



## Intermediate-sulfidation epithermal base metal mineralization in the Kourcheshmeh deposit (SW Takestan): Constraints on geology, mineralization, and geochemistry

Sepideh Khanahmadlou<sup>1</sup>, Hossein Kouhestani<sup>2\*</sup> , Mir Ali Asghar Mokhtari<sup>3</sup> , Nahid Rahmati<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

<sup>4</sup> M.Sc., Department of Geology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

### ARTICLE INFO

#### Article History

Received: 25 September 2023

Revised: 28 January 2024

Accepted: 30 January 2024

#### Keywords

Base metal mineralization  
intermediate-sulfidation  
epithermal  
Kourcheshmeh  
Takestan  
Mardabad-Bouinzahra

#### \*Corresponding author

Hossein Kouhestani

✉ [kouhestani@znu.ac.ir](mailto:kouhestani@znu.ac.ir)

### ABSTRACT

Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu deposit is located 40 km southwest of Takestan (Qazvin province) and west of the Mardabad-Bouinzahra volcanic belt. The mineralization occurred as Pb-Zn-Cu-bearing quartz veins hosted by early-middle Eocene tuff and lava strata and show a close spatial relationship with the middle Eocene pyroxene quartz monzodiorite body. The main ore vein ranges from 70 to 200 meters long, and 0.5 to 2 meters thick. Pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, and tennantite-tetrahedrite, accompanied by minor pyrolusite and psilomelane, are the main ore minerals; quartz, calcite, siderite, barite, and sericite-illite are gangue minerals. Goethite, cerussite, smithsonite, malachite, and covellite are formed by supergene processes. The ore minerals formed as disseminated, vein-veinlets, brecciated, comb, crustiform, colloform, plumose, and vug infill textures. Six stages of mineralization can be distinguished at Kourcheshmeh, where Pb-Zn-Cu mineralization occurred as quartz-pyrite-chalcopyrite-galena-sphalerite ± tennantite-tetrahedrite veins and breccias in the second stage. Wall-rock alteration comprises silicification, intermediate argillic, carbonate, and propylitic alteration. Chondrite-normalized trace elements and REE patterns of ore samples, pyroxene quartz monzodiorite body, and fresh host acidic crystal tuff are comparable. This specifies that alteration and leaching of elements from the host volcanic rocks are involved in mineralization. Features of the Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu deposit are similar to the intermediate-sulfidation type of epithermal deposits.

### How to cite this article

Khanahmadlou, S., Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A. and Rahmati, N., 2024. Intermediate-sulfidation epithermal base metal mineralization in the Kourcheshmeh deposit (SW Takestan): Constraints on geology, mineralization, and geochemistry. *Journal of Economic Geology*, 16(2): 1–34. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1087>



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

The Urumieh-Dokhtar magmatic arc is a significant metalliferous province in Iran that hosts numerous Cu-Mo (Au) porphyry deposits (i.e., Sar Cheshmeh, Meiduk, Darreh-Zar, Chah-Firouzeh, Sarkuh, Iju, Aliabad, Kahang, and Dalli; [McInnes et al., 2003](#); [Zarasyvandi et al., 2005](#); [Taghipour et al., 2008](#); [Ayati et al., 2013](#); [Mirnejad et al., 2013](#); [Aghazadeh et al., 2015](#); [Alirezaei et al., 2017](#); [Mohammaddoost et al., 2017](#); [Golestani et al., 2018](#); [Aliyari et al., 2020](#); [Shafiei Bafti et al., 2022](#); [Mohammaddoost et al., 2023](#)) and epithermal precious and base metal (e.g., Sari Gunay, Touzlar, Chah Zard, Ay Qalasi, Milajerd, Chah-Mesi, and Govin; [Richards et al., 2006](#); [Kouhestani et al., 2012](#); [Heidari et al., 2015](#); [Kouhestani et al., 2015](#); [Mohammadi Niaei et al., 2015](#); [Kouhestani et al., 2017](#); [Alipour-Asll, 2019](#); [Zamanian et al., 2020](#); [Altenberger et al., 2022](#)) deposits. The Mardabad-Bouinzahra volcanic belt is located on the northern margin of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc. This volcanic belt hosts several Manto-type Cu, and epithermal Au and Pb-Zn-Cu polymetallic deposits/occurrences like as Atash-Anbar, Lak, Deh-Bala, Ipak, Kuh-e Jarou, Rudak, Ghomoshlou, Ghomoshdash, Qezel-Ahmad, Bidestan, Afshar-Abad, Boujafar, Guilan-Darreh, Ramand, Hajib, Chalambar, and Kourcheshmeh ([Habibi, 2007](#); [Goodarzi, 2012](#); [Ebrahimi, 2016](#); [Yousefi et al., 2017](#); [Tale Fazel et al., 2022a](#); [Tale Fazel et al., 2022b](#); [Khanahmadlou, 2023](#)). Eocene volcanic and volcanoclastic rocks generally host these deposits and are temporally/spatially associated with middle Eocene intrusions ([Kazemi et al., 2022](#)).

Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu deposit is 40 km southwest of Takestan, Qazvin province, and part of the Mardabad-Bouinzahra volcanic belt. Despite the presence of ancient and new mining activities in the Kourcheshmeh area, no comprehensive studies have been conducted on the geology, mineralogy, geochemistry, and genesis of the Kourcheshmeh deposit. In this contribution, we investigate the detailed geology, mineralogy, structure and texture, geochemistry, and alteration styles of the Kourcheshmeh deposit to constrain its ore genesis and mineralization evolution. These outcomes might be useful for the regional exploration of epithermal

base and precious metal deposits in the Mardabad-Bouinzahra volcanic belt and other parts of the Urumieh-Dokhtar magmatic arc.

### Materials and Methods

During the fieldwork conducted on the Kourcheshmeh deposit, the following activities were carried out:

- Preparation of a geological map, scale 1:5000, of the Kourcheshmeh deposit.
- Collect approximately fifty samples from rock units, ore veins, and breccias.
- Examination of seven thin sections and eighteen polished thin sections using a transmitted and reflected polarized light microscope in the University of Zanjan, Zanjan, Iran, laboratory.
- Analysis of the chemical composition of ore samples (n = 28) and fresh and barren host rocks (n = 2) at the Zarazma Analytical Laboratories, Tehran, Iran, using XRF and ICP-MS methods.

### Results and Discussion

The rock units outcropped in the Kourcheshmeh deposit comprise the Fajan Formation (conglomerate), Zyarat Formation (nummulitic limestone), Eocene volcanic (basalt, andesitic basalt, basaltic andesite, and megaporphyritic andesite) and volcanoclastic (intermediate crystal lithic tuff, and acidic crystal to lithic crystal tuff) strata, and Eocene-Oligocene (dacite, rhyodacite, rhyolite, and acidic tuff) sequence. The intrusive rock in the Kourcheshmeh area includes the middle Eocene ([Kazemi et al., 2022](#)) pyroxene quartz monzodiorite that cut the Eocene volcanic sequences. Mineralization at Kourcheshmeh occurred as Pb-Zn-Cu-bearing quartz veins within the Eocene tuff and lava sequence and is covered by a 3 m thickness of intermediate argillic alteration. The main ore vein has an N100E/70-80NE trend, 70 to 200 meters long, and 0.5 to 2 meters thick. Hydrothermal alteration includes silicification, intermediate argillic, carbonate, and propylitic alteration; the first three are directly linked to base metal mineralization. Pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, tennantite-tetrahedrite, minor pyrolusite, and psilomelane, are the main ore minerals at Kourcheshmeh. Quartz, calcite, siderite, barite, and sericite-illite are gangue minerals. Goethite, cerussite, smithsonite, malachite, and covellite are formed by supergene processes. The

ore minerals formed as disseminated, vein-veinlets, brecciated, comb, crustiform, colloform, plumose, and vug-infill textures. The mineralization processes at the Kourcheshmeh deposit can be divided into six stages, as follows:

Stage 1: Silicification of host rocks with negligible disseminated pyrite.

Stage 2: Quartz vein-veinlets and breccias that comprise mutable volumes of disseminated pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, and minor tennantite-tetrahedrite. This stage is where Pb-Zn-Cu mineralization occurs.

Stage 3: Barite vein-veinlets.

Stage 4: Carbonate (calcite and siderite) and minor manganese ores (psilomelane, pyrolusite, braunite) as veinlets and vug-infill.

Stage 5: Barren post-ore stage represented by calcite vein-veinlets.

Stage 6: Supergene processes

The Chondrite-normalized trace elements and REE patterns of ore samples, pyroxene quartz monzodiorite body, and fresh host acidic crystal tuff are comparable and show that host rocks are possibly engaged in mineralization. These patterns are almost similar for different ore samples, which can indicate the same mineralization system formed them. Characteristics of the Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu deposit are similar to the intermediate-sulfidation type of epithermal deposits.



## کانه‌زایی فلزهای پایه اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط در کانسار کورچشمه (جنوب غرب تاکستان): شواهد زمین‌شناسی، کان‌زایی و زمین‌شیمی

سپیده خان‌احمدلو<sup>۱</sup>، حسین کوهستانی<sup>۲\*</sup>، میر علی اصغر مختاری<sup>۳</sup>، ناهید رحمتی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
<sup>۳</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران  
<sup>۴</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

کانسار سرب-روی-مس کورچشمه در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب غرب تاکستان (استان قزوین) و غرب کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین زهرا واقع شده است. کان‌زایی به صورت رگه‌های سیلیسی سرب-روی-مس دار با میزبان توالی توف و گدازه ائوسن زیرین-میانی رخ داده و دارای ارتباط فضایی با توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی ائوسن میانی است. رگه اصلی کان‌دار از ۷۰ تا ۲۰۰ متر درازا و ۵/۰ تا ۲ متر ضخامت دارد. پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت همراه با اندکی پیروکسیت و پسیلوملان مواد معدنی و کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و سریسیت-ایلیت مواد باطله هستند. گوتیت، سروزیت، اسمیت زونیت، مالاکیت و کوولیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرشی، شانه‌ای، پوسته‌ای، کاکلی، گل کلمی، پرماند، بازماندی، پُرکننده فضای خالی و جان‌شینی است. شش مرحله کان‌زایی در کورچشمه قابل تفکیک است که کان‌زایی پایه به صورت رگه‌ها و برش‌های کوارتز-پیریت-کالکوپیریت-گالن-اسفالریت ± تنانتیت-تتراهدريت در مرحله دوم رخ داده است. دگرسانی گرمابی شامل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژلیک حدواسط، کربناتی و پروپیلیتی است. الگوی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت برای نمونه‌های کان‌دار، توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان، مشابه است. این امر بیانگر نقش دگرسانی و شسته شدن عناصر از سنگ‌های میزبان آتشفشانی در تشکیل کان‌زایی است. ویژگی‌های کان‌زایی در کانسار سرب-روی-مس کورچشمه با کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط قابل مقایسه است.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳  
 تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸  
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰

### واژه‌های کلیدی

کان‌زایی فلزهای پایه  
 اپی‌ترمال حدواسط  
 کورچشمه  
 تاکستان  
 مردآباد-بوئین زهرا

### نویسنده مسئول

حسین کوهستانی

kouhestani@znu.ac.ir ✉

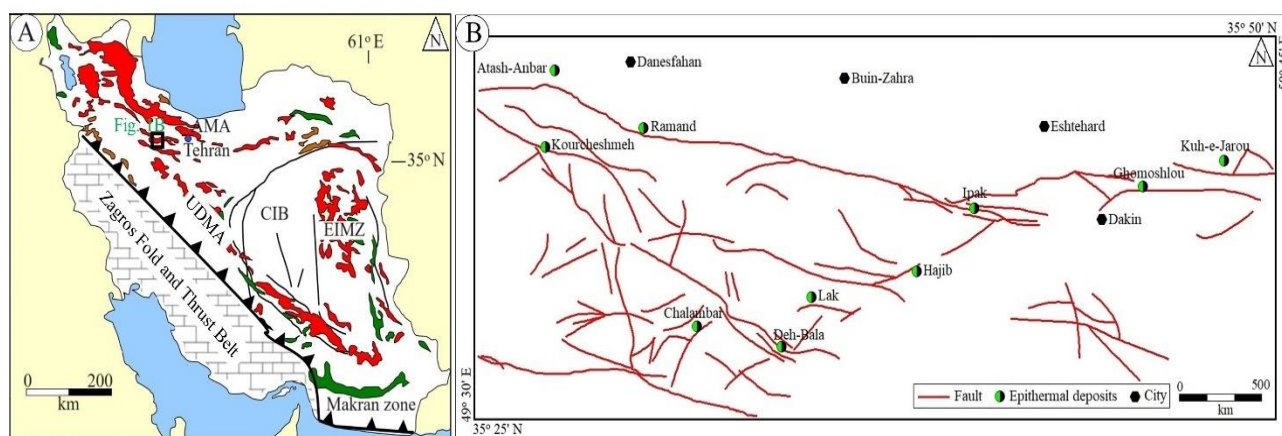
### استناد به این مقاله

خان‌احمدلو، سپیده؛ کوهستانی، حسین؛ مختاری، میر علی اصغر و رحمتی، ناهید، ۱۴۰۳. کان‌زایی فلزهای پایه اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط در کانسار کورچشمه (جنوب غرب تاکستان): شواهد زمین‌شناسی، کان‌زایی و زمین‌شیمی. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۶(۲): ۱-۳۴. <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1087>

## مقدمه

کمان ماگمایی ارومیه- دختر میزبانی مهم برای کان‌زایی‌های فلزی در ایران است. این کمان ماگمایی میزبان اصلی ذخایر مس-مولیبدن (طلا) پورفیری مانند کانسارهای سرچشمه، میدوک، دره‌زار، چاه‌فیروزه، سرکوه، ایجو، علی‌آباد، کهننگ و دالی (McInnes et al., 2003; Zarasvandi et al., 2005; Taghipour et al., 2008; Ayati et al., 2013; Mirnejad et al., 2013; Aghazadeh et al., 2015; Alirezaei et al., 2017; Mohammaddoost et al., 2017; Golestani et al., 2018; Aliyari et al., 2020; Shafiei Bafti et al., 2022; Mohammaddoost et al., 2023) و اپی‌ترمال مانند کانسارهای ساری‌گونی، توزلار، چاه‌زرد، آی‌قلعه‌سی، میل‌جرده، چاه‌مسی و

گووین (Richards et al., 2006; Kouhestani et al., 2012; Kouhestani et al., 2015; Heidari et al., 2015; Mohammadi Niaei et al., 2015; Kouhestani et al., 2017; Alipour-Asll, 2019; Zamanian et al., 2020; Altenberger et al., 2022) است. کمر بند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهره بخشی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر است (شکل ۱- A). این کمر بند آتشفشانی میزبان کان‌زایی‌های مس، سرب، روی و طلا مانند لک، ده‌بالا، ایپک، کوه جارو، رودک، گوموشلو، گوموش‌داش، قزل‌چشمه، بیدستان، افشارآباد، بوجعفر، گیلان‌دره، آتش‌انبار، رامند و کورچشمه است (شکل ۱- B) (Habibi, 2007; Goodarzi, 2012; Ebrahimi, 2016; Yousefi et al., 2017; Tale Fazel et al., 2022a; Tale Fazel et al., 2022b; Tale Fazel et al., 2023).



شکل ۱. A: زون‌های ساختاری مهم ایران و موقعیت کمر بند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهره بر روی کمان ماگمایی ارومیه- دختر (با تغییرات از علوی (Alavi, 1991) و آق‌نباتی (Aghanabati, 2004)) و B: موقعیت کانسار کورچشمه و دیگر کانسارهای اپی‌ترمال در کمر بند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهره (با تغییرات از نوگل سادات و هوشمندزاده (Nogole-Sadat and Houshmandzadeh, 1984)). (AMA: Alborz Magmatic Arc, EIMZ: East Iranian Magmatic Zone, UDMA: Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc)

زون ماگمایی شرق ایران، UDMA: کمان ماگمایی ارومیه- دختر)

مس کورچشمه (با مختصات  $35^{\circ} 42' 44/38''$  عرض شمالی و  $49^{\circ} 34' 38/20''$  طول شرقی) یکی از کان‌زایی‌های موجود در کمر بند آتشفشانی مردآباد- بوئین‌زهره است که آثار فعالیت‌های

این کان‌زایی‌ها اغلب در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن رخ داده و ارتباط مکانی و زمانی نزدیکی با توده‌های نفوذی ائوسن میانی نشان می‌دهند (Kazemi et al., 2022). کانسار سرب- روی-

و تجزیه شد. مقدار LOI نمونه‌ها با نگهداری پودر سنگ‌ها در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲ ساعت به دست آمد. برای تعیین میزان عناصر کمیاب و کمیاب خاکی توسط دستگاه ICP-MS، حدود ۰/۲ گرم از هر نمونه به روش چند اسید و با استفاده از ماکروویو هضم شد. میزان دقت برای عناصر کمیاب و کمیاب خاکی بین ۰/۱ تا ۱ گرم در تن بوده است. برای تعیین میزان فلزهای پایه، به صورت جداگانه حدود ۰/۵ گرم از هر نمونه در تیزاب سلطانی داغ (۹۵ درجه سانتی‌گراد) حل شد.

### زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه کورچشمه

منطقه مورد بررسی از نظر ساختاری-زمین‌شناسی ایران در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دانسفهان (خیارچ) (Eghlimi and Mosavvari, 2000) واقع شده است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از منطقه کورچشمه، واحدهای سنگی موجود در این منطقه شامل واحدهای رسوبی، آذرآواری و آتشفشانی ائوسن و ائوسن-الیگوسن هستند (شکل ۲). رخنمون کوچکی از توده نفوذی با ترکیب پیروکسن کوارتز مونوزودیوریتی نیز در منطقه دیده می‌شود که مجموعه‌های سنگی ائوسن را قطع کرده است. با توجه به پژوهش کاظمی و همکاران (Kazemi et al., 2022)، سن این توده‌ها ائوسن میانی است. زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی این واحدها از قدیم به جدید به شرح زیر است:

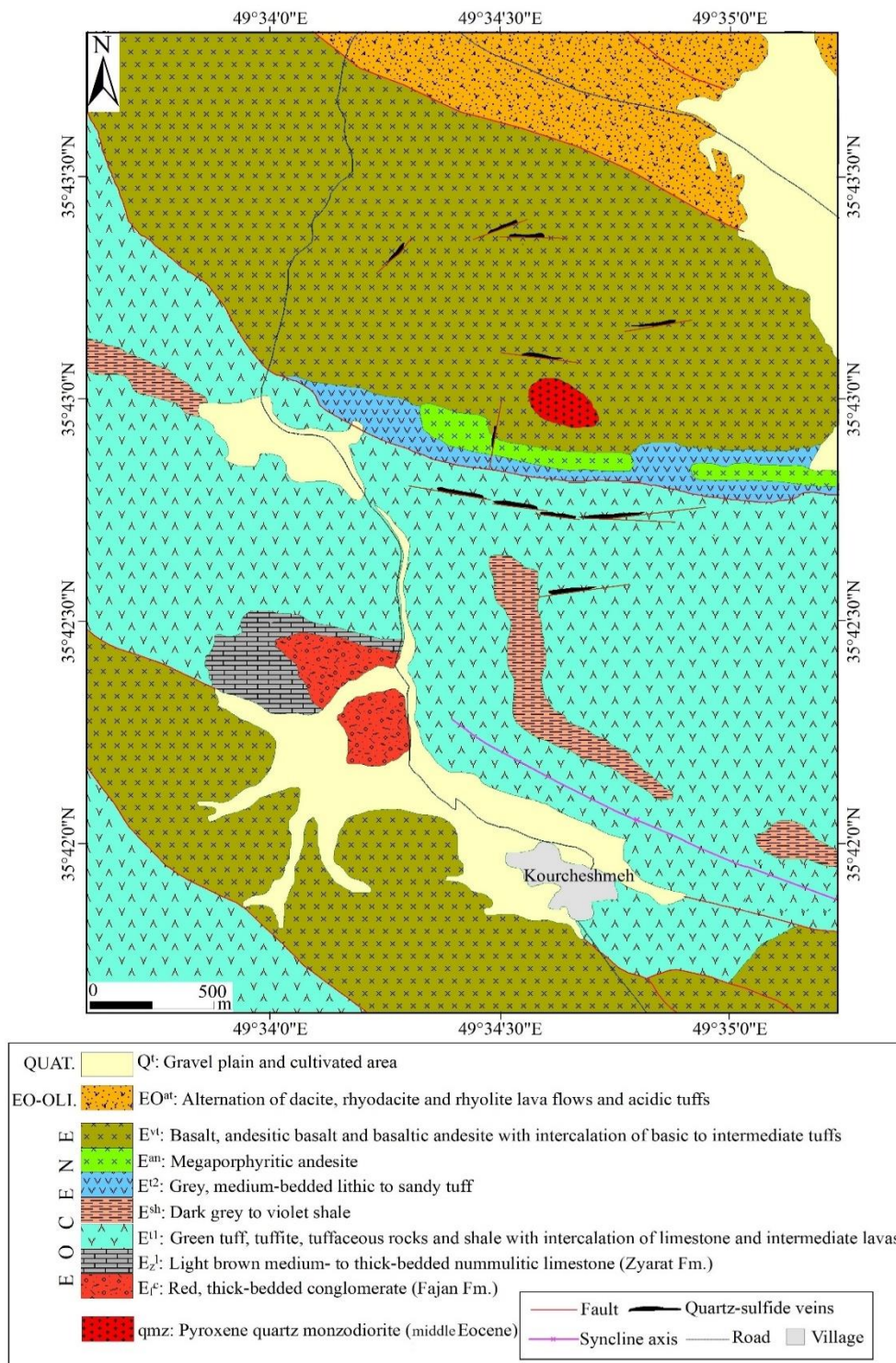
سازند فجن (واحد  $E_f^c$ ) در منطقه کورچشمه رخنمون محدودی داشته و شامل کنگلومرای قرمز رنگ ضخیم لایه و چند منشائی با سیمان ماسه‌ای است که قلوه‌های آن بیشتر از جنس واحدهای سنگی کرتاسه (قطعه‌های آهکی، ماسه‌سنگی، کوارتزیتی و آتشفشانی) است. سازند زیارت (واحد  $E_z^1$ ) به سن ائوسن زیرین (Eghlimi and Mosavvari, 2000)، شامل سنگ آهک‌های قهوه‌ای مایل به زرد به ضخامت تا ۳ متر است که به صورت هم‌شیب لایه‌های کنگلومرای سازند فجن را پوشانده و خود توسط لایه‌های توفی سبز رنگ واحد  $E_t^1$  پوشیده شده است.

استخراجی و اکتشافی قدیمی در آن دیده شده و در حال حاضر توسط بخش خصوصی در دست اکتشاف است. با این وجود، تاکنون پژوهش علمی دقیقی بر روی این کانسار انجام نشده است. در این پژوهش، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کان‌زایی، دگرسانی و زمین‌شیمی در کانسار کورچشمه مورد بررسی قرار گرفته و نوع کان‌زایی آن تعیین شده است. بررسی دقیق این نوع کان‌زایی‌ها می‌تواند عوامل کلیدی توزیع مکانی برای اکتشاف کان‌زایی‌های مشابه را معرفی کرده است و به عنوان الگوی اکتشافی در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهر و دیگر بخش‌های کمان ماگمایی ارومیه-دختر مورد استفاده قرار گیرد.

### روش مطالعه

این پژوهش شامل دو بخش بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی است. در بررسی‌های صحرایی، برای تهیه نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ منطقه و چگونگی ارتباط رگه‌های کان‌دار با سنگ‌های میزبان، تعداد ۵۰ نمونه برای بررسی‌های آزمایشگاهی برداشت شد. از این بین، تعداد ۷ عدد مقطع نازک و ۱۸ مقطع نازک-صیقلی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، کان‌نگاری و ساخت و بافت، تهیه و بررسی شد. در مرحله بعد، بر اساس بررسی‌های سنگ‌شناسی و کان‌نگاری، تعداد ۱۰ نمونه از بخش‌های کان‌دار و سنگ‌های میزبان سالم و دگرسان‌شده، انتخاب و برای تعیین مقدار عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به روش ICP-MS تجزیه شدند. برای بررسی ضرایب همبستگی عناصر در بخش‌های کان‌دار، علاوه بر ۱۰ نمونه اشاره شده، تعداد ۲۰ نمونه دیگر از رگه‌های کان‌دار به صورت تکه‌های خرده‌سنگی برداشت و به روش‌های ICP-MS (۱۰ نمونه) و XRF (۱۰ نمونه) تجزیه شدند. تمامی تجزیه‌های شیمیایی در آزمایشگاه شرکت زرآزما در تهران انجام شده است. برای این منظور، ابتدا نمونه‌ها توسط خردکننده فولادی تا ابعاد حدود ۵ مش (۴ میلی‌متر) خردایش شده و سپس توسط آسیاب آگات به مدت ۲ دقیقه تا ابعاد حدود ۲۰۰ مش (۷۴ میکرون) پودر شدند. پس از آماده‌سازی، میزان ۲۰ گرم از پودر نمونه‌ها انتخاب





شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی کانسار سرب-روی-مس کورچشمه (برای بارز شدن موقعیت توده پیروکسن کوارتز مونزودئوریتی، ابعاد آن بزرگ‌نمایی شده است).

Fig. 2. Simplified geologic map of the Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu deposit (The dimension of the pyroxene quartz monzodiorite body was exaggerated to better show its position).

همراه با توف‌های بلورین سنگی حدواسط تشکیل شده است و ضخامتی تا ۵۰۰ متر دارد. این واحد به صورت پیوسته بر روی واحدهای  $E^{I2}$  و  $E^{an}$  واقع شده است و خود به صورت هم‌شیب توسط واحد  $EO^{at}$  پوشیده می‌شود (شکل ۳-۳ A و C). مرز بین این واحد سنگی با واحد  $E^{I1}$  اغلب گسله است (شکل ۳-۳ A، B و C). بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، گدازه‌های آندزیت بازالتی دارای بافت پورفیری و میکروولیتی حاوی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در زمینه‌ای متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز با جهت‌یابی مشخص و بلورهای کوچک کلینوپیروکسن هستند (شکل ۴-۳ C). گدازه‌های بازالت آندزیتی دارای بافت‌های پورفیری و بادامکی شامل درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و هورنبلند هستند (شکل ۴-۳ D و E). گدازه‌های بازالتی، بافت‌های پورفیری، گلووموفیری، اینترگرانولار و افیتیک داشته و از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۳ F). توف‌های بلورین سنگی حدواسط دارای بافت پورفیر و کلاستیک شامل قطعه‌های سنگی (گدازه‌ای و توفی)، پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک جانشین شده توسط کلسیت و کلریت هستند (شکل ۴-۳ G). قطعه‌های سنگی، نیمه‌گرد تا زاویه‌دار بوده و ابعادی تا ۵ میلی‌متر دارند.

واحد  $EO^{at}$  از نهشته‌های اسیدی با ضخامت حدود ۴۰۰ متر تشکیل شده و شامل گدازه‌های ریوداسیتی، ریولیتی، ایگنمبریتی و توف اسیدی با رنگ روشن است. واحد  $EO^{at}$  به صورت هم‌شیب بر روی واحد  $E^{VI}$  قرار گرفته است (شکل ۳-۳ C). توده نفوذی (واحد qmz) به صورت یک رخنمون کوچک با ابعاد ۳۰ در ۵۰ متر و ریخت‌شناسی هموار در بخش‌های مرکزی منطقه کورچشمه و در داخل گدازه‌های آندزیت بازالتی و بازالت آندزیتی واحد  $E^{VI}$  قابل مشاهده است (شکل ۳-۳ C). بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، این توده ترکیب پیروکسن کوارتز مونوزودیوریتی داشته و دارای بافت گرانولار و گاهی پورفیروئیدی متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (حدود ۵۰ درصد)، کوارتز (حدود ۱۰ درصد)، کلینوپیروکسن (حدود ۲۰ درصد) و آلکالی‌فلدسپار

واحد  $E^{I1}$  شامل تناوب لایه‌های توفی و توفیت سبز رنگ و شیل با میان‌لایه‌هایی از گدازه‌های حدواسط و سنگ‌های آهکی است (شکل ۳-۳ A). لایه‌های شیلی، نازک‌لایه و به رنگ خاکستری تیره تا بنفش هستند. در برخی از بخش‌ها، ضخامت لایه‌های شیلی مزبور زیاد است و به عنوان واحد  $E^{sh}$  تفکیک شده‌اند. میان‌لایه‌های آهکی دارای نومولیت (اوسن پائینی-میانی) هستند. واحد  $E^{I1}$  به صورت هم‌شیب بر روی سازند زیارت واقع شده و خود به صورت هم‌شیب توسط واحد  $E^{VI}$  پوشیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، لایه‌های توفی از نوع توف بلورین تا توف سنگی بلورین اسیدی با بافت پورفیر و کلاستیک هستند. این سنگ‌ها از کوارتز، پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپار، کانی‌های مافیک جانشین شده با کلسیت و بیوتیت‌های کلریتی شده همراه با اندکی قطعه‌های سنگی در سیمانی از کلسیت تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۳ A). قطعه‌های سنگی به تعداد محدود و ابعاد کمتر از ۰/۵ میلی‌متر حضور دارند. این قطعه‌ها اغلب از جنس توف‌های ریزبلور و گاه گدازه‌ای نیمه‌گرد شده تا زاویه‌دار هستند. واحد  $E^{I2}$  از تناوب لایه‌های توفی با ترکیب توف سنگی تا توف ماسه‌ای به رنگ خاکستری تشکیل شده و دارای روند کلی شرقی-غربی با شیب حدود ۵۰ درجه به سمت شمال است. این لایه‌ها از سمت جنوب با مرز گسله در مجاورت با واحد  $E^{I1}$  قرار گرفته و به سمت شمال با مرز هم‌شیب توسط واحدهای گدازه‌ای و آذرآواری  $E^{VI}$  پوشیده می‌شوند (شکل ۳-۳ B). واحد  $E^{an}$  شامل گدازه‌های آندزیتی با بافت مگاپورفیری است که در بخش مرکزی منطقه با روند شرقی-غربی داخل واحد توفی  $E^{I2}$  و مرز بین واحدهای  $E^{I2}$  و  $E^{VI}$  رخنمون دارد (شکل ۳-۳ B). ضخامت این گدازه‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر متغیر است. بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، گدازه‌های آندزیتی دارای درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک جانشین شده توسط کلریت هستند. تعدادی حفره پر شده توسط کوارتز و کلریت در این گدازه‌ها دیده می‌شود که به تشکیل بافت بادامکی منجر شده است (شکل ۴-۳ B).

واحد  $E^{VI}$  از گدازه‌های آندزیت بازالتی، بازالت آندزیتی و بازالت



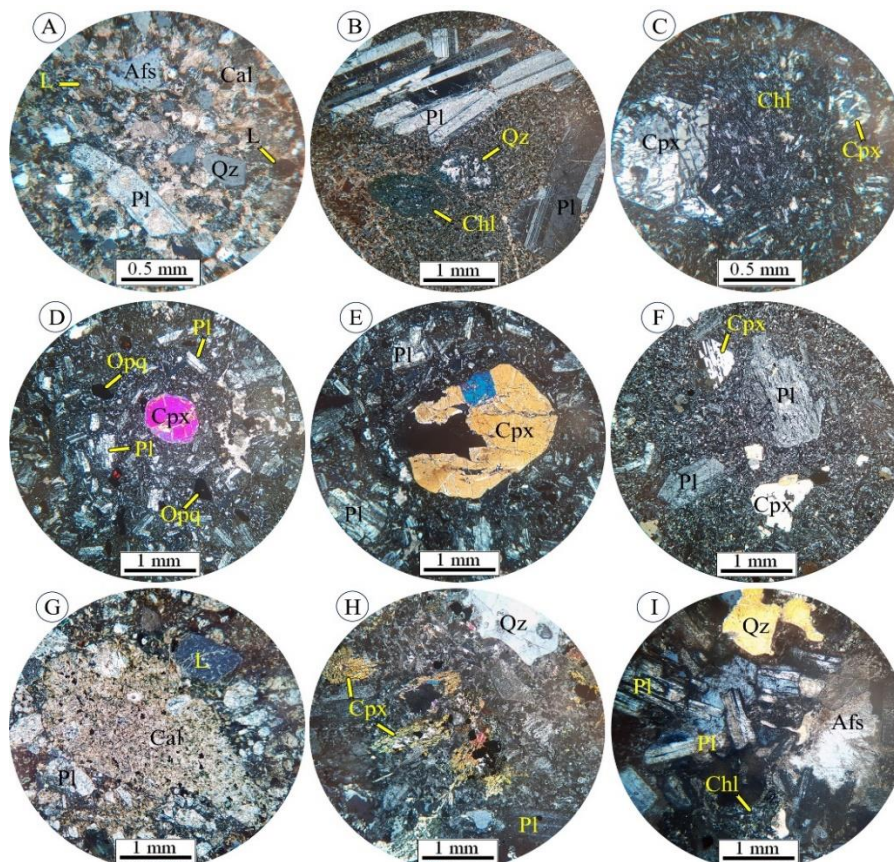
میانی- پایانی مرتبط می‌دانند. گسل‌های شمال‌غربی- جنوب‌شرقی، گسل‌های اصلی منطقه هستند. این گسل‌ها شیب ۶۵ تا ۸۰ درجه به سمت شمال‌شرق داشته و سبب پیدایش گسل‌هایی با دو حرکت افقی چپ‌گرد (N130) و راست‌گرد (N45) شده‌اند. شاخص‌ترین گسل در منطقه کورچشمه، گسل عادی موجود در منطقه کانه‌زایی با روند N100E و شیب ۷۰ تا ۸۰ درجه به سمت شمال‌شرق است.

(حدود ۱۰ درصد) است (شکل ۴-H و I). کانی‌های رسی، کانی‌های کدر و کلریت به عنوان کانی‌های ثانویه در این توده حضور دارند. روند کلی ساختارها و گسل‌ها در منطقه کورچشمه شمال‌غربی- جنوب‌شرقی است. چین‌خوردگی‌ها اغلب از نوع باز و ملایم و یا پلانژدار هستند. اقلیمی و مصوری (Eghlimi and Mosavvari, 2000) تشکیل این چین‌ها را به فازهای دگرشکلی پیرنه در ائوسن



**شکل ۳. A:** نمایی از تناوب لایه‌های توفی، توفیت و شیل (واحد  $E^{t1}$ ) که توسط گدازه‌های حدواسط تا بازیک و توف‌های حدواسط (واحد  $E^{vt}$ ) پوشیده شده است (دید به سمت جنوب‌غرب)، **B:** نمایی از تناوب لایه‌های توفی، توفیت و شیل (واحد  $E^{t1}$ )، توف سنگی و توف ماسه‌ای (واحد  $E^{t2}$ ) و گدازه‌های آندزیتی (واحد  $E^{an}$ ) (دید به سمت شمال‌شرق) و **C:** نمایی از موقعیت توده پیروکسن کوآرتز مونزودیوریتی (qmz) داخل گدازه‌های حدواسط تا بازیک و توف‌های حدواسط (واحد  $E^{vt}$ ) (دید به سمت شمال)

**Fig. 3. A:** A view of the alternation of the tuff, tuffite, and shale layers ( $E^{t1}$  unit) covered by the basic to acidic lavas and intermediate tuffs ( $E^{vt}$  unit), looking southwest, **B:** A view of alternation of the tuff, tuffite, and shale layers ( $E^{t1}$  unit), lithic tuff and sandy tuff ( $E^{t2}$  unit), and andesite lavas ( $E^{an}$  unit), looking northeast, and **C:** A view of the location of the pyroxene quartz monzodiorite intrusion (qmz) within the basic to acidic lavas and intermediate tuffs ( $E^{vt}$  unit), looking to the north



**شکل ۴.** تصویرهای میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از کانی‌شناسی و بافت واحدهای سنگی در کانسار کورچشمه. A: بلورهای شکسته و زاویه‌دار پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار در متنی از کلسیت در واحد توف بلورین تا توف سنگی بلورین اسیدی، B: درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز همراه با حفره‌های پرشده توسط کلریت و کوارتز و تشکیل بافت بادامکی در گدازه‌های آندزیتی، C: درشت‌بلور کلینوپروکسن کلریتی شده در زمینه دانه‌ریز در گدازه‌های آندزیت بازالتی، D و E: بافت پورفیری متشکل از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپروکسن در زمینه دانه‌ریز در گدازه‌های بازالت آندزیتی، F: بافت پورفیری متشکل از درشت‌بلورهای کلینوپروکسن و پلاژیوکلاز در زمینه دانه‌ریز در گدازه‌های بازالتی، G: قطعه‌های گدازه‌ای همراه با درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه دانه‌ریز و کلسیتی در توف‌های بلورین سنگی حدواسط، H: درشت‌بلورهای کلینوپروکسن کلریتی شده در توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریت و I: درشت‌بلورهای کوارتز، آلکالی فلدسپار و پلاژیوکلاز در توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (Afs: آلکالی فلدسپار، Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Cpx: کلینوپروکسن، L: قطعه‌های سنگی، Opq: کانی کدر، Pl: پلاژیوکلاز، Qz: کوارتز).

