu, Co,Ni, Ag, Sb, Cd, Ge, Ga	As, Cd, Ag,Cu	As, Cd, Ag,	As, Cd, <b>Ag</b> , Sb

ادامه جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های اصلی ذخایر سرب و روی متصاعدی-رسوبی، نوع ایرلندی و نوع دره می‌سی‌سی‌پی (Wilkinson, 2003; Leach et al., 2005; Wilkinson, 2014) با کانسارهای سرب و روی چاه‌نار، سه چاه و چاه سربی

**Table 2 (Continued).** Comparison of the main characteristics of the SEDEX, Irish type and the MVT deposits (Wilkinson, 2003; Leach et al., 2005; Wilkinson, 2014) with Chah-Nar, Seh-Chah and Chah-Sorbi Pb-Zn deposits.

Specific-ation	SEDEX	Irish-type	MVT	Chah-Sorbi deposit	Seh-Chah deposit	Chah-Nar deposit
<b>Timing of mineralization</b>	Syngenetic and/or during early diagenesis in unlithified to lithified sediment	During <b>diagenesis</b> , in partly and wholly lithified sediments. Minor syngenetic	<b>Epigenetic</b> , tens to hundreds of millions years after host- rock deposition	<b>Syngenetic</b> and/or during early diagenesis	<b>Epigenetic</b>	<b>Epigenetic</b>
<b>Associated igneous activity</b>	No direct association with igneous activity, but tuffs related to synchronous distal volcanism may be present	Close spatial and temporal association with volcanic activity in Limerick province	Not associated with igneous activity	In the sequence of host rock and mineralization, the igneous activity is characterized by the presence of green schist	Unclear relationship associated With igneous activity	Unclear relationship associated with igneous activity

گوسان‌های حاوی فلز رسوب تشکیل می‌شود. فلزهای پایه می‌توانند با جانشینی مستقیم به عنوان کانی‌های غیرسولفیدی به طور مستقیم بالای کانسنگ سولفیدی رسوب کنند و یا از طریق آب نفوذی از سولفیدهای زیرین دور شده و به عنوان نهشته‌های جانشینی سنگ دیواره نهشته شوند (Hitzman et al., 2003; Simandl and Paradis, 2008). کانسارهای نوع جانشینی مستقیم، معروف به «کانسنگ‌های قرمز»، معمولاً غنی از اکسیدهای آهن و در ارتباط با کانی‌های سولفیدی اولیه هستند و ممکن است حاوی غلظت‌های اقتصادی روی و سرب باشند.

برخلاف کانسارهای مورد بررسی، سن سنگ میزبان در اغلب کانسارهای سرب و روی با میزبان کربناتی در زون سنندج-سیرجان، کرتاسه پیشین و یا پسین است. به این علت سنگ میزبان در کانسارهای زون سنندج-سیرجان بیشتر سنگ آهک و دولومیت است و مانند کانسارهای ناحیه مزار-روتشون دگرگون نشده‌اند (به جز کانسار انگوران). کانسارهای فلزهای پایه غیرسولفیدی با میزبان کربناتی در محیط‌های برون‌زاد، در اثر اکسایش سولفیدهای فلز پایه و هوازگی شیمیایی و در نتیجه شسته‌شدن فلزها و به عنوان

جدول ۳. مقایسه برخی ویژگی‌های اصلی تعدادی از ذخایر سرب و روی زون سنندج-سیرجان با کانسارهای ناحیه مزار-روتشون

**Table 3.** Comparison of some main characteristics of a number of Pb-Zn deposits in Sanandaj-Sirjan Zone with Pb-Zn deposits in the Mazar-Rutchun region.