**Fig. 4.** Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of mineralogy and texture of the rock units in the Kourcheshmeh deposit. A: Fractured and angular crystals of plagioclase, quartz, and alkali feldspar within the calcite matrix in the acidic crystal tuff to lithic crystal tuff unit, B: Plagioclase phenocrysts along with vugs infilled by chlorite and quartz form an amygdaloidal texture in the andesite lavas, C: Chloritized clinopyroxene phenocryst within the fine-grained matrix in the basaltic andesite lavas, D and E: Porphyry texture comprises plagioclase and clinopyroxene phenocrysts within the fine-grained matrix in the andesitic basalt lavas, F: Porphyry texture composed of clinopyroxene and plagioclase phenocrysts within the fine-grained matrix in the basalt lavas, G: Lava fragments along with plagioclase phenocrysts within the calcitic and fine-grained matrix in the intermediate crystal lithic tuffs, H: Chloritized clinopyroxene phenocryst within the pyroxene quartz monzodiorite body, and I: Quartz, alkali feldspar, and plagioclase phenocrysts within the pyroxene quartz monzodiorite body. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Afs: alkali feldspar, Cal: calcite, Chl: chlorite, Cpx: clinopyroxene, L: rock fragments, Opq: opaque mineral, Pl: plagioclase, Qz: quartz).

## کانه‌زایی و دگرسانی

بر اساس مشاهدات صحرایی، کانه‌زایی در کانسار کورچشمه به صورت رگه‌های سیلیسی حاوی سرب، روی و مس درون توالی توفی - گدازه‌ای ائوسن زیرین - میانی رخ داده است (شکل ۵-۵A). رگه اصلی کانهدار دارای روند N100E/70-80NE بوده و از ۷۰ تا ۲۰۰ متر (به طور ناپیوسته تا ۷۵۰ متر) درازا و ۰/۵ تا ۲ متر پهنا دارد. آثار معدن کاری قدیمی در قالب چند ترانشه استخراجی کوچک در بخش‌های مختلف رگه اصلی دیده شده و گاه انباشت‌های کوچکی از ماده معدنی در کنار آنها قابل مشاهده است. علاوه بر رگه اصلی، رگه‌های فرعی دیگری در بخش‌های مختلف منطقه با طول‌های کوچک‌تر و پهنای کمتر وجود دارد. دگرسانی آرژلیک حدواسط با بیشینه ضخامت ۳ متر، اطراف رگه کانهدار اصلی را دربر می‌گیرد (شکل ۵-۵A). ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس رخنمون بیشتر از نوع رگه - رگچه‌ای، قشرگون، برشی، دانه‌پراکنده و پرکننده فضاهای خالی است (شکل ۵-۵B تا E). بلورهای گالن و کالکوپریت اغلب به صورت دانه‌پراکنده درون رگه‌های کانهدار و کانی‌های برون‌زاد روی و سرب (اسمیت‌زونیت و سروزیت) و مس (مالاکیت) به صورت پرکننده فضاهای خالی مشاهده می‌شوند. عیار نمونه‌های برداشت شده از رگه‌های کانهدار تا ۷ درصد مجموع سرب و روی، ۲ درصد مس و به ترتیب تا حدود ۷ و ۱۳۵ گرم در تن طلا و نقره را مشخص کرده است (شرکت نهادین صنعت الوند، داده‌های منتشر نشده).

بر اساس نتایج بررسی‌های صحرایی و میکروسکوپی، دگرسانی گرمایی در کانسار کورچشمه شامل دگرسانی‌های سیلیسی، آرژلیک حدواسط، کربناتی و پروپیلیتیک است. دگرسانی سیلیسی، به صورت رگه - رگچه‌ای و یا سیمان گرمایی برش‌ها رخ داده (شکل ۶-۵A و B) و منطبق بر بخش‌های کانهدار است. ضخامت رگه‌های کوارتزی بیشینه تا ۵ سانتی‌متر است. دگرسانی آرژلیک حدواسط با بیشینه ضخامت ۳ متر، اطراف رگه‌های کوارتزی کانهدار را در بر گرفته است (شکل ۵-۵A). این دگرسانی

اغلب توسط شکستگی‌ها کنترل شده و در مقیاس رخنمون سبب تغییر رنگ سنگ‌ها به سفید تا زرد شده است. در مقاطع میکروسکوپی، دگرسانی آرژلیک حدواسط به صورت جانشینی پلاژیو کلاز توسط مجموعه ایلیت و سریسیت (شناسایی توسط آنالیز XRD) همراه با مقادیر اندکی کوارتز و کلسیت مشخص می‌شود (شکل ۶-۵C و D). دگرسانی کربناتی در کانسار کورچشمه به دو نوع قابل تفکیک است. نوع اول شامل کلسیت و گاهی سیدریت است که در همراهی با کوارتز در سیمان گرمایی برش‌ها دیده شده است و ارتباط نزدیکی با بخش‌های سیلیسی کانهدار دارد (شکل ۶-۵E). دگرسانی کربناتی نوع دوم شامل کلسیت با بافت‌های رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی است (شکل ۶-۵F و G). رگه - رگچه‌های کلسیتی معمولاً رگچه‌های کوارتزی کانهدار را قطع کرده‌اند که این امر بیانگر تشکیل این رگه و رگچه‌ها در مراحل پایانی دگرسانی است. دگرسانی پروپیلیتیک اغلب درون واحدهای گدازه‌ای گسترش دارد. این دگرسانی اغلب با جانشینی کانی‌های پلاژیو کلاز، آمفیبول و پیروکسن توسط مجموعه کلریت - سریسیت و کربنات مشخص می‌شود (شکل ۶-۵H و I). طی این دگرسانی، کوارتز به میزان کم در زمینه سنگ تشکیل شده است.

## کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ

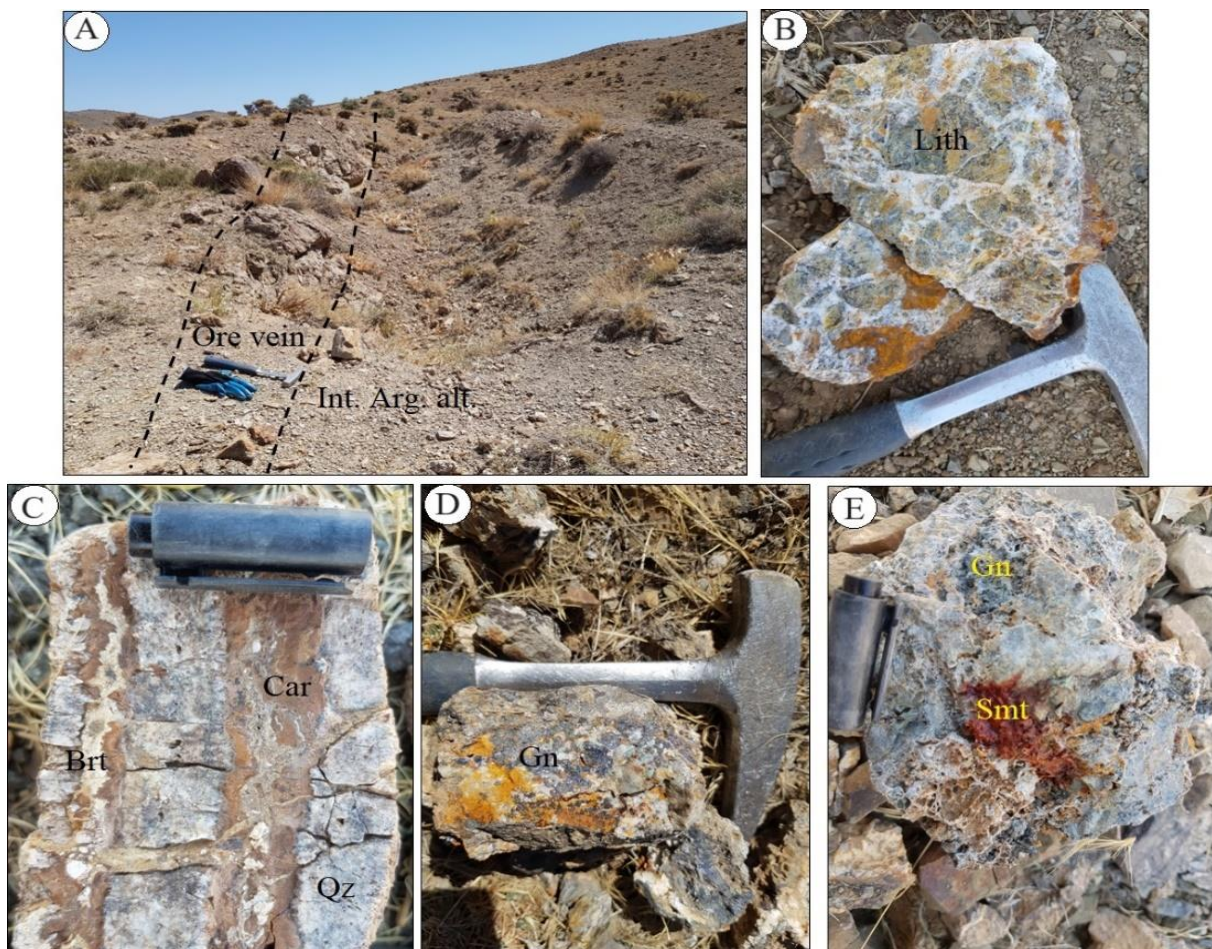
پیریت، کالکوپریت، گالن، اسفالریت و تنانتیت - تتراهدريت همراه با اندکی پیروکسیت و پسیلوملان کانی‌شناسی ماده معدنی در کانسار کورچشمه هستند. کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و سریسیت - ایلیت مواد باطله هستند. گوتیت، سروزیت، اسمیت‌زونیت، مالاکیت و کولیت در اثر فرایندهای برون‌زاد تشکیل شده‌اند. انواع بافت کانسنگ شامل دانه‌پراکنده، رگه - رگچه‌ای، برشی، شانه‌ای، پوسته‌ای (قشرگون)، کاکلی، گل‌کلی، پرماند، بازماندی، پرکننده فضای خالی و جانشینی است.

**پیرویت:** پیریت معمولاً به صورت بلورهای ریز تا متوسط و گاه درشت‌بلور بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در بخش‌های کانهدار دیده



(شکل ۷-۲). در برخی موارد، پیریت با کالکوپیریت هم‌رشدی نشان می‌دهد.

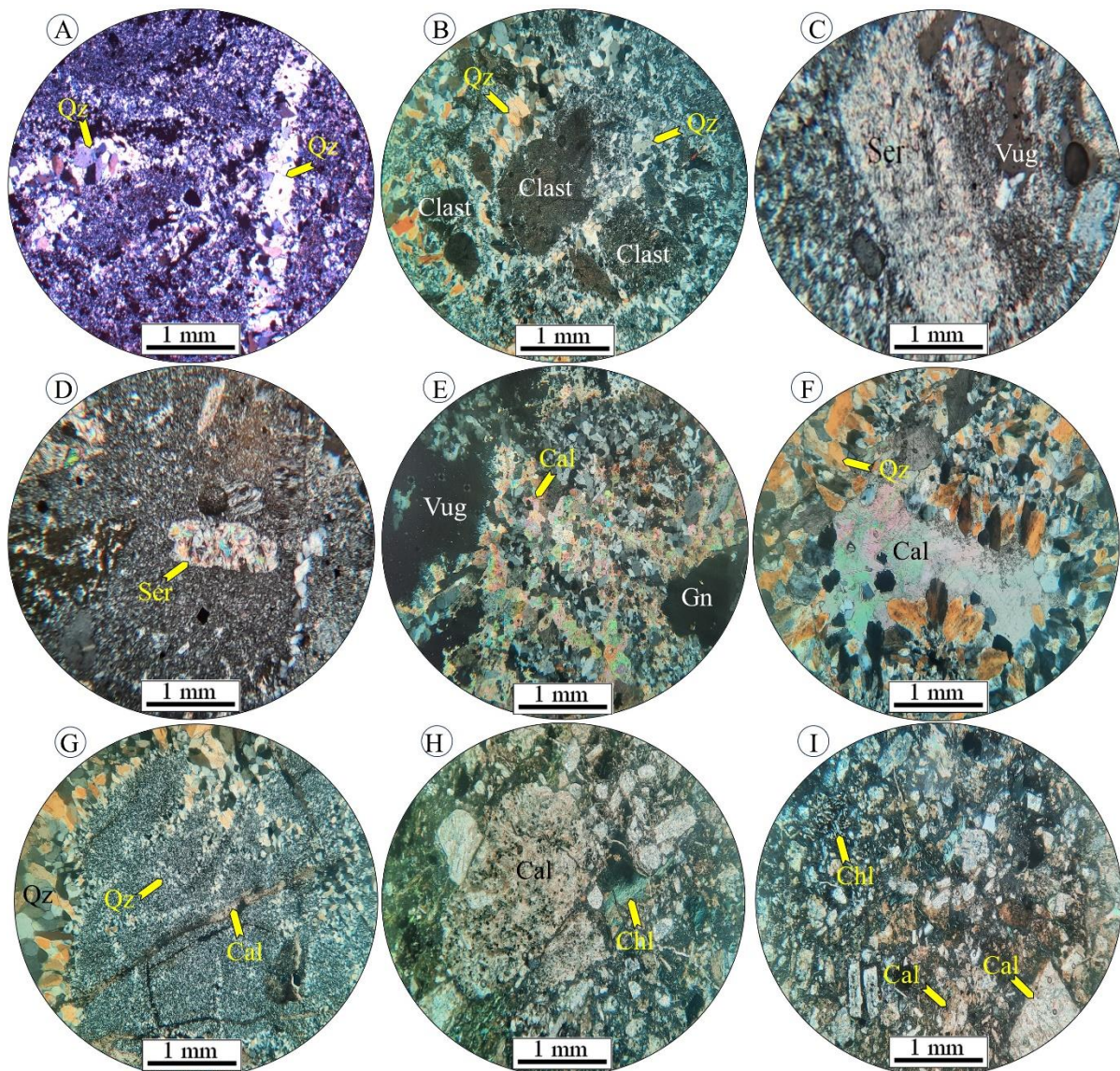
شده و اغلب به گوتیت دگرسان شده است (شکل ۷-۱). در برخی از نمونه‌ها، ادخال‌هایی از پیریت درون کالکوپیریت دیده می‌شود



**شکل ۵.** تصویرهای صحرایی و نمونه دستی از رگه کانهدار در کانسار کورچشمه. A: نمایی از رگه کانهدار اصلی در کانسار کورچشمه که توالی توفی - گدازه‌ای اتوسن میزبان خود را قطع کرده و توسط هاله‌ای از دگرسانی آرژیلیک حدواسط (Int. Arg. Alt.) دربرگرفته شده است (دید به سمت شرق)، B: بافت برشی کانسنگ با سیمان سیلیسی - سولفیدی در مقیاس نمونه دستی، C: بافت قشرگون کانسنگ شامل تناوب بخش‌های سیلیسی، باریتی و کربناتی در مقیاس نمونه دستی، D و E: نماهایی از کانه‌زایی گالن (D و E) و اسمیت‌زونیت (E) در مقیاس نمونه دستی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Car: کربنات، Brt: باریت، Gn: گالن، Lith: قطعه سنگی، Qz: کوآرتز، Smt: اسمیت‌زونیت).

**Fig. 5.** Field and hand specimen photographs of the mineralized vein in the Kourcheshmeh deposit. A: A view of the main ore vein that cut its host Eocene tuff-lava sequence and is covered by intermediate argillic alteration (Int. Arg. Alt.) halo, looking to the east, B: View of breccia texture with silica-sulfide cement of the ore in hand specimen, C: View of crustiform texture of the ore comprised of silica, barite, and carbonate parts in hand specimen, D and E: Views of galena (D and E) and smithsonite (E) mineralization in hand specimen. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Car: carbonate, Brt: barite, Gn: galena, Lith: rock fragment, Qz: quartz, Smt: smithsonite).





**شکل ۶.** تصویرهای میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از انواع دگرسانی‌ها در کانسار کورچشمه. A و B: دگرسانی سیلیسی به صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی (A) و سیمان گرمایی برش‌ها (B)، C و D: دگرسانی آرژیلیک حدواسط به صورت تبدیل پلاژیوکلاز به مجموعه سریسیت-ایلیت درون واحدهای گدازه‌ای، E تا G: دگرسانی کربناتی به صورت سیمان کلسیتی-کوارتزی برش‌های گرمایی (E)، بافت پرکننده (F) و رگچه‌های کلسیتی تأخیری (G)، H و I: تبدیل پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک به کلسیت و کلریت در دگرسانی پروپلیتیک درون واحدهای گدازه‌ای. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است. (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Gn: گالن، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت، Vug: فضای خالی).

**Fig. 6.** Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of hydrothermal alteration types in the Kourcheshmeh deposit. A and B: Silica alteration as vein-veinlets (A) and hydrothermal breccia cement (B), C and D: Intermediate argillic alteration as alteration of plagioclase to sericite-illite in the lava units, E-G: Carbonate alteration as calcite-quartz hydrothermal breccia cement (E), vug infill (F) and late calcite veinlets (G), H and I: Alteration of plagioclase and mafic minerals to calcite and chlorite in the propylitic alteration in the lava units. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Chl: chlorite, Gn: galena, Qz: quartz, Ser: sericite, Vug: open space).

**گوتیت:** گوتیت محصول دگرسانی پیریت و کالکوپیریت است (شکل ۷-A تا C).

**مالاکیت:** مالاکیت معمولاً در بخش‌های سطحی دیده شده و بافت پرکننده فضای خالی نشان می‌دهد.

**کانی‌های باطله:** کوارتز مهم‌ترین کانی باطله در کانسار کورچشمه است که به صورت بلورهای ریز تا درشت بی‌شکل تا شکل‌دار (اندازه کمتر از ۲۰۰ میکرون تا ۱ سانتی‌متر) و یا توده‌ای در رگه‌های سیلیسی دیده می‌شود. کوارتزها اغلب بافت شانه‌ای و پُرکننده فضای خالی نشان می‌دهند (شکل ۸-A). در برخی از بخش‌ها، کوارتزها دارای بافت‌های کاکلی، پوسته‌ای، گل‌کلمی و پُرمانند هستند (شکل ۸-B تا E). باریت اغلب به صورت بلورهای رشته‌ای و شعاعی شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در مقاطع میکروسکوپی دیده شده و ابعاد طولی بلورهای آن گاه تا یک سانتی‌متر نیز می‌رسد (شکل ۸-F و G). کلسیت معمولاً بافت‌های رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی را نشان می‌دهد (شکل ۶-E و F و شکل ۸-F تا I). سیدریت در همراهی با کلسیت و با بافت پرکننده فضاهای خالی در مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است (شکل ۸-H و I). سیریسیت-ایلیت به صورت بلورهای ریز (اندازه بین ۵ تا ۵۰ میکرون) در مقاطع نازک میکروسکوپی دیده می‌شوند (شکل ۶-C و D).

### مراحل کانه‌زایی و توالی هم‌یافتی

بر مبنای ترکیب کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ارتباط قطع‌کنندگی رگه و رگچه‌ها، کانه‌زایی در کانسار کورچشمه به شش مرحله قابل تفکیک است. مرحله اول با دگرسانی سیلیسی شدن (کوارتزهای ریزبلور) سنگ‌های میزبان مشخص می‌شود. پیریت تنها کانی سولفیدی این مرحله است که بیشتر به صورت بلورهای ریز و بی‌شکل (اغلب اکسیده) با بافت دانه‌پراکنده در متن سیلیسی شده سنگ دیده می‌شود (شکل ۹-A و B). مرحله دوم با حضور رگه-رگچه‌ها (تا ۳۰ سانتی‌متر) و برش‌های گرمابی با سیمان کوارتز-سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و مقادیر اندکی تنانتیت-تتراهدريت) مشخص می‌شود.

**کالکوپیریت:** کالکوپیریت معمولاً به صورت بلورهای ریز تا درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در بخش‌های کانه‌دار حضور دارد. در بیشتر بخش‌ها، کالکوپیریت توسط گوتیت و گاه کولیت جانشین شده و بافت بازماندی و گاهی اسکلتی نشان می‌دهد (شکل ۷-B و C).

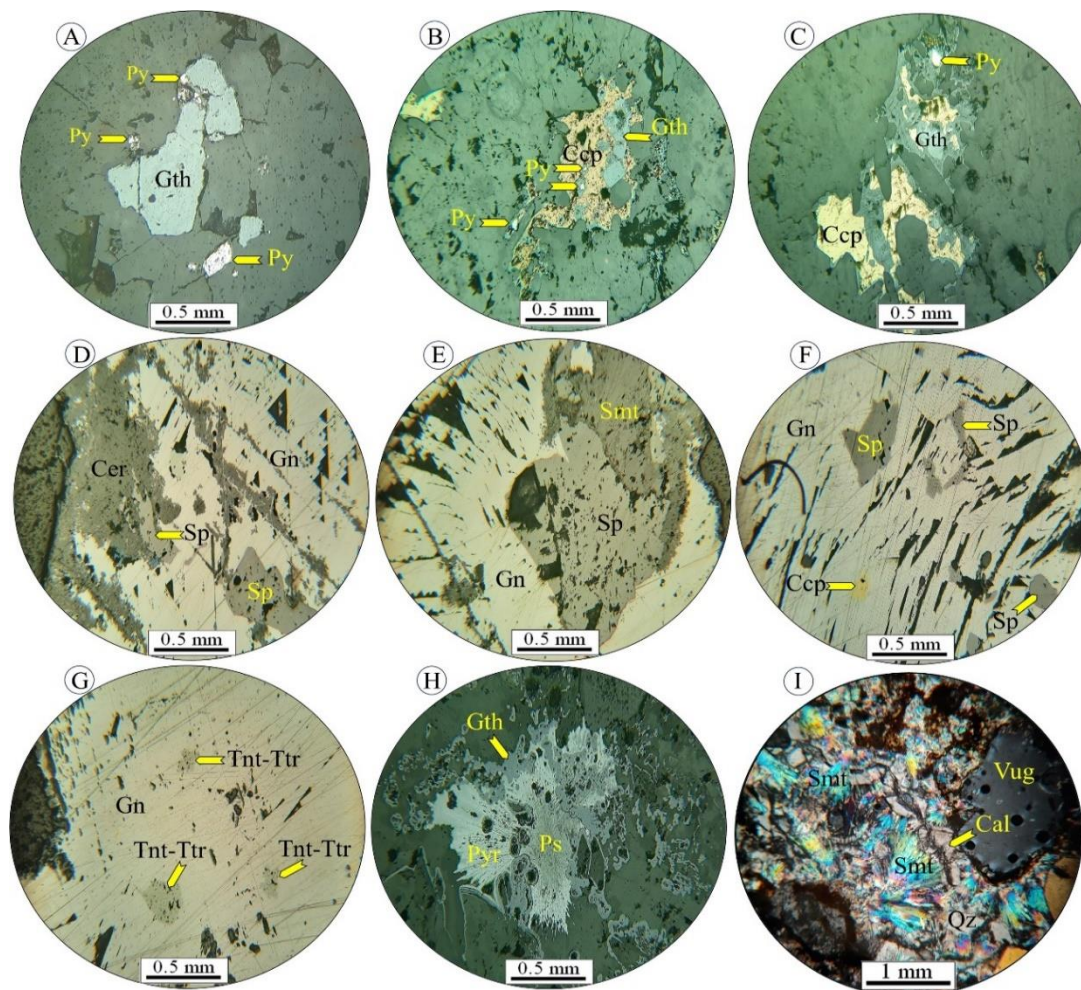
**گالن:** گالن با فراوانی حدود ۲۰ درصد، اغلب به صورت بلورهای درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با رخ‌های مثلثی در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. در بیشتر بخش‌های کانه‌دار، گالن توسط سروزیت جانشین شده است (شکل ۷-D و E). گالن اغلب با اسفالریت هم‌رشدی نشان می‌دهد (شکل ۷-D و E). در برخی از بخش‌ها، ادخال‌هایی از کالکوپیریت، اسفالریت و تنانتیت-تتراهدريت در میزبان گالن دیده می‌شود (شکل ۷-F و G). **اسفالریت:** اسفالریت با بازتاب داخلی عسلی رنگ (فقیر از آهن) و با فراوانی کمتر نسبت به گالن در بخش‌های کانه‌دار دیده می‌شود. این کانی اغلب به صورت بلورهای ریز تا متوسط بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار دیده شده و معمولاً با گالن هم‌رشدی دارد (شکل ۷-D و E). در اثر فرایندهای برون‌زاد، اسفالریت به اسمیت‌زونیت دگرسان شده است (شکل ۷-E).

**تنانتیت-تتراهدريت:** تنانتیت-تتراهدريت با فراوانی کم و به صورت ادخال‌های ریز بی‌شکل درون گالن حضور دارند (شکل ۷-G).

**پیرولوسیت و پسیلوملان:** پیرولوسیت و پسیلوملان با فراوانی محدود و به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در رگه و رگچه‌های کربناته منگنزدار حضور دارند. این کانی‌ها معمولاً با یکدیگر هم‌رشدی داشته و ارتباط نزدیکی با گوتیت دارند (شکل ۷-H).

**سروزیت و اسمیت‌زونیت:** این کانی‌ها معمولاً در بخش‌های کم‌عمق رگه‌های کانه‌دار دیده می‌شوند و به ترتیب جانشین گالن و اسفالریت شده‌اند (شکل ۷-D و E). اسمیت‌زونیت اغلب به صورت بلورهای با ساختار رشته‌ای و شعاعی در مسیر شکستگی‌ها و حفره‌ها در بخش‌های هوازده سطحی دیده می‌شود (شکل ۷-I).

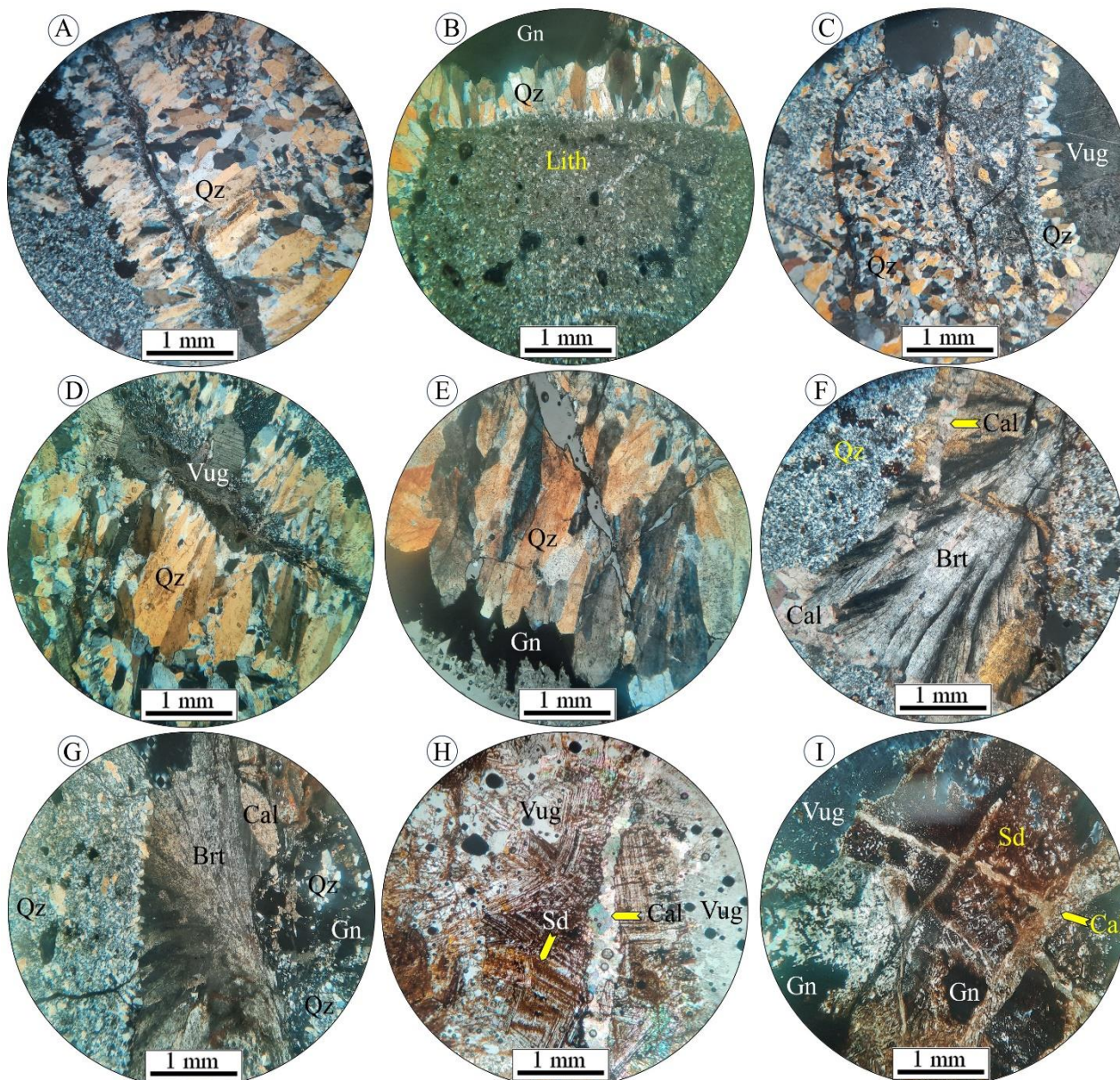




**شکل ۷.** تصویرهای میکروسکوپی (تصویر I در نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL و بقیه در نور بازتابی) از کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار کورچشمه. A: بلور نیمه‌شکل دار پیریت با دگرسانی به گوتیت، B: ادخال‌های پیریت درون کالکوپیریت، C: هم‌رشدی پیریت و کالکوپیریت. کالکوپیریت به گوتیت دگرسانی نشان می‌دهد، D و E: هم‌رشدی گالن و اسفالریت. دگرسانی گالن به سروزیت و اسفالریت به اسمیت‌زونیت نیز دیده می‌شود، F: ادخال‌های اسفالریت و کالکوپیریت درون گالن، G: ادخال‌های تنانتیت-تتراهدريت درون گالن، H: هم‌رشدی پیرولوست و پسیلوملان در کنار گوتیت با بافت گل کلمی و I: اسمیت‌زونیت با بافت پرکننده فضای خالی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Ccp: کالکوپیریت، Cer: سروزیت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Ps: پسیلوملان، Py: پیریت، Pyr: پیرولوست، Qz: کوارتز، Smt: اسمیت‌زونیت، Sp: اسفالریت، Tnt-Ttr: تنانتیت-تتراهدريت).

**Fig. 7.** Photomicrographs (I in transmitted crossed-polarized light, XPL, and the rest in reflected light) of the ore mineralogy and texture in the Kourcheshmeh deposit. A: Subhedral pyrite crystal with alteration to goethite, B: Pyrite inclusions within chalcopyrite, C: Intergrowth of pyrite and chalcopyrite. Chalcopyrite shows alteration to goethite, D and E: Intergrowth of galena and sphalerite. Alteration of galena to cerussite and sphalerite to smithsonite are also observed, F: Sphalerite and chalcopyrite inclusions within galena, G: Tennantite-tetrahedrite inclusions within galena, H: Intergrowth of pyrolusite and psilomelane along with goethite with colloform texture, and I: Smithsonite with vug infill texture. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Cer: cerussite, Gn: galena, Gth: goethite, Ps: psilomelane, Py: pyrite, Pyr: pyrolusite, Qz: quartz, Smt: smithsonite, Sp: sphalerite, Tnt-Ttr: tennantite-tetrahedrite).





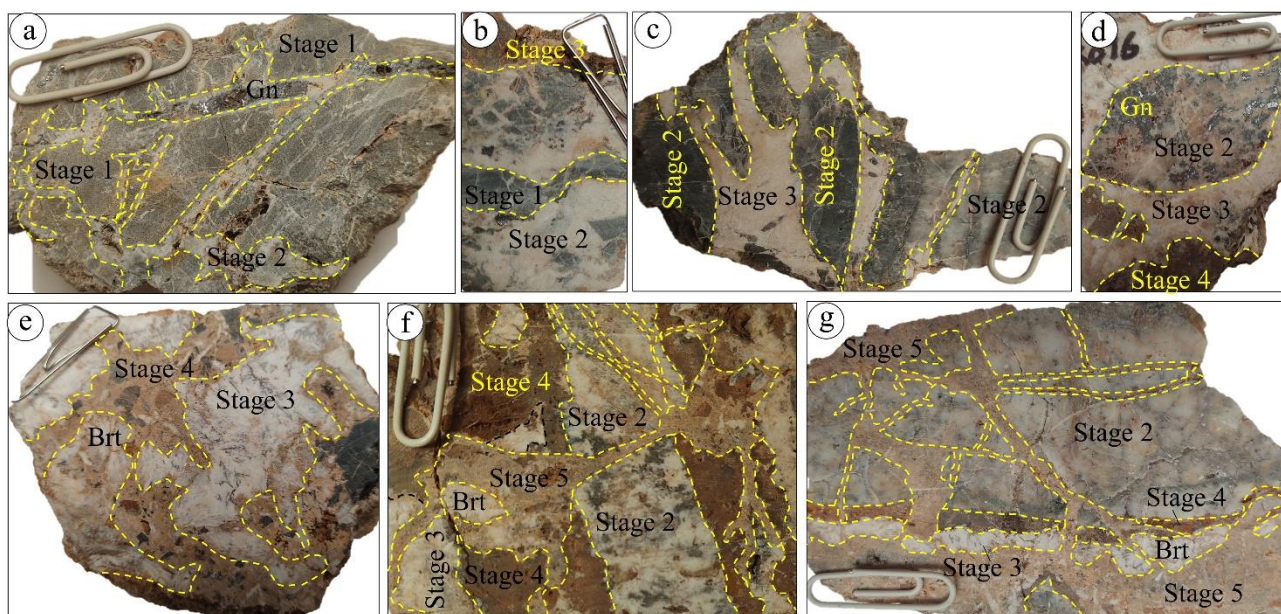
**شکل ۸.** تصویرهای میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از کانی‌های باطله و بافت آنها در کانسار کورچشمه. A: کوارتز با بافت شانه‌ای، B: رشد کوارتز با بافت کاکالی بر روی دیواره قطعه‌سنگ توفی، C: بافت پوسته‌ای کوارتز، D و E: بافت پرمانند بلورهای درشت کوارتز، F و G: بلورهای شعاعی باریت، H و I: سیدریت با بافت پرکننده فضای خالی که توسط رگچه‌های کلسیتی تأخیری قطع شده است. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Brt: باریت، Cal: کلسیت، Lith: قطعه سنگ، Gn: گالن، Qz: کوارتز، Sd: سیدریت، Vug: فضای خالی).

**Fig. 8.** Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of gangue minerals and textures in the Kourcheshmeh deposit. A: Quartz with comb texture, B: Cockade texture of quartz developed around the tuff fragment, C: Crustiform texture of quartz, D and E: Plumose texture of coarse-grained quartz crystals, F and G: Radial crystals of barite. H and I: Siderite with vug infill texture that is cut by late calcite veinlets. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Brt: barite, Cal: calcite, Lith: rock fragment, Gn: galena, Qz: quartz, Sd: siderite, Vug: open space).



منگنز (پیرولوسیت و پسیلوملان) به صورت رگچه‌ای و پرکننده فضاهاى خالی مشخص می‌شود. ضخامت رگه- رگچه‌های کربناتی این مرحله تا ۱۵ سانتی‌متر می‌رسد. رگچه‌های کربناتی این مرحله معمولاً مراحل قبلی کان‌زایی را قطع کرده است (شکل ۹- D تا G). مرحله پنجم یک مرحله عقیم بعد از کان‌زایی بوده و به آخرین فعالیت‌های گرمایی مرتبط است. این مرحله با حضور رگه و رگچه‌های کلسیتی (کمتر از ۱۰ سانتی‌متر) مشخص می‌شود که مراحل قبلی کان‌زایی را قطع کرده‌اند (شکل ۹- F و G).

این مرحله از کان‌زایی اغلب مرحله اول کان‌زایی را قطع و برشی کرده (شکل ۹- A و B) و خود توسط مراحل بعدی کان‌زایی قطع شده است و بخش‌هایی از آن به صورت قطعه‌های سنگی در سیمان گرمایی برش‌های مرحله سوم و چهارم کان‌زایی دیده می‌شود (شکل ۹- B تا D و F تا G). کان‌زایی مرحله سوم با حضور رگه و رگچه‌های باریتی (تا ۲۵ سانتی‌متر) مشخص می‌شود که مراحل قبلی کان‌زایی را قطع کرده است (شکل ۹- B تا G). در این مرحله هیچ کانی سولفیدی تشکیل نشده است. مرحله چهارم با حضور کربنات (کلسیت و سیدریت) همراه با اندکی کان‌های



**شکل ۹.** مراحل کان‌زایی در کانسار کورچشمه. A: مرحله اول کان‌زایی به صورت سیلیسی شدن سنگ میزبان، B: قطعه‌های برشی مرحله اول کان‌زایی (بخش‌های تیره) در سیمان سیلیسی- سولفیدی مرحله دوم کان‌زایی. رگچه مرحله سوم کان‌زایی که مرحله دوم را قطع کرده است نیز در تصویر قابل مشاهده است، C: رگچه‌های باریتی مرحله سوم کان‌زایی، D: قطعه‌های برشی مرحله دوم کان‌زایی (بخش‌های تیره) در رگه‌های باریتی مرحله سوم کان‌زایی، E: برشی شدن رگچه‌های باریتی مرحله سوم کان‌زایی توسط رگچه‌های کلسیتی- سیدریتی مرحله چهارم، F و G: رگچه‌های کلسیتی- سیدریتی مرحله چهارم کان‌زایی که رگچه‌های کوارتز- سولفیدی مرحله دوم و باریتی مرحله سوم را قطع کرده و خود توسط رگچه‌های کلسیتی مرحله پنجم کان‌زایی قطع شده‌اند. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Brt: باریت، Gn: گالن).