Specification	Iran Kuh	Emarat	Angouran	Ahangaran	Tiran basin	Mazar-Rutchun Pb-Zn deposits
<b>Host rock</b>	dolestone, limestone and less terrigenous rocks	Limestone, dolomitic limestone and shale	Marble, schist	Dolestone, sandstone	shale, limy siltstone, Carbonates	Calcitic and dolomitic <b>marble</b>
<b>Ore minerals</b>	Sphalerite, galena, pyrite ± chalcopyrite	Sphalerite, galena, pyrite, minor, chalcopyrite	sphalerite, with minor galena and trace amounts of pyrite	<b>Galena</b> , pyrite, Minor sphalerite, chalcopyrite, tetrahedrite, Magnetite	<b>Galena</b> , tetrahedrite, pyrite, <b>sphalerite</b> , chalcopyrite	<b>Galena</b> , pyrite, sphalerite ± chalcopyrite
<b>Gangue minerals</b>	dolomite, ankerite, bitomine± calcite ± quartz and Barite	calcite, Quartz, dolomite. Barite is absent	calcite, quartz	dolomite, Calcite, Quartz, Barite	<b>Quartz</b> , calcite and dolomite, barite	<b>Quartz</b> , dolomite is minor and calcite is rare ± Barite
<b>Texture</b>	Breccia, replacement, vein- veinlet, open-space filling, disseminated	Replacement, vein- veinlet, open-space filling	discordant and subvertical breccia pipe in marble, concordant breccias along the contact between marble and schist	Disseminate, Breccia-cement, Vein-veinlet	banded replacement, massive, vein-veinlets,	Coarsely crystalline to fine-grained, massive to disseminated. Replacement and open-space filling.
<b>Age of host rock</b>	Lower Cretaceous	Lower Cretaceous	Neoproterozoic/Cambrian	Lower Cretaceous	Lower Cretaceous	Lower Paleozoic (Ord-Sil?)
<b>Timing of mineralization</b>	Epigenetic (1,2) Syngenetic (3)	Epigenetic	Epigenetic (5) Syngenetic (6)	Epigenetic	Syngenetic and/or during early diagenesis	Syngenetic (Chah-sorbi) <b>Epigenetic</b> (Other deposits)
<b>Associated igneous activity</b>	No direct association with igneous activity	Not associated with igneous activity	Not associated with igneous activity	Not associated with igneous activity	Rhyodacitic volcanic and volcanoclastic	Unclear relationship associated with igneous activity
<b>Genesis type</b>	MVT (1,2) SEDEX(3)	MVT(4)	MVT(5) SEDEX(6)	Irish-type(7)	SEDEX(8)	(MVT?- SEDEX, Vein-Type) This study

1. Karimpour et al., 2018. 2. Hosseini-Dinani and Aftabi, 2016. 3. Konari et al., 2017. 4. Ehya et al, 2010. 5. Zhuang et al, 2019. 6. Annels et al., 2003. 7. Maanijou et al., 2020. 8. Yarmohammadi et al., 2016.

رخداد دگرگونی ناحیه‌ای نهشته شده‌اند (بعد از کرتاسه زیرین). هرچند این دو کانسار شباهت‌هایی با کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی دارند؛ اما بهتر است با داده‌های موجود، آنها را در گروه کلی کانسارهای رگه‌ای سرب و روی به شمار آورد. کانسارهای زردبازی در و چاه سرب ارجمندی نیز فقط از کانسنگ غیرسولفیدی تشکیل شده‌اند و بیشترین شباهت را با کانسارهای غیرسولفیدی برون‌زاد نوع جانشینی مستقیم نشان می‌دهند. ادامه بررسی‌های اکتشافی بر روی کمپلکس روتشون، در ناحیه مزار- روتشون برای دستیابی به ذخایر سرب و روی و آهن می‌تواند مفید واقع شود. توجه به زون‌های گوسان و کانسنگ غیرسولفیدی روی- سرب در بررسی‌های اکتشافی توصیه می‌شود. بررسی روندهای ساختاری زون‌های کانه‌دار و پی‌جویی چنین روندهایی در گستره منطقه، کاربرد فراوانی در شناسایی و اکتشاف کانسارهای مشابه خواهد داشت.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.

### قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳/۴۱۱۷۹ مورخ ۱۳۹۵/۴/۱ انجام شده است و بخشی از دستاوردهای رساله دکتری نویسنده ردیف اول است. از آقایان دکتر محمد صالحی تینونی، مهندس محسن جرجندی‌پور، مهندس علی رشیدی، دکتر علی امیری و دکتر احمد رشیدی بشرآبادی که در برداشت‌های مختلف عملیات صحرایی یاری نمودند، سپاسگزاریم. از داوران محترمی که در بهبود علمی مقاله نقش بسزایی داشتند، قدرانی می‌شود.

ذخایر جانشینی سنگ دیواره که به عنوان "کانسنگ‌های سفید" شناخته می‌شوند، معمولاً اکسایش کمتر دارند، با کانی‌های سولفیدی اولیه مرتبط نیستند و حاوی غلظت‌های بالاتر روی؛ اما مقادیر کمتری از سرب و آهن هستند (Hitzman et al., 2003; Reichert and Borg, 2008; Borge, 2015). برخی از کنترل‌کننده‌های کلیدی تشکیل کانسارهای غیرسولفیدی روی- سرب با میزان کربناتی عبارتند از ماهیت و در دسترس بودن سولفید اولیه در نزدیک سطح زمین، سنگ‌شناسی، بالاآمدگی زمین‌ساختی، آب و هوا و هیدرولوژی مطلوب (Hitzman et al., 2003). کانسارهای سولفیدی رایج مرتبط با کانسارهای غیرسولفیدی با میزان کربناته فلزهای پایه عبارتند از کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی و انواع دیگر کانسارهای جانشینی کربناته و به میزان کمتر کانسارهای برون‌دمی- رسوبی، کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانی و اسکارن‌ها. به نظر می‌رسد کانسنگ غیرسولفیدی در کانسارهای چاه سرب ارجمندی و زردبازی در بیشتر به نوع کانسارهای غیرسولفیدی رده جانشینی مستقیم و به میزان کمتر به رده جانشینی سنگ دیواره شباهت دارد.

### نتیجه گیری

کانسارهای سرب و روی ناحیه مزار- روتشون در زون سنندج- سیرجان جنوبی قرار دارند. این کانسارها درون مرمرهای کلسیتی و دولومیتی کمپلکس روتشون نهشته شده‌اند. شواهد زمین‌شناسی و کانی‌شناسی نشان می‌دهد که کانسار چاه سربی به صورت هم‌زاد با سنگ میزبان (اردوئین- سیلورین؟) و قبل از رخداد دگرگونی نهشته شده است و تا حدودی شبیه کانسارهای ناحیه هواردز پاس در حوضه سولیوان (نوع رسوبی- برون‌دمی) است. کانسارهای چاه‌نار و سه چاه به صورت دیرزاد (اپی ژنتیک) و پس از آخرین

- |                     |                                       |
|---------------------|---------------------------------------|
| 1. SEDEX            | 5. Organic matter                     |
| 2. MVT              | 6. Howard's Pass                      |
| 3. XRD              | 7. VMS (Volcanogenic Massive Sulfide) |
| 4. Aptian- Albanian |                                       |