**Fig. 9.** Mineralization stages in the Kourcheshmeh deposit. A: Stage 1 mineralization as silicification of the host rock, B: Stage 1 breccia clasts (dark parts) within the stage 2 silica-sulfide cement. Stage 3 veinlet that crosscut stage 2 mineralization, is also observed, C: Stage 3 barite veinlets, D: Breccia clasts of stage 2 (dark parts) within barite veins of stage 3 mineralization, E: Brecciation of barite veinlets of stage 3 mineralization by stage 4 calcite-siderite veinlets, F and G: Stage 4 calcite-siderite veinlets crosscut stage 2 quartz-sulfide and stage 3 barite veinlets, and, in turn, cut by stage 5 calcite veinlets. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Brt: barite, Gn: galena).

پرکننده فضای خالی، بازماندی و جانشینی مشخص می‌شود. توالی هم‌یافتی کانی‌ها در کانسار کورچشمه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

هیچ کانی سولفیدی و اکسیدی در این مرحله مشاهده نمی‌شود. مرحله ششم کان‌زایی مربوط به فرایندهای برون‌زاد بوده و با کانی‌های گوتیت، سروزیت، اسمیت‌زونیت و مالاکیت بافت‌های

|                         | Stage 1 | Stage 2 | Stage 3 | Stage 4 | Stage 5 | Supergene |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|
| Pyrite                  |         |         |         |         |         |           |
| Chalcopyrite            |         |         |         |         |         |           |
| Galena                  |         |         |         |         |         |           |
| Sphalerite              |         |         |         |         |         |           |
| Tennantite-Tetrahedrite |         |         |         |         |         |           |
| Pyrolusite              |         |         |         |         |         |           |
| Psilomelane             |         |         |         |         |         |           |
| Malachite               |         |         |         |         |         |           |
| Covellite               |         |         |         |         |         |           |
| Cerussite               |         |         |         |         |         |           |
| Smithsonite             |         |         |         |         |         |           |
| Goethite                |         |         |         |         |         |           |
| Quartz                  |         |         |         |         |         |           |
| Sericite-Illite         |         |         |         |         |         |           |
| Barite                  |         |         |         |         |         |           |
| Calcite                 |         |         |         |         |         |           |
| Siderite                |         |         |         |         |         |           |
| Disseminated            |         |         |         |         |         |           |
| Brecciated              |         |         |         |         |         |           |
| Vein-Veinlets           |         |         |         |         |         |           |
| Comb                    |         |         |         |         |         |           |
| Cockade                 |         |         |         |         |         |           |
| Colloform-Crustiform    |         |         |         |         |         |           |
| Plomuse                 |         |         |         |         |         |           |
| Vug Infill              |         |         |         |         |         |           |
| Relict                  |         |         |         |         |         |           |
| Replacement             |         |         |         |         |         |           |

شکل ۱۰. توالی هم‌یافتی و ساخت و بافت کانسنگ در کانسار کورچشمه

Fig. 10. Paragenetic sequences showing the structure and texture of ore at the Kourcheshmeh deposit

داشته باشد. همبستگی بالای (۰/۸۳) نقره و گوگرد نیز منعکس کننده حضور نقره در شبکه کانی گالن است. نقره همبستگی مثبت ضعیف با آرسنیک (۰/۳۵) و آنتیموان (۰/۳۲) دارد. سرب همبستگی مثبت متوسط (۰/۵۹) با روی دارد. سرب و روی همبستگی منفی ضعیف (به ترتیب -۰/۱۹ و -۰/۲۵) با مس دارند. همبستگی مثبت (۰/۸۸) آرسنیک و آنتیموان می‌تواند نشان‌دهنده همراهی این دو عنصر در سیالات گرمابی کان‌ساز باشد. باریم همبستگی مثبت قوی (۰/۷۹) با سرب دارد که می‌تواند به حضور قطعه‌های رگه‌های سیلیسی گالن‌دار در رگه‌های باریتی مرتبط باشد. منگنز همبستگی منفی با سرب و روی نشان می‌دهد.

## داده‌های زمین‌شیمیایی

نتایج تجزیه‌های شیمیایی به دست آمده از نمونه‌های کانسار کورچشمه در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده است.

## بحث و بررسی

### ضرایب همبستگی عناصر

ضرایب همبستگی عناصر کان‌ساز در کانسار کورچشمه که بر اساس داده‌های جدول‌های ۱، ۲ و ۳ محاسبه شده است، در جدول ۴ و شکل ۱۱ نشان داده شده است. بر این اساس، سرب همبستگی مثبت قوی (۰/۸۷) با نقره دارد که می‌تواند به حضور نقره در شبکه گالن دلالت

جدول ۱. داده‌های تجزیه ICP-MS (گرم در تن) نمونه‌های کانسنگ و سنگ‌های میزبان در کانسار کورچشمه

Table 1. ICP-MS data (ppm) of ore samples and host rocks from the Kourcheshmeh deposit.

|              | Ag          | As         | Ba         | Cd         | Ce         | Cs         | Cu         | Dy         | Er         | Eu         |
|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>D.L.</b>  | <b>0.1</b>  | <b>0.5</b> | <b>1</b>   | <b>0.1</b> | <b>0.5</b> | <b>0.5</b> | <b>1</b>   | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> |
| <b>K-3</b>   | 1.6         | 8.4        | 1307       | 2.2        | 42         | 1.5        | 23         | 4.2        | 2.6        | 1.43       |
| <b>K-7</b>   | 0.9         | 25         | 663        | 1.9        | 46         | 2.1        | 28         | 3.2        | 1.6        | 1.1        |
| <b>K-20</b>  | 198.3       | 69.9       | 1081       | 496.4      | 8          | 1.2        | 3732       | 0.9        | 0.5        | 0.55       |
| <b>K-31</b>  | 27.5        | 12.7       | 186        | 216.4      | 23         | 3.5        | 812        | 3.1        | 1.6        | 0.72       |
| <b>K-32</b>  | 197.3       | 78.7       | 522        | 269.2      | 7          | 1.3        | 2784       | 0.9        | 0.4        | 0.21       |
| <b>K-33a</b> | 82.7        | 15.3       | 2506       | 10.6       | 11         | 1.1        | 694        | 1.6        | 0.7        | 0.66       |
| <b>K-33b</b> | 20.1        | 5.8        | 8881       | 5.2        | 9          | 0.7        | 264        | 1.1        | 0.6        | 0.5        |
| <b>K-34</b>  | 1.1         | 12.6       | 898        | 1.1        | 11         | 0.6        | 1005       | 2.9        | 1.7        | 2.38       |
| <b>K-35</b>  | 4.4         | 31.4       | 734        | 2.8        | 6          | 1          | 2369       | 1          | 0.4        | 6.12       |
| <b>K-36</b>  | 105.8       | 40.9       | 1811       | 60.1       | 20         | 2.3        | 500        | 1.6        | 1          | 1.07       |
|              | Gd          | Hf         | La         | Lu         | Mn         | Mo         | Nb         | Nd         | P          | Pb         |
| <b>D.L.</b>  | <b>0.05</b> | <b>0.5</b> | <b>1</b>   | <b>0.1</b> | <b>5</b>   | <b>0.5</b> | <b>1</b>   | <b>0.5</b> | <b>10</b>  | <b>1</b>   |
| <b>K-3</b>   | 3.72        | 3.4        | 20         | 0.4        | 633        | 0.9        | 7.2        | 20.1       | 588        | 614        |
| <b>K-7</b>   | 3.58        | 1.8        | 25         | 0.2        | 500        | <0.5       | 10         | 23.6       | 816        | 612        |
| <b>K-20</b>  | 1.09        | 0.6        | 2          | <0.1       | 369        | 112.7      | 1.1        | 2.6        | 162        | >30000     |
| <b>K-31</b>  | 2.74        | 1.4        | 10         | 0.2        | 1919       | 10.3       | 2          | 13.8       | 380        | 10884      |
| <b>K-32</b>  | 1.08        | <0.5       | 2          | <0.1       | 379        | 37         | <1         | 2          | 141        | >30000     |
| <b>K-33a</b> | 1.75        | <0.5       | 5          | <0.1       | 740        | 47         | 1.3        | 5.7        | 109        | 536        |
| <b>K-33b</b> | 1.4         | <0.5       | 4          | <0.1       | 389        | 19.2       | 1          | 4          | 77         | 6247       |
| <b>K-34</b>  | 2.2         | <0.5       | 5          | 0.2        | 5018       | 1.2        | <1         | 7.6        | 93         | 329        |
| <b>K-35</b>  | 1.12        | <0.5       | 2          | <0.1       | 1198       | 1.1        | <1         | 2.3        | 96         | 970        |
| <b>K-36</b>  | 1.73        | 1.5        | 10         | 0.2        | 175        | 11.9       | 1.3        | 7.4        | 422        | >30000     |
|              | Pr          | Rb         | S          | Sb         | Sc         | Sm         | Sr         | Ta         | Tb         | Th         |
| <b>D.L.</b>  | <b>0.05</b> | <b>1</b>   | <b>50</b>  | <b>0.5</b> | <b>0.5</b> | <b>0.1</b> | <b>1</b>   | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> |
| <b>K-3</b>   | 5.16        | 116        | 684        | 3.8        | 11.3       | 4.9        | 373.1      | 0.8        | 0.3        | 14.4       |
| <b>K-7</b>   | 5.76        | 56         | 1292       | 5.7        | 5.4        | 3.9        | 337.5      | 1.1        | 0.2        | 7.6        |
| <b>K-20</b>  | 0.44        | 23         | 21024      | 74.5       | 2          | 0.9        | 187.6      | 0.3        | <0.1       | 1.6        |
| <b>K-31</b>  | 2.96        | 64         | 2503       | 18.8       | 6          | 2.4        | 55         | 0.3        | 0.2        | 4.4        |
| <b>K-32</b>  | 0.35        | 24         | 16635      | 83.7       | 1.4        | 0.2        | 231.3      | 0.3        | <0.1       | 1.4        |
| <b>K-33a</b> | 1.21        | 15         | 7627       | 32.4       | 1.9        | 1.4        | 3892.7     | 0.3        | <0.1       | 1.3        |
| <b>K-33b</b> | 0.8         | 13         | 4780       | 16.8       | 0.6        | 1          | 4763.2     | 0.3        | <0.1       | 1          |
| <b>K-34</b>  | 1.57        | 12         | 2379       | 8.6        | 9.7        | 4.1        | 1707.8     | 0.3        | 0.1        | 1          |
| <b>K-35</b>  | 0.41        | 15         | 3114       | 5.2        | 4.6        | 9.6        | 227        | 0.3        | <0.1       | 1          |
| <b>K-36</b>  | 1.81        | 54         | 6223       | 33.4       | 4.3        | 2.2        | 140.3      | 0.3        | <0.1       | 4          |
|              | Ti          | Tl         | Tm         | U          | V          | W          | Y          | Yb         | Zn         | Zr         |
| <b>D.L.</b>  | <b>10</b>   | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> | <b>0.1</b> | <b>1</b>   | <b>1</b>   | <b>0.5</b> | <b>0.5</b> | <b>1</b>   | <b>5</b>   |
| <b>K-3</b>   | 3029        | 0.6        | 0.4        | 4.4        | 93         | 2.4        | 19.7       | 2.31       | 462        | 84         |
| <b>K-7</b>   | 2530        | 0.3        | 0.2        | 1.6        | 54         | 2.8        | 11.2       | 1.39       | 253        | 55         |
| <b>K-20</b>  | 333         | 0.2        | <0.1       | 1          | 15         | <1         | 1.3        | 0.18       | >30000     | 14         |
| <b>K-31</b>  | 1908        | 0.4        | 0.2        | 2.1        | 56         | <1         | 13.3       | 1.16       | 4782       | 43         |
| <b>K-32</b>  | 162         | 0.2        | <0.1       | 0.9        | 28         | <1         | 0.7        | 0.08       | >30000     | 8          |
| <b>K-33a</b> | 185         | 0.2        | 0.1        | 0.6        | 9          | 8.2        | 4.5        | 0.37       | 776        | 7          |
| <b>K-33b</b> | <10         | <0.1       | <0.1       | 0.4        | 2          | 2.1        | 2.7        | 0.2        | 358        | <5         |
| <b>K-34</b>  | <10         | 0.1        | 0.3        | 1.9        | 45         | 1.2        | 10.1       | 1.74       | 379        | <5         |
| <b>K-35</b>  | 78          | 0.1        | <0.1       | 0.9        | 22         | <1         | 1.4        | 0.29       | 840        | <5         |
| <b>K-36</b>  | 1774        | 0.3        | 0.2        | 2.2        | 48         | <1         | 4.7        | 0.82       | >30000     | 50         |

K-3: Px-Qz monzodiorite; K-7: Acidic crystal tuff; K-31: Silicified acidic crystal tuff (Stage 1); K-20, K-32, K-35 and K-36: Qz-sulfide veins (Stage 2); K-33a and K-33b: Brt veins (Stage 3); K-34: Car-Mn veins (Stage 4)

جدول ۲. داده‌های تجزیه ICP-MS (گرم در تن) نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه

Table 2. ICP-MS data (ppm) of ore samples from the Kourcheshmeh deposit

|      | Ag   | Al    | As   | Cu    | Fe    | P   | Pb    | S    | Sb   | Zn   |
|------|------|-------|------|-------|-------|-----|-------|------|------|------|
| K-40 | 7.1  | 23787 | 10.9 | 16398 | 39494 | 387 | 16    | 584  | 24.7 | 140  |
| K-41 | 25.6 | 1085  | 301  | 6817  | 39246 | 106 | 11945 | 1352 | 361  | 7054 |
| K-42 | 69.4 | 2498  | 109  | 6869  | 22667 | 258 | 1814  | 822  | 438  | 412  |
| K-43 | 135  | 1231  | 1398 | 8445  | 11341 | 201 | 24444 | 1467 | 923  | 1251 |
| K-44 | 23.1 | 1935  | 164  | 2360  | 24811 | 169 | 8465  | 731  | 448  | 4048 |
| K-45 | 47.1 | 58011 | 35   | 20557 | 43644 | 269 | 16    | 803  | 0.87 | 188  |
| K-46 | 0.5  | 4386  | 24.5 | 1774  | 62719 | 119 | 107   | 2755 | 1.48 | 301  |
| K-47 | 0.88 | 3273  | 3.2  | 439   | 32617 | 232 | 1142  | 888  | 1.22 | 2827 |
| K-48 | 0.47 | 1069  | 27.5 | 3678  | 72488 | 158 | 129   | 961  | 15.6 | 164  |
| K-49 | 0.51 | 27288 | 2.2  | 4230  | 23459 | 334 | 4     | 68   | 0.76 | 86   |

K-40 to K-45: Qz-sulfide veins (Stage 2); K-46 to K-49: Brt veins (Stage 3)

جدول ۳. داده‌های تجزیه XRF (درصد وزنی) نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه

Table 3. XRF data (wt.%) of ore samples from the Kourcheshmeh deposit

|      | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | FeO <sub>t</sub> | MnO   | MgO   | CaO   | BaO   | K <sub>2</sub> O | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | SO <sub>3</sub> | Cu   | Pb    | Zn    |
|------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------------------------------|-----------------|------|-------|-------|
| D.L. | 0.05             | 0.05             | 0.05             | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05  | 0.05             | 0.05                          | 0.05            | 0.05 | 0.05  | 0.05  |
| K-50 | 42.71            | 0.17             | 3.5              | 0.2   | 0.34  | 10.82 | 3.01  | 0.9              | 0.12                          | 7.27            | 0.35 | 14.73 | 0.45  |
| K-51 | 41.89            | 0.18             | 0.93             | 0.06  | 0.22  | 9.53  | 4.01  | 1.04             | 0.08                          | 7.2             | 0.06 | 9.56  | 3.45  |
| K-52 | 56.96            | 0.53             | 4.79             | 0.12  | 2.39  | 4.36  | <0.05 | 1.67             | 0.05                          | 0.07            | 0.75 | <0.05 | <0.05 |
| K-53 | 68.34            | 0.16             | 3.27             | 0.33  | 0.16  | 12.72 | <0.05 | 0.94             | <0.05                         | 0.22            | 0.37 | 1.62  | 0.13  |
| K-54 | 70.78            | 0.05             | 2.01             | 0.21  | <0.05 | 7.76  | 0.09  | 0.4              | <0.05                         | 0.39            | 0.17 | 2.7   | 0.18  |
| K-55 | 59.43            | 0.12             | 1.11             | 0.1   | 0.18  | 15.58 | 1.77  | 0.66             | <0.05                         | 1.32            | 0.24 | 1.96  | 0.05  |
| K-56 | 90.37            | 0.09             | 3.14             | 0.1   | <0.05 | 1.18  | 0.25  | 0.57             | <0.05                         | 0.41            | 0.83 | 0.15  | 0.06  |
| K-57 | 19.07            | <0.05            | 3.19             | 0.29  | 0.11  | 16.15 | 15.76 | 0.28             | <0.05                         | 8.79            | 0.35 | 9.46  | 0.06  |
| K-58 | 28.27            | 0.08             | 0.55             | <0.05 | <0.05 | 1.68  | 13.58 | 0.53             | <0.05                         | 11.01           | 0.06 | 24.2  | 4.79  |
| K-59 | 27.34            | 0.1              | 2.74             | 0.21  | 0.26  | 19.22 | 9.5   | 0.67             | <0.05                         | 7.35            | 0.54 | 12.01 | 0.24  |

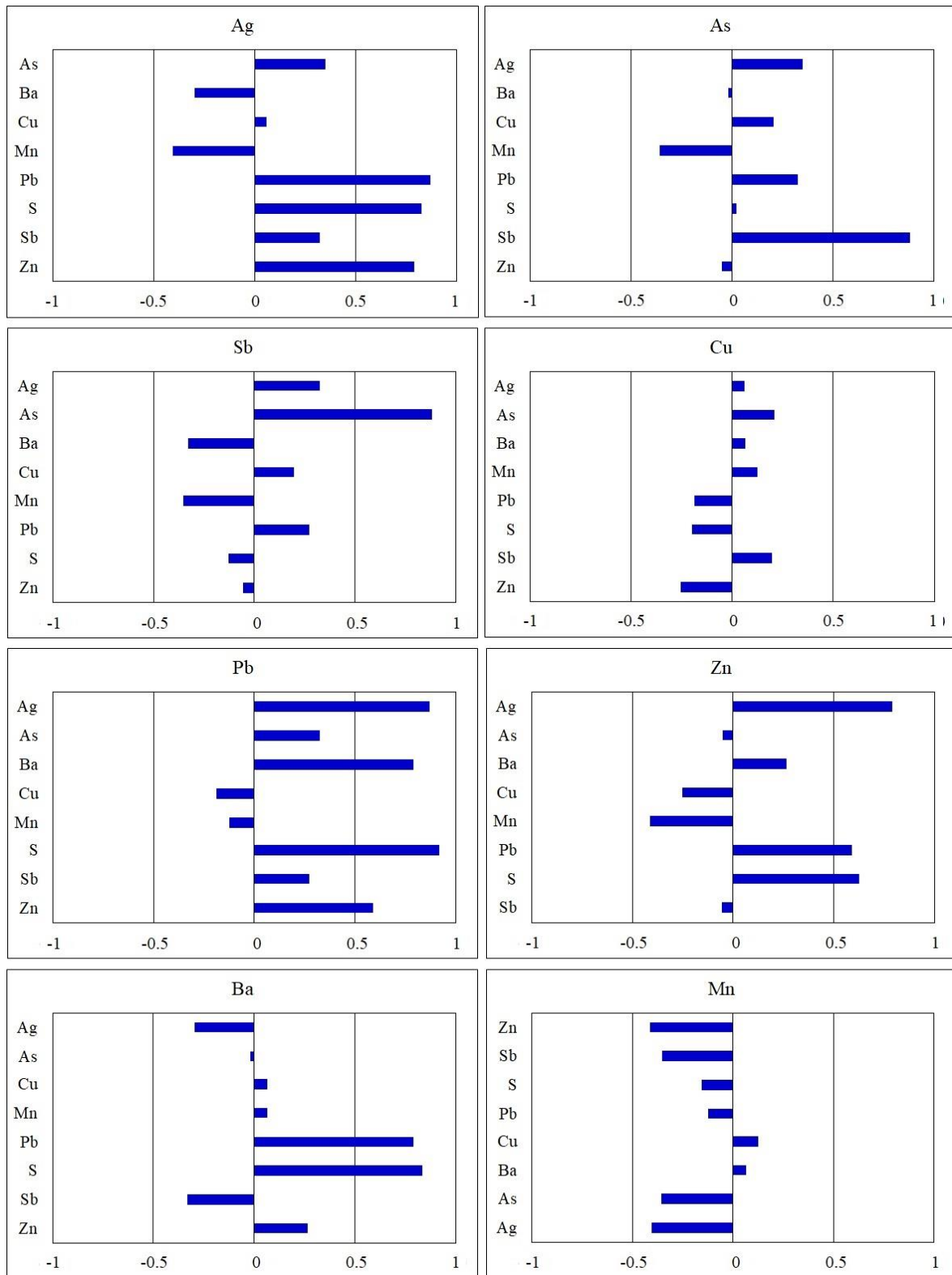
K-50 to K-56: Qz-sulfide veins (Stage 2); K-57 to K-59: Brt veins (Stage 3)

جدول ۴. ضرایب همبستگی عناصر (محاسبه شده بر مبنای جدول‌های ۱، ۲ و ۳) برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه

Table 4. Elemental correlation coefficient (calculated based on Tables 1, 2 and 3) for ore samples at the Kourcheshmeh deposit.

|    | Ag    | As    | Ba    | Cu    | Mn    | Pb   | S     | Sb    | Zn |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|----|
| Ag | 1     |       |       |       |       |      |       |       |    |
| As | 0.35  | 1     |       |       |       |      |       |       |    |
| Ba | -0.30 | -0.02 | 1     |       |       |      |       |       |    |
| Cu | 0.06  | 0.21  | 0.07  | 1     |       |      |       |       |    |
| Mn | -0.41 | -0.36 | 0.07  | 0.12  | 1     |      |       |       |    |
| Pb | 0.87  | 0.33  | 0.79  | -0.19 | -0.12 | 1    |       |       |    |
| S  | 0.83  | 0.02  | 0.84  | -0.20 | -0.16 | 0.92 | 1     |       |    |
| Sb | 0.32  | 0.88  | -0.33 | 0.20  | -0.35 | 0.27 | -0.13 | 1     |    |
| Zn | 0.79  | -0.05 | 0.27  | -0.25 | -0.41 | 0.59 | 0.63  | -0.06 | 1  |





شکل ۱۱. نمودار همبستگی عناصر کانه‌ساز برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه

Fig. 11. Correlation chart of ore-forming elements for ore samples at the Kourcheshmeh deposit

### الگوی توزیع عناصر کمیاب و کمیاب خاکی

الگوی عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانسنک، توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان که نسبت به کندریت (Thompson, 1982) بهنجار شده در شکل ۱۲-A نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، الگوی عناصر کمیاب در توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان تا حدودی مشابه با الگوی این عناصر در نمونه‌های کانسنک است. این امر احتمالاً بیانگر نقش سنگ‌های میزبان در تأمین عناصر کانه‌ساز است. در الگوی عناصر کمیاب خاکی بهنجار شده به کندریت (Boynton, 1984)، نمونه‌های کانسنک دارای الگوی تقریباً مشابه بوده و نسبت متوسط تا پایین عناصر کمیاب خاکی سبک به عناصر کمیاب خاکی سنگین و الگوی تقریباً مسطح در عناصر کمیاب خاکی سنگین را نشان می‌دهند (شکل ۱۲-B). نمونه‌های کانسنک بدون آنومالی مثبت و یا منفی Eu هستند. نمونه مربوط به رگه کربنات-منگنز مرحله چهارم دارای آنومالی مثبت Eu است که می‌تواند در ارتباط با شرایط اکسیدی محیط نهشت کانه‌های منگنز باشد (Whitford et al., 1988). غنی‌شدگی نسبی عناصر کمیاب خاکی سبک در رگه‌های کانه‌دار می‌تواند در ارتباط با قابلیت تحرک این عناصر در مقایسه با عناصر کمیاب خاکی سنگین باشد که به غنی‌شدگی بیشتر آنها در رگه‌های کانه‌دار منجر شده است (Rolland et al., 2003). نمونه‌های کانسنک در مقایسه با توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان از عناصر کمیاب تهی‌شدگی نشان می‌دهند که این امر مرتبط با خروج این عناصر از محیط طی فرایندهای دگرسانی و گرمایی است.

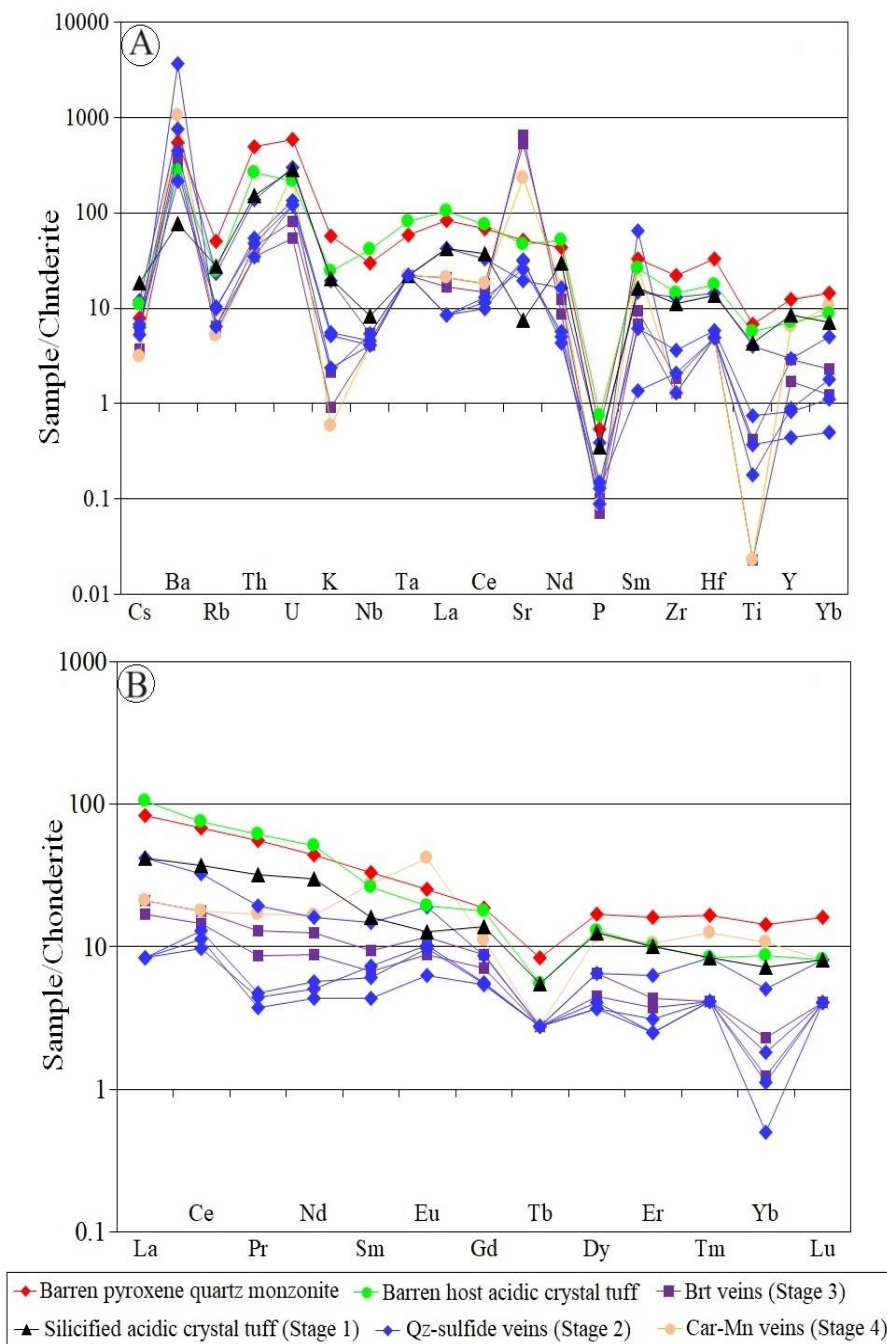
### تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر

برای بررسی غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عنصری مرتبط با کانه‌زایی و دگرسانی در کانسار کورچشمه، داده‌های مربوط به نمونه‌های کانسنک بر داده‌های مربوط به توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان بهنجار شد تا عناصر اضافه و یا کم‌شده به سنگ طی دگرسانی و کانه‌زایی مشخص شود (شکل‌های ۱۳ و

۱۴). این روش کیفی بوده و برای تعیین میزان کمی تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر، نیاز به محاسبات موازنه جرم است که در این پژوهش انجام نشده است.

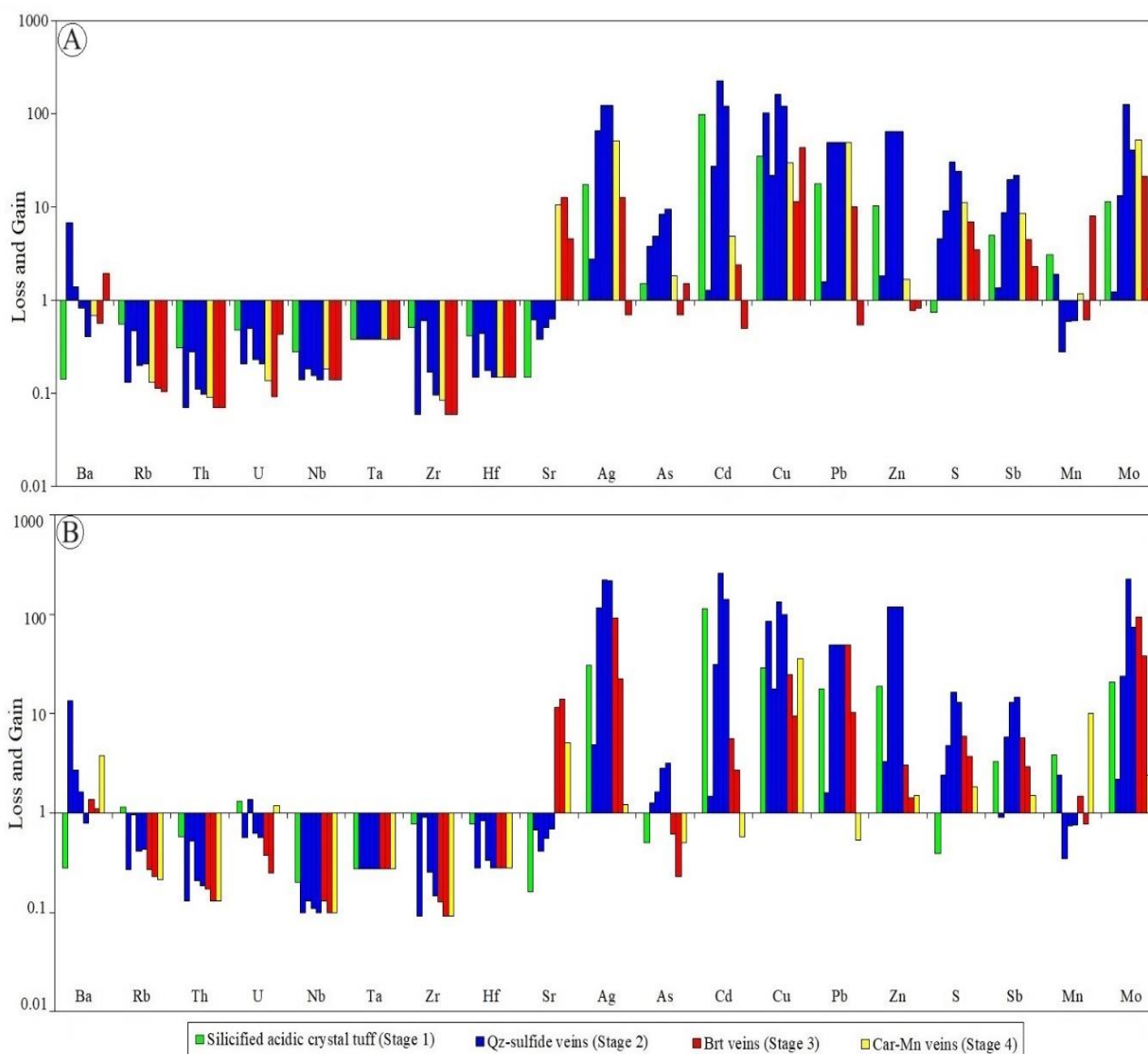
بر اساس شکل ۱۳-A و B، نمونه‌های کانسنک نسبت به توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان از عناصر Hf, Zr, Ta, Nb, U, Th, Rb, Ba, Sr تهی و از عناصر S, Zn, Sb, Pb, Mn, Cu, Cd, As, Ag, Mo غنی شده‌اند. برخی از نمونه‌های کانسنک، از عناصر Ba و Sr غنی و از عناصر Sr و Mn تهی شده‌اند. در مقایسه با توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزبان، نمونه‌های کانسنک از عناصر کمیاب خاکی تهی شده‌اند (شکل ۱۴-A و B). یکی از نمونه‌های برداشت‌شده از رگه‌های کوارتز-سولفیدی مرحله دوم و نمونه برداشت‌شده از رگه کربنات-منگنز مرحله چهارم در برخی از عناصر کمیاب خاکی مانند Eu, Sm و Tm و تا حدودی Yb و Er غنی‌شدگی نشان می‌دهند.

معمولاً رفتار عناصر کمیاب خاکی در بخش‌های کانه‌زایی و دگرسانی متأثر از فرایندهایی مانند واکنش سیال-سنگ، نهشت سیال، جذب، تجزیه به اجزاء، تغییرات دما، فشار، pH، Eh، آلکالینیتی و تمرکز سیال است (Lottermoser, 1992; Humphris, 1984; Rolland et al., 2003). در فرایندهای دگرسانی و کانه‌زایی، سیالات غنی از کلر، فلئور و دی‌اکسید کربن در نسبت‌های بالای سیال/سنگ، موجب تحرک عناصر کمیاب خاکی می‌شوند (Murphy and Hynes, 1986; Whitford et al., 1988; Bienvenu et al., 1990). این پژوهشگران معتقدند کمپلکس‌های هالورنی و کربنیک عامل اصلی انتقال و تحرک عناصر کمیاب خاکی هستند. تهی‌شدگی مشخص در میزان عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانه‌دار نسبت به سنگ‌های میزبان در منطقه کورچشمه نشان می‌دهد که حجم و یا شیمی سیالات گرمایی برای تحرک این عناصر در این کانسار کافی بوده و می‌تواند بیانگر میزان نسبتاً بالای واکنش بین سیالات کانه‌زا و سنگ‌های میزبان باشد. این امر با رخدادهای دگرسانی در اطراف رگه‌های کانه‌دار مطابقت دارد.



شکل ۱۲. A: الگوی تغییرات عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانسنگ، توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزان در کانسار کورچشمه که نسبت به کندریت (Thompson, 1982) بهنجار شده‌اند و B: الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های کانسنگ، توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی و توف بلورین اسیدی میزان در کانسار کورچشمه که نسبت به کندریت (Boynton, 1984) بهنجار شده‌اند.

**Fig. 12.** A: Chondrite-normalized (Thompson, 1982) rare elements pattern for the ore samples, pyroxene quartz monzonite body, and barren host acidic crystal tuff in the Kourcheshmeh deposit, and B: Chondrite-normalized (Boynton, 1984) REE pattern for the ore samples, pyroxene quartz monzonite body, and barren host acidic crystal tuff in the Kourcheshmeh deposit.



شکل ۱۳. A: نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه که نسبت به توده پیروکسن کوآرتز مونزودیوریتی (نمونه شماره K-3، جدول ۱) بهنجار شده‌اند و B: نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه که نسبت به توف بلورین اسیدی میزبان (نمونه شماره K-7، جدول ۱) بهنجار شده‌اند.

**Fig. 13.** A: Loss and gain histogram of rare elements of ore samples in the Kourcheshmeh deposit that normalized against pyroxene quartz monzonite body (sample K-3, Table 1), and B: Loss and gain histogram of rare elements of ore samples in the Kourcheshmeh deposit that normalized against host acidic crystal tuff (sample K-7, Table 1).