## References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L. and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation. *International Journal of Earth Sciences*, 94: 401–419.  
<https://doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4>
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P., Meyer, B. and Wortel, R., 2011. Zagros orogeny: a subduction-dominated process. *Geological Magazine*, 148(5–6): 692–725.  
<https://doi.org/10.1017/S001675681100046X>
- Aghanabati, A. 1998. Major sedimentary and structural units of Iran (map). *Geosciences*, 7: 29–30. Retrieved September 20, 2022 from <https://www.researchgate.net/publication/287773361>
- Aghanabati, A. 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp. (in Persian)
- Annels, A.E., O'Donovan, G. and Bowles, M., 2003. New ideas concerning the genesis of the Angouran Zn–Pb deposit, NW Iran. Abstracts of the 26th Mineral Deposits Studies Group, University of Leicester, Leicester, England, pp 11–12.
- Boni, N. and Mondillo, N., 2015. The “Calamines” and the “Others”: The great family of supergene nonsulfide zinc ores. *Ore Geology Reviews*, 67: 208–233.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.10.025>
- Borge, G., 2015. A Review of Supergene Nonsulfide Zinc (SNSZ) Deposits- hhe 2014 Update. In: S. M. Archibald and S.J. Piercey (Editors), *Irish Association for Economic Geology, Current Perspectives on Zinc Deposits*. pp. 123–147. Retrieved September 20, 2022 from <https://www.researchgate.net/publication/310843836>
- Burkhard, M., 1993. Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress–strain markers and indicators of tectonic regime: a review. *Journal of Structural Geology*, 15(3–5): 351–368.  
[https://doi.org/10.1016/0191-8141\(93\)90132-T](https://doi.org/10.1016/0191-8141(93)90132-T)
- Ebrahimnejad, M., Arvin, M. and Dargahi, S., 2020. Petrogenesis of Dehsard felsic rocks in the southwest of Kerman, Iran: Inference for THE evolution of Sanandaj-Sirjan zone. *Journal of African Earth Sciences*, 172(1): 103978.  
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2020.103978>
- 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.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2009.08.007>
- Evans, A.M., 1993. *Ore Geology and Industrial Minerals: An Introduction*. Blackwell Scientific Publication, 390 pp.
- Gadd, M.G., Layton-Matthews, D., Peter, J.M., Paradis, S. and Jonasson, I.R., 2017. The world-class Howard’s Pass SEDEX Zn-Pb district, Selwyn Basin, Yukon. Part II: the roles of thermochemical and bacterial sulfate reduction in metal fixation. *Mineralium Deposita*, 52: 405–419  
<https://doi.org/10.1007/s00126-016-0672-x>
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj- Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6): 683–693.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003>
- Gilg, H.A., Boni, M., Balassone, G., Allen, C.R., Banks, D. and Moore, F. 2006. Marble-hosted sulfide ores in the Angouran Zn-(Pb–Ag) deposit, NW Iran: interaction of sedimentary brines with a metamorphic core complex. *Mineralium Deposita*, 41(1): 1–16.  
<https://doi.org/10.1007/s00126-005-0035-5>
- Goodfellow, W.D. and Lydon, J.W., 2007. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In: W.D. Goodfellow (Editor), *Mineral Deposits of Canada – A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. Geological Survey of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5. pp. 163–184.  
<https://geoscan.nrcan.gc.ca/starweb/geoscan/servlet.starweb?path=geoscan/fulle.web&search1=R=224179>
- Hitzman, M.W., Reynolds, N.A., Sangster, D.F., Allen, C.R. and Carmen, C.E, 2003. Classification, genesis, and exploration guides for nonsulfide zinc deposits. *Economic Geology*, 98(4): 685–714.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.4.685>
- Hosseini-Dinani, H. and Aftabi, A, 2016. Vertical lithogeochemical halos and zoning vectors at goushfil Zn-Pb deposit, irankuh district,