## نوع کانه‌زایی و الگوی تشکیل

گران‌بها، ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار کورچشمه  
بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال دارد. این کانسارها در

در مقایسه با ویژگی‌های اصلی کانسارهای رگه‌ای فلزهای پایه و



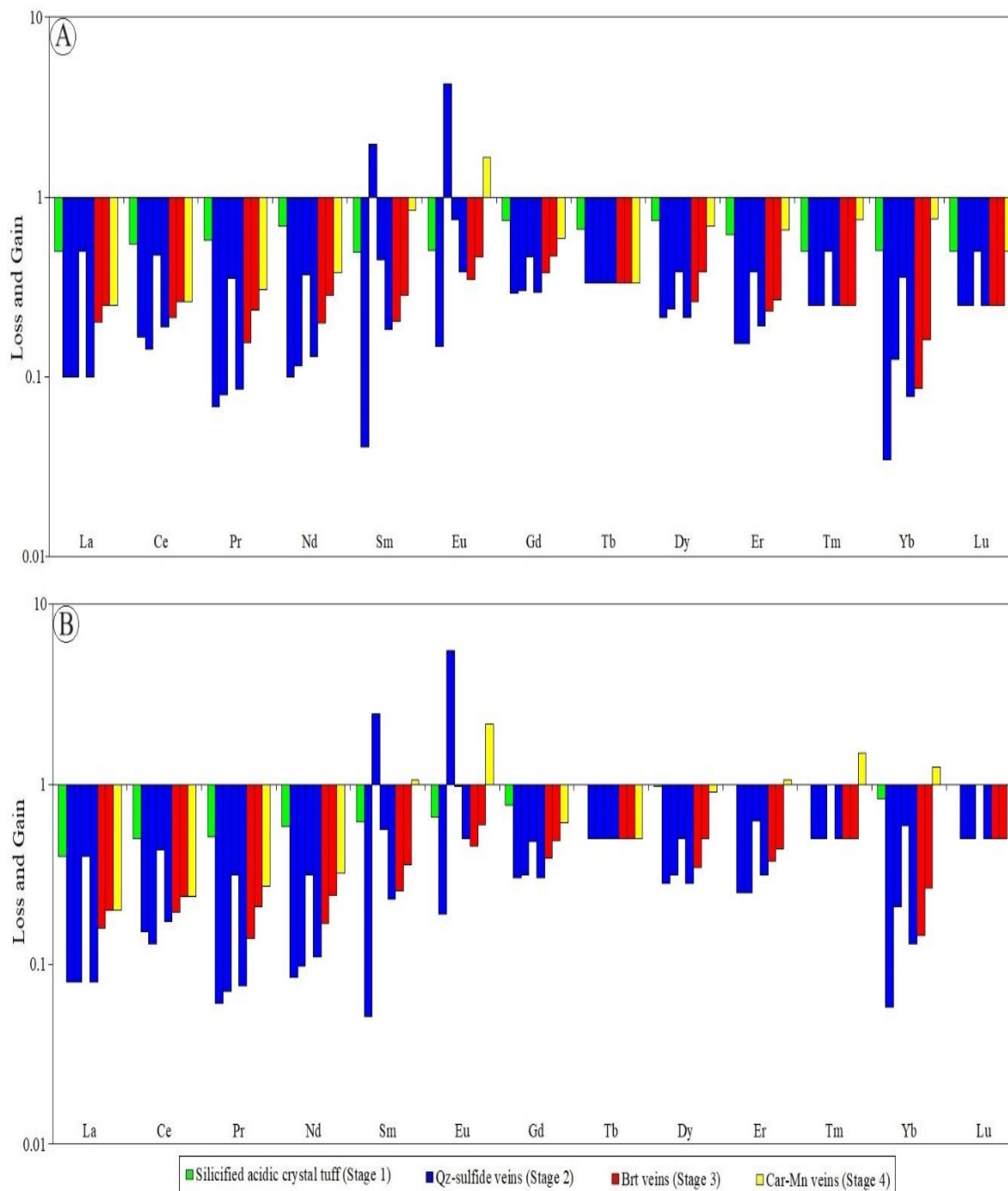
دگرسانی آرژیلیک پیشرفته با مجموعه کانی‌های آلونیت، کائولینیت و پیروفیلیت و همچنین نبود مجموعه کانیایی آدولاریا، انارژیت، لوزونیت و تنانیت در رگه‌های کانهدار کورچشمه بیانگر متفاوت بودن کانه‌زایی در این کانسار با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین و بالا است. همچنین، کانی‌های دگرسانی (مجموعه کوارتز، سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت) در کانسار کورچشمه جزو دگرسانی‌های گرمایی حرارت پایین تا متوسط هستند که شاخص کانی‌های دگرسانی در کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط هستند (Hedenquist et al., 2000; Albinson et al., 2001; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist, 2003). در جدول ۶، ویژگی‌های اصلی کانسار کورچشمه با برخی از کانسارهای مشابه در ایران مقایسه شده است.

بر اساس نتایج به‌دست آمده از مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی، مراحل تکوین و تکامل کانسار کورچشمه به صورت یک توالی سه مرحله‌ای است (شکل ۱۵). مرحله نخست با تشکیل توالی‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن در منطقه همراه است (شکل ۱۵-A). در مرحله دوم، هم‌زمان با فاز زمین‌ساختی پیرنه در ائوسن میانی- پایانی، نهشته‌های ائوسن چین‌خورده و گسل‌ها و شکستگی‌های فراوانی در آنها تشکیل شده است (شکل ۱۵-B). در همین مرحله، توده‌های پیروکسن کوارتز مونوزودیوریتی، هم‌راستا با روندهای ساختاری در واحدهای سنگی ائوسن نفوذ کرده‌اند (Kazemi et al., 2022). توده‌های مزبور به عنوان موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده‌اند. این آب‌ها علاوه بر توسعه پهنه‌های دگرسانی در منطقه، سبب شسته‌شدن عناصر فلزی از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آنها به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانهدار شده است (شکل ۱۵-B). احتمال اینکه بخشی از ماده معدنی و سیالات گرمایی از توده‌های کوارتز مونوزودیوریتی منشأ گرفته باشد نیز وجود دارد (Tale Fazel et al., 2023). مرحله سوم با بالاآمدگی منطقه و توسعه فرایندهای هوازدگی و فرسایش همراه بوده و طی آن ریخت‌شناسی امروزی منطقه حاصل شده است (شکل ۱۵-C).

بخش‌های کم‌عمق پوسته (کمتر از ۱/۵ کیلومتر) و در ارتباط با توده‌های نفوذی کالک‌آلکان تا آلکان در کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای و جزایر کمایی در حاشیه‌های برخوردی، درون کمایی، پشت کمان و زون‌های گسترش بعد از برخورد تشکیل می‌شوند (Cooke and Simmons, 2000; John, 2001; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Simmons et al., 2005). این کانسارها علاوه بر فلزهای قیمتی (طلا و نقره) حاوی مقادیر بالایی از فلزهای پایه (سرب، روی و مس) بوده و بر اساس ویژگی‌های کانه‌زایی، انواع دگرسانی و ترکیب کانی‌شناسی به انواع سولفیداسیون بالا، پایین و حدواسط تفکیک می‌شوند (جدول ۵) (White and Hedenquist, 1990; Cooke and Simmons, 2000; John, 2001; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Gemmeil, 2004; Simmons et al., 2005; Andreeva et al., 2013; Saunders et al., 2014; Wang et al., 2019). نتایج بررسی‌های

صحرایی و آزمایشگاهی در کانسار کورچشمه نشان می‌دهد:

۱- کانه‌زایی در کانسار کورچشمه توسط ساختارهای گسلی کنترل و توسط واحدهای آذرآواری میزبانی شده است، ۲- دگرسانی‌های گرمایی در کانسار کورچشمه با مجموعه کانی‌های دگرسانی دما پایین تا متوسط مانند سریسیت، ایلیت، کلسیت و کلریت در نزدیکی رگه‌های کانهدار مشخص می‌شود، ۳- مجموعه کانیایی در کانسار کورچشمه شامل پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و تنانیت-تراهدریت همراه با اندکی پیروکسنیت و پسیلوملان است که با مجموعه کانی‌های باطله کوارتز، کلسیت، سیدریت، باریت و سریسیت-ایلیت همراهی می‌شوند و ۴- ساخت و بافت‌های کانه‌زایی اپی‌ترمال مانند رگه-رگچه‌ای، برشی، شانهای، قشرگون، کاکلی، گل‌کلی، پرماند، بازماندی، پُرکننده فضای خالی به خوبی در کانسار کورچشمه توسعه یافته است. مقایسه این ویژگی‌ها با انواع کانسارهای اپی‌ترمال (جدول ۵) نشان می‌دهد که این مجموعه کانیایی، ساخت و بافت و الگوی دگرسانی بیشترین شباهت را با کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون حدواسط (Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Gemmeil, 2004; Wang et al., 2019) دارد. نبود بافت کوارتز حفره‌ای و



شکل ۱۴. A: نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه که نسبت به توده پیروکسن کوارتز مونزودیوریتی (نمونه شماره K-3، جدول ۱) بهنجار شده‌اند و B: نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی برای نمونه‌های کانسنگ در کانسار کورچشمه که نسبت به توف بلورین اسیدی میزبان (نمونه شماره K-7، جدول ۱) بهنجار شده‌اند.

**Fig. 14.** A: Loss and gain histogram of rare earth elements of ore samples in the Kourcheshmeh deposit that normalized against pyroxene quartz monzonite body (sample K-3, Table 1), and B: Loss and gain histogram of rare earth elements of ore samples in the Kourcheshmeh deposit that normalized against host acidic crystal tuff (sample K-7, Table 1).

جدول ۵. مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار کورچشمه با انواع کانسارهای ایی ترمال

Table 5. Comparison of main characteristics of the Kourcheshmeh deposit with epithermal deposits.

|                                | Kourcheshmeh  | Epithermal deposits  |  |  |
|--------------------------------|---|--|--|--|
|                                |   | Low-sulfidation  | Intermediate-sulfidation   | High-sulfidation   |
| <b>Host rock</b>               | Intermediate tuff and lava units  | Basalt-rhyolite  | Andesite-rhyodacite  |  |
| <b>Ore controls</b>            | Faults and fractures  | Extensional to strike-slip faults  |  | Arc parallel faults, diatreme, hydrothermal breccias                       |
| <b>Key ore minerals</b>        | Py, Ccp, Gn, Sp, Tnt-Ttr  | Sp, Gn, Tnt-Ttr, Ccp, Apy, Prg, Acn  | Fe-poor Sp, Gn, Tnt-Ttr, Ccp, Stb                                  | Eng, Lzn, Fmt, Cv, Dg  |
| <b>Gangue minerals</b>         | Qz, Cal, Sd, Brt, Ser, Ill  | Qz, Adl, non-Mn bladed Cal, Brt, Clt, Fl   | Qz, Mn Cal, Brt  | Qz, Alu, Anh, Brt  |
| <b>Hydrothermal alteration</b> | Silicification, intermediate argillic, carbonatization, propylitic                  | Argillic, silicification, carbonatization  | Sericitization, intermediate, argillic, silicification, propylitic | Sericitization, advanced argillic, silicification, propylitic              |
| <b>Ore textures</b>            | Vein-veinlet, brecciated, comb, crustiform, plumose, colloform, cockade, vug infill | Vein-veinlet, colloform, replacement, brecciated, bladed, crustiform   | Vein-veinlet, comb, vug infill, crustiform, cockade                | Vuggy Qz, vein-veinlet, cockade, vug infill, comb, brecciated, replacement |
| <b>Metal associations</b>      | Pb, Zn, Cu (Ag)   | Au, Ag (Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg)  | Au, Ag, Pb, Zn, Cu (Mo, As, Sb)                                    | Au, Ag, Cu, As, Sb (Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg)                             |
| <b>References</b>              | Khanahmadlou (2023), This study   | White and Hedenquist (1990), Cooke and Simmons (2000), Hedenquist et al. (2000), Albinson et al. (2001), Sillitoe and Hedenquist (2003), Gemmill (2004), Simmons et al. (2005), Andreeva et al. (2013), Saunders et al. (2014), Wang et al. (2019) |  |  |

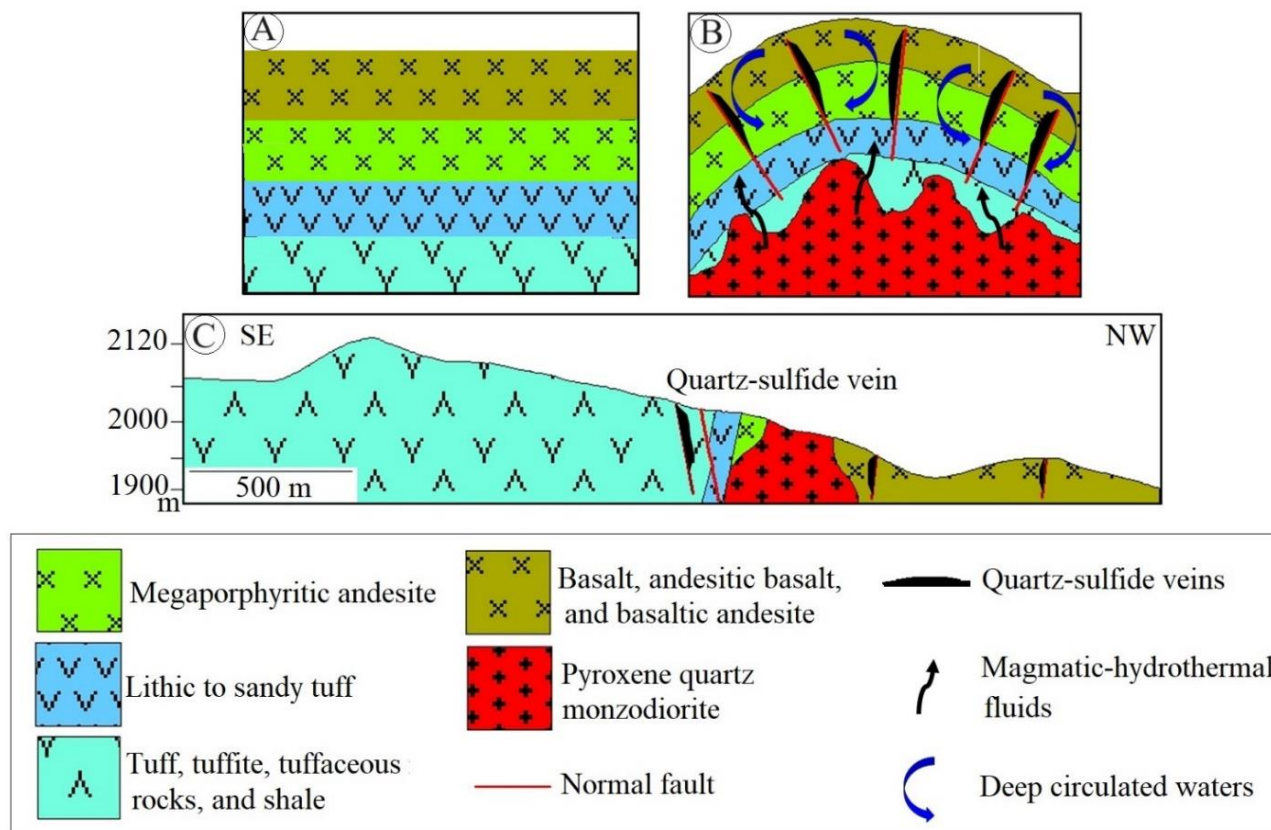
Abbreviations: Acn: acanthite, Adl: adularia, Alu: alunite, Anh: anhydrite, Apy: arsenopyrite, Brt: barite, Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Clt: celestine, Cv: covellite, Dg: digenite, Eng: enargite, Fl: fluorite, Fmt: famatinite, Gn: galena, Ill: illite, Lzn: luzonite, Prg: pyrrargyrite, Py: pyrite, Qz: quartz, Sd: siderite, Ser: sericite, Sp: sphalerite, Stb: stibnite, Tnt: tennantite, Ttr: tetrahedrite. Abbreviations follow [Whitney and Evans \(2010\)](#).



**جدول ۶.** مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار کورچشمه با برخی از کانسارهای ایتی ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط در ایران**Table 6.** Comparison of main characteristics of the Kourcheshmeh deposit with some intermediate-sulfidation type of epithermal deposits in Iran

| Deposit (location)      | Kourcheshmeh (SW Takestan)  | Atash Anbar (SW Danesfahan)                          | Varmazyar (N Zanjan)  | Qebchaq (NW Qarachaman)   | Qomoush Tappeh (SW Zanjan)                            |
|-------------------------|---|--|---|---|---|
| Structural zone         | Mardabad-Bouinzahra   |  | Tarom-Hashtjin  | Western Alborz  | Urumieh-Dokhtar                                       |
| Host rock               | Intermediate tuff and lava units  | Dacite, rhyolite porphyry                            | Intermediate to acidic tuff units   | Tuff, lava, diorite-gabbro  | Acidic tuff, dacite                                   |
| Ore controls            | Faults and fractures  | Faults and fractures                                 | Faults and fractures  | Faults and fractures  | Faults and fractures                                  |
| Ore minerals/metals     | Py, Ccp, Gn, Sp, Tnt-Ttr  | Py, Ccp, Gn, Sp, Ttr, Au, El                         | Gn, Sp, Py, Ps, Pyr   | Py, Ccp, Gn, Sp, Au   | Py, Ccp, Apy, Bn, Gn, Sp, Tnt-Ttr                     |
| Gangue minerals         | Qz, Cal, Sd, Brt, Ser, Ill  | Qz, Brt, Cal, Dol                                    | Qz, Ser, Cal  | Qz, Ser, Chl, Cal   | Qz, Ser, Ill, Cal                                     |
| Hydrothermal alteration | Silicification, intermediate argillic, carbonatization, propylitic                  | Silicification, argillic, sericitization, propylitic | Silicification, intermediate argillic, carbonatization, propylitic                          | Silicification, intermediate argillic, carbonatization, chloritization, propylitic  | Silicification, argillic, carbonatization, propylitic |
| Ore textures            | Vein-veinlet, brecciated, comb, vug infill, crustiform, plumose, colloform, cockade | Vein-veinlet, brecciated, disseminated               | Vein-veinlet, brecciated, comb, crustiform, cockade, plumose, vug infill, colloform, bladed | Vein-veinlet, brecciated, comb, crustiform, colloform, vug infill, cockade, plumose | Vein-veinlet, brecciated, crustiform, vug infill      |
| Metal associations      | Pb, Zn, Cu (Ag)   | Pb, Zn, Cu (Ag)                                      | Zn, Pb (As, Sb, Au)   | Pb, Zn, Cu, Au  | Pb, Zn (Ag)   |
| Sulfidation state       | Intermediate-sulfidation  | Intermediate-sulfidation                             | Intermediate-sulfidation  | Intermediate-sulfidation  | Intermediate-sulfidation                              |
| References              | Khanahmadlou (2023), This study   | Tale Fazel et al. (2022a), Tale Fazel et al. (2023)  | Ghorbani et al. (2022), Kouhestani et al. (2022)  | Sohbatloo et al. (2022)   | Salehi et al. (2011), Salehi et al. (2015)            |

Abbreviations: Apy: arsenopyrite, Au: gold, Brt: barite, Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Chl: chlorite, Dol: dolomite, El: electrum, Gn: galena, Ill: illite, Ps: psilomelane, Py: pyrite, Pyr: pyrolusite, Qz: quartz, Sd: siderite, Ser: sericite, Sp: sphalerite, Tnt: tennantite, Ttr: tetrahedrite. Abbreviations follow [Whitney and Evans \(2010\)](#)



شکل ۱۵. A تا C: تصویرهای شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در کانسار کورچشمه. برای توضیح به متن مراجعه شود.

**Fig. 15.** A-C: Schematic representation of mineralization evolution stages at Kourcheshmeh deposit. See text for details.

### نتیجه‌گیری

تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر نشان‌دهنده تمرکز عناصر کانساز و تهی‌شدگی عناصر کمیاب خاکی در بخش‌های کانساز است. این امر بیانگر میزان نسبتاً بالای واکنش بین سیالات کانساز و سنگ میزبان در کانسار کورچشمه است. ژئومتری رگه‌های کانساز در کانسار کورچشمه و دیگر کانسازهای اپی‌ترمال در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهر نشان می‌دهد که ساختارهای گسلی معبر اصلی برای عبور جریان سیالات کانساز بوده‌اند. همچنین، این کانسازها اغلب درون توالی توفی-گدازه‌ای ائوسن و در ارتباط فضایی نزدیک با توده‌های گرانیتوئیدی ائوسن میانی تشکیل شده‌اند. از این رو، بررسی پهنه‌های گسلی موجود در توالی سنگی ائوسن به ویژه در مناطقی که مورد هجوم توده‌های گرانیتوئیدی قرار گرفته‌اند، از نظر اکتشاف کانسارهای اپی‌ترمال

کانساز کورچشمه به صورت رگه‌های سیلیسی حاوی سرب، روی و مس درون توالی توفی-گدازه‌ای ائوسن زیرین-میانی رخ داده و توسط هاله‌های دگرسانی آرژلیک حدواسط احاطه شده است. شواهد زمین‌شناسی، کانساز، الگوی دگرسانی‌ها، کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسنگ در کورچشمه نشان می‌دهد که این کانساز از نوع کانسارهای اپی‌ترمال فلزهای پایه بوده و قابل مقایسه با سایر کانسازهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون حدواسط در کمربند آتشفشانی مردآباد-بوئین‌زهر است. تشابه روند الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب خاکی در نمونه‌های کانسنگ و سنگ‌های میزبان بیانگر نقش عمده سنگ‌های میزبان در تامین عناصر کانساز است. نمودارهای

می‌تواند حائز اهمیت باشد.

### قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی دانشگاه زنجان و شرکت نهادین صنعت الوند برای انجام این پژوهش و از سردبیر و داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی به خاطر راهنمایی‌های علمی که به غنای بیشتر مقاله حاضر منجر شده است، تشکر می‌نمایند.

### تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان بیان نشده است.



## References

- Aghazadeh, M., Hou, Z., Badrzadeh, Z. and Zhou, L., 2015. Temporal–spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology. *Ore Geology Reviews*, 70: 385–406. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D. and Chomiak, B., 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. In: T. Albinson and C.E. Nelson (Editors), *New Mines and Discoveries in Mexico and Central America*. Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 1–32. <https://doi.org/10.5382/SP.08.01>
- Alipour-Asll, M., 2019. Geochemistry, fluid inclusions and sulfur isotopes of the Govin epithermal Cu-Au mineralization, Kerman province, SE Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 196: 156–172. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2018.09.011>
- Alirezaei, A., Arvin, M. and Dargahi, S., 2017. Adakite-like signature of porphyry granitoid stocks in the Meiduk and Parkam porphyry copper deposits, NE of Shahr-e-Babak, Kerman, Iran: Constraints on geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 88: 370–383. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.04.023>
- Aliyari, F., Afzal, P., Harati, H. and Zengqian, H., 2020. Geology, mineralogy, ore fluid characteristics, and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of the Kahang Cu-(Mo) porphyry deposit, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 116: 103238. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103238>
- Altenberger, F., Raith, J.G., Bakker, R.J. and Zarasvandi, A., 2022. The Chah-Mesi epithermal Cu-Pb-Zn-(Ag-Au) deposit and its link to the Meiduk porphyry copper deposit, SE Iran: Evidence from sulfosalt chemistry and fluid inclusions. *Ore Geology Reviews*, 142: 104732. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104732>
- Andreeva, E., Matsueda, H., Okrugin, V.M., Takahashi, R. and One, S., 2013. Au-Ag-Te mineralization of the low-sulfidation epithermal Aginskoe deposit, Central Kamchatka, Russia. *Resource Geology* 63(4): 337–349. <https://doi.org/10.1111/rge.12013>
- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H.H., Richards, J.P. and Jourdan, F., 2013. Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper-gold deposit, Markazi Province, Iran. *International Geology Review*, 55(2): 158–184. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.689640>
- Bienvenu, P., Bougault, H., Joron, J.L., Treuil, M. and Dmitriev, L., 1990. MORB alteration: Rare earth element/non-rare hydromagmaphile element fractionation. *Chemical Geology*, 82: 1–14. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(90\)90070-N](https://doi.org/10.1016/0009-2541(90)90070-N)
- Boynton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: Meteorite studies. *Developments in Geochemistry*, 2: 63–114. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Cooke, D.R. and Simmons, S.F., 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), *Gold in 2000*. Society of Economic Geologists, Littleton. pp. 221–244. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.06>
- Ebrahimi, S., 2016. Study of Dehbala intensive, related alteration and mineralization (south Buin-Zahra). Unpublished M.Sc. Thesis, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, 167 pp. (in Persian with English abstract)
- Eghlimi, B. and Mosavvari, F., 2000. Geological map of Danesfahan (Kharaj), scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W. and Inan, E.E., 2003. Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: Transitions from porphyry to epithermal environments. In: S.F. Simmons and I. Graham (Editors.), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: rulers and witnesses of processes within the earth*. Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 285–313. <https://doi.org/10.5382/SP.10.15>
- Gemmell, J. B., 2004. Low- and intermediate-sulfidation epithermal deposits. In: D.R. Cooke, C.L. Deyel and J. Pongratz (Editors), *24 Ct Gold Workshop*. University of Tasmania, Hobart, Australia, pp. 57–63. Retrieved April 22, 2023, from <http://catalogobiblioteca.ingemet.gob.pe/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=40195>
- Ghorbani, A., Kouhestani, H. and Mokhtari, M.A.A., 2022. Genesis of the Varmazyar Pb–Zn (Ag) occurrence, Tarom-Hashhtjin metallogenic belt: Insights from ore geology, geochemistry and fluid inclusion studies. *Journal of Economic Geology*, 14(1): 1–38. (in Persian with extended English abstract). <https://doi.org/10.22067/econg.2021.51947.86716>

- Golestani, M., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Haidarian Shahri, M.R., 2018. Geochemistry, U-Pb geochronology, and Sr-Nd isotopes of the Neogene igneous rocks, at the Iju porphyry copper deposit, NW Shahr-e-Babak, Iran. *Ore Geology Reviews*, 93: 290–307. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.01.001>
- Goodarzi, Z., 2012. Study of mineralization, alteration, and ore-forming fluid evolution in the Lak polymetallic mineralization zone, southwest of Buin-Zahra, Qazvin Province. Unpublished M.Sc. Thesis, Payam-e Noor University, Tehran, Iran, 222 pp. (in Persian with English abstract)
- Habibi, J., 2007. Studies of mineralogy, geochemistry, and genesis of Lak polymetallic deposit in volcanic rocks, SW Buin-Zahra, Qazvin Province. Unpublished M.Sc. Thesis, Tabriz University, Tabriz, Iran, 155 pp. (in Persian with English abstract)
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), *Gold in 2000*. Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 245–277. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Heidari, S.M., Daliran, F., Paquette, J.L. and Gasquet, D., 2015. Geology, timing, and genesis of the high sulfidation Au(-Cu) deposit of Touzlar, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 65(2): 460–486. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.05.013>
- Humphris, S.E., 1984. The mobility of the rare earth elements in the crust. In: P. Henderson (Editor), *Developments in Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, pp. 317–342. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50014-9>
- John, D.A., 2001. Miocene and early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western USA: Characteristics, distribution, and relationship to magmatism. *Economic Geology*, 96(8): 1827–1853. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.8.1827>
- Kazemi, K., Modabberi, S., Xiao, Y., Sarjoughian, F. and Kananian, A., 2022. Geochronology, whole-rock geochemistry, Sr-Nd isotopes, and biotite chemistry of the Deh-Bala intrusive rocks, Central Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (Iran): Implications for magmatic processes and copper mineralization. *Lithos*, 408–409: 106544. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2021.106544>
- Khanahmadlou, S., 2023. Geology, geochemistry, and genesis of Kourcheshmeh Pb-Zn-Cu mineralization, southwest of Takestan. Unpublished M.Sc. Thesis, University of Zanjan, Zanjan, Iran, 74 pp. (in Persian with English abstract)
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Chang, Z. and Zaw, K., 2015. Constraints on the ore fluids in the Chah Zard breccia-hosted epithermal Au-Ag deposit, Iran: fluid inclusions and stable isotope studies. *Ore Geology Reviews*, 65(2): 512–521. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.003>
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Large, R.R. and Zaw, K., 2017. Texture and chemistry of pyrite at Chah Zard epithermal gold-silver deposit, Iran. *Ore Geology Reviews*, 84: 80–101. <https://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.01.002>
- Kouhestani, H., Ghaderi, M., Zaw, K., Meffre, S. and Emami, M.H., 2012. Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran. *Mineralium Deposita*, 47(4): 425–440. <https://dx.doi.org/10.1007/s00126-011-0382-3>
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z., Qin, K.Z., and Aghajani Marsa, S., 2022. Fluid inclusion, zircon U-Pb geochronology, and O-S isotopic constraints on the origin and evolution of ore-forming fluids of the Tashvir and Varmazyar epithermal base metal deposits, NW Iran. *Frontiers in Earth Science*, 10: 990761. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.990761>
- Lottermoser, B.G., 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews*, 7(1): 25–41. [https://doi.org/10.1016/0169-1368\(92\)90017-F](https://doi.org/10.1016/0169-1368(92)90017-F)
- McInnes, B.I.A., Evans, N.J., Belousova, E., Griffin, W.T. and Andrew, R.L., 2003. Timing of mineralization and exhumation processes at the Sar Cheshmeh and Meiduk porphyry Cu deposits, Kerman belt, Iran. In: D.G. Eliopoulos (Editor), *Mineral exploration and sustainable development*. Society for Geology Applied to Mineral Deposits, Rotterdam, pp. 1197–1200.
- Mirnejad, H., Mathur, R., Hassanzadeh, J., Shafie, B. and Nourali, S., 2013. Linking Cu Mineralization to host porphyry emplacement: Re-Os ages of molybdenites versus U-Pb ages of zircons and sulfur isotope compositions of pyrite and chalcopyrite from the Iju and Sarkuh porphyry deposits in southeast Iran. *Economic Geology*, 108(4): 861–870. <https://doi.org/10.2113/econgeo.108.4.861>

- Mohammaddoost, H., Ghaderi, M., Kumar, T.V., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S. and Babu, E.V.S.S.K., 2023. Geology, mineralization, zircon U-Pb geochronology, and Hf isotopes of Serenu porphyry copper prospect, Kerman Cenozoic magmatic arc, southeastern Iran. *Ore Geology Reviews*, 159: 105540.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2023.105540>
- Mohammaddoost, H., Ghaderi, M., Kumar, T.V., Hassanzadeh, J., Alirezaei, S., Stein, H.J. and Babu, E.V.S.S.K., 2017. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology, with S isotopic composition of sulfides from the Chah-Firouzeh porphyry Cu deposit, Kerman Cenozoic arc, SE Iran. *Ore Geology Reviews*, 88: 384–399.  
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.023>
- Mohammadi Niaei, R., Daliran, F., Nezafati, N., Ghorbani, M., Sheikh Zakariaei, J. and Kouhestani, H., 2015. The Ay Qalasi deposit: An epithermal Pb-Zn (Ag) mineralization in the Urumieh–Dokhtar volcanic belt of northwestern Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen (Journal of Mineralogy and Geochemistry)*, 192(3): 263–74.  
<https://doi.org/10.1127/njma/2015/0284>
- Murphy, J.B. and Hynes, A.J., 1986. Contrasting secondary mobility of Ti, P, Zr, Nb, and Y in two meta-basaltic suites in the Appalachians. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 23(8): 1138–1144.  
<https://doi.org/10.1139/e86-112>
- Nogole-sadat, M.A.A. and Hoshmandzadeh, A., 1984. Geological map of Saveh, scale 1: 250,000. Geological Survey of Iran.
- Richards, J.P., Wilkinson, D. and Ullrich, T., 2006. Geology of the Sari Gunay epithermal gold deposit, northwest Iran. *Economic Geology*, 101(8): 1455–1496.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.101.8.1455>
- Rolland, Y., Cox, S., Boullier, A. M., Pennacchioni, G. and Mancktelow, N., 2003. Rare earth and trace element mobility in mid-crustal shear zones: insights from the Mont Blanc Massif (Western Alps). *Earth Planet Scientific Letters*, 214(1): 203–219.  
[https://doi.org/10.1016/S0012-821X\(03\)00372-8](https://doi.org/10.1016/S0012-821X(03)00372-8)
- Salehi, T., Ghaderi, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2011. Mineralogy and geochemistry of rare earth elements in Qomish Tappeh Zn–Pb–Cu (Ag) deposit, southwest of Zanjan. *Journal of Economic Geology*, 2(2): 235–254. (in Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V2I2.7853>
- Salehi, T., Ghaderi, M. and Rashidnejad-Omran, N., 2015. Epithermal base metal–silver mineralization at Qomish Tappeh deposit, southwest of Zanjan. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 25(97): 329–346. (in Persian with English abstract)  
<https://doi.org/10.22071/GSJ.2015.41519>
- Saunders, J.A., Hofstra, A.H., Goldfarb, R.J. and Reed, M.H., 2014. Geochemistry of hydrothermal gold deposits. In: H.D. Holland and K.K. Turekian (Editors) *Treatise on Geochemistry*. Elsevier-Pergamon, Oxford, England, pp. 33–424.  
<http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01117-7>
- Shafiei, B., Niedermann, S., Sósnicka, M. and Gleeson, S.A., 2022. Microthermometry and noble gas isotope analysis of magmatic fluid inclusions in the Kerman porphyry Cu deposits, Iran: constraints on the source of ore-forming fluids. *Mineralium Deposita*, 57: 155–185. <https://doi.org/10.1007/s00126-021-01041-8>
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcano-tectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. In: S.F. Simmons and I. Graham (Editors), *Volcanic, geothermal, and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth*. *Economic Geology Special Publication 10*, Littleton, pp. 315–343. Retrieved April 24, 2023, from <https://www.researchgate.net/publication/285488888>
- Simmons, S.F., White, N.C. and John, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), *One Hundredth Anniversary Volume*. Society of Economic Geologists, Littleton, pp. 485–522.  
<https://doi.org/10.5382/AV100.16>
- Sohbatloo, M., Kouhestani, H. and Mokhtari, M.A.A., 2022. Intermediate-sulfidation epithermal base and precious metals mineralization in the Qebchaq deposit (NW Qarachaman, East Azerbaijan): Geology, mineralization, and geochemical evidence. *Journal of Economic Geology*, 15(1): 53–85. (in Persian with extended English abstract)  
<https://doi.org/10.22067/econg.2022.75340.1041>
- Taghipour, N., Aftabi, A. and Mathur, R., 2008. Geology and Re-Os geochronology of mineralization of the Meiduk porphyry copper deposit, Iran. *Resource Geology*, 58(2): 143–160.  
<https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00054.x>



- Tale Fazel, E., Alaei Moghtader, N. and Oroji, A., 2022a. Temperature condition, sulfidation state, and gold formation mechanism of the Atash-Anbar polymetallic deposit (south Qazvin) based on mineralization, alteration, and chemistry of ore minerals. *Petrological Journal*, 13(2): 121–150. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22108/ijp.2020.124097.1194>
- Tale Fazel, E., Moradi, M. and Najafi Rashed, S., 2022b. Genesis of Eocene volcanic-hosted copper deposits in the Kuh-e-Jarou Mining District (South Eshtehard): constraints from geology, mineralization and fluid inclusions. *Journal of Economic Geology*, 14(1): 67–108. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/econg.2021.52100.88283>
- Tale Fazel, E., Nevolko, P.A., Päsava, J., Xie, Y., Alaei, N. and Oroji, A., 2023. Geology, geochemistry, fluid inclusions, and H-O-C-S-Pb isotope constraints on the genesis of the Atash-Anbar epithermal gold deposit, Urumieh–Dokhtar magmatic arc, central-northern Iran: *Ore Geology Reviews*, 153: 105285. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.105285>
- Thompson, R.N., 1982. Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18(1): 49–107. <https://doi.org/10.1144/sjg18010049>
- Wang, L., Qin, K.Z., Song, G.Y. and Li, G.M., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107: 434–456. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>
- White, N.C. and Hedenquist, J.W., 1990. Epithermal environments and styles of mineralization: Variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 36(1–3): 445–474. [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(90\)90063-G](https://doi.org/10.1016/0375-6742(90)90063-G)
- Whitford, D.J., Korsch, M.J., Porritt, P.M. and Craven, S.J., 1988. Rare earth element mobility around the volcanogenic polymetallic massive sulfide deposit at Que River, Tasmania, Australia. *Chemical Geology*, 68(1–2): 105–119. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90090-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90090-3)
- 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>
- Yousefi, M., Rashidnejad Omran, N., Lotfi, M. and Bazoobandi, M.H., 2017. Copper and gold mineralization features in Deh Bala region, south of Takestan: *Open Journal of Geology*, 7(7): 1022–1046. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.77069>
- Zamanian, H., Rahmani, S., Zareisahamieha, R., Pazokia, A. and Yang, X.Y., 2020. Geochemical characteristics of igneous host rocks of Lubin-Zardeg Au–Cu deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 122: 103496. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103496>
- Zaravandi, A., Liaghat, S. and Zentilli, M., 2005. Geology of the Darreh-Zerreshk and AliAbad porphyry copper deposits, Central Iran. *International Geology Review*, 47(6): 620–646. <https://doi.org/10.2747/0020-6814.47.6.620>