- southwestern Isfahan, Iran: Implications for concealed ore exploration and genetic model. *Ore Geology Review*, 72(Part 1): 1004–1021.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.09.023>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Esmaili Sevieri, A., Shabani, S., Allaz, J. and Stern, J., 2018. Geology, mineralization, mineral chemistry, and chemistry and source of ore fluid of Irankuh Pb-Zn mining district, south of Isfahan. *Journal of Economic Geology*, 9(2): 267–294. (in Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/econg.v9i2.64930>
- Konari, M.B., Rastad, E. and Peter, J. 2017. A sub-seafloor hydrothermal syn-sedimentary to early diagenetic origin for the Gushfil Zn-Pb-(Ag-Ba) deposit, south Esfahan, Iran. *Neues Jahrbuch Für Mineralogie- Abhandlungen Journal of Mineralogy and Geochemistry*, 194(1): 61–90.  
<https://doi.org/10.1127/njma/2016/0041>
- 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(3): 593–625.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.593>
- Leach, D.L., Sangster, D.F., Kelley, K.D., Large, R.R., Garven, G., Allen, C.R., Gutzmer, J., and Walters, S., 2005. Sediment-hosted lead-zinc deposits: a global perspective. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, paper 17, 561–608.  
<https://doi.org/10.5382/AV100.18>
- Maanijou, M., Tale Fazel, E., Hayati, S., Mohseni, H. and 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(4): 104339.  
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104339>
- Mohajjel, M. and Fergusson, C.L., 2014. Jurassic to Cenozoic tectonics of the Zagros Orogen in northwestern Iran. *International Geology Review*, 56 (3): 263–287.  
<https://doi.org/10.1080/00206814.2013.853919>
- 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.  
[https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4)
- Navazi, M., Nazemzadeh Shuai, M. and Azizan, H., 2001. New paleontological findings in metamorphosed rocks of Sanandaj-Sirjan zone (south of Baft), preliminary report, Geological and mineral explorations of Iran (southeast territory). Kerman, Internal Report, 10 pp. (in Persian)
- Nazemzadeh, M. and Rashidi, A., 2007. Geological map of Iran, 1:100000 series, sheet 7347-Bazar (Dehsard), Geological Survey of Iran.
- Rajabi, A., Rastad, E. and 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.  
<http://dx.doi.org/10.1080/00206814.2012.659110>
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2013. Metallogeny of Permian-Triassic carbonate-hosted Zn-Pb and F deposits of Iran: A review for future mineral exploration. *Australian Journal of Earth Sciences*, 60(2): 197–216.  
<https://doi.org/10.1080/08120099.2012.754792>
- Reichert, J. and Borg, G., 2008. Numerical simulation and a geochemical model of supergene carbonate-hosted non-sulfide zinc deposits. *Ore Geology Reviews*, 33(2): 134–151.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2007.02.006>
- Roshanravan, J, Nazemzadeh, M. and Azizan, H., 1997. Geological map of Iran, 1:100000 series, sheet 7247-Khabr, Geological Survey of Iran.
- Safari Langroudi, M., 1992. Genesis of carbonate-hosted Pb-Zn deposits in Sechah-Rutchun region (southwest of Baft, Kerman province). MSc. thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 400 p (in Persian).
- Simandl, G.J. and Paradis, S., 2008. Carbonate-hosted, nonsulphide, zinc-lead deposits in the southern Kootenay Arc, British Columbia (NTS 082F/03). Geological Fieldwork, BC Ministry of Forests, Mines and Lands, Paper 2009-1 (205–218). Retrieved January 23, 2023 from [https://www.researchgate.net/publication/267808544\\_Carbonate-Hosted\\_Nonsulphide\\_Zinc-Lead\\_Deposits\\_in\\_the\\_Southern\\_Kootenay\\_Arc\\_British\\_Columbia\\_NTS\\_082F03](https://www.researchgate.net/publication/267808544_Carbonate-Hosted_Nonsulphide_Zinc-Lead_Deposits_in_the_Southern_Kootenay_Arc_British_Columbia_NTS_082F03)
- Stampfli, G., 2000. Tethyan oceans. In: Bozkurt E, Winchester JA, Piper JDA (eds.) *Tectonics and magmatism in Turkey and surrounding area*. Geological Society of London, Special Publication, 173: 1–23.  
<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2000.173.01.01>

- Whitney, D.L. and Evans, B.W. 2010, Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.  
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilkinson, J.J., 2003. On diagenesis, dolomitisation and mineralization in the Irish Zn-Pb orefield. *Mineralium Deposita*, 38: 968–983.  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00126-003-0387-7>
- Wilkinson, J.J., 2014. Sediment-hosted zinc-lead mineralization: processes and perspectives. *Treatise on Geochemistry* 2nd edition, 13: 219–249.  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01109-8>
- Yarmohammadi, A., Rastad, E. and Rajabi, A.R. 2016. Geochemistry, fluid inclusion study and genesis of the sediment-hosted Zn-Pb ( $\pm$  Ag  $\pm$  Cu) deposits of the Tiran basin, NW of Esfahan, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 193(2): 183–203.  
<https://doi.org/10.1127/njma/2016/0301>
- Zhuang, L., Song, Y., Liu, Y., Fard, M. and Hou, Z., 2019. Major and trace elements and sulfur isotopes in two stages of sphalerite from the world-class Angouran Zn-Pb deposit, Iran: Implications for mineralization conditions and type. *Ore Geology Reviews*, 109: 184–200.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.009>