



Mineralogy, alteration, fluid inclusions microthermometry and genesis of the Cu-Au Kalateh Dasht deposit, south of Shahrood, NE Iran

Mohadeseh Eskandari¹ , Fardin Mousivand² , Maryam Sheibi^{3*} , Bernd Lehmann⁴

¹ Ph.D. student, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

² Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

⁴ Professor, Department of Geology, Institute of Mineralogy and Mineral Resources, Technical University of Clausthal, Clausthal-Zellerfeld, Germany

ARTICLE INFO

Article History

Received: 24 July 2024
Revised: 13 November 2024
Accepted: 16 November 2024

Keywords

Geology
fluid inclusion microthermometry
intermediate sulfidation
Kalateh Dasht
Toroud Chah Shirin
Central Iran

*Corresponding author

Maryam Sheibi
✉ sheibi@shahroodut.ac.ir

ABSTRACT

The Kalateh Dasht deposit is situated in the northern part of the Central Iran structural zone, northeast of the Toroud-Chah Shirin magmatic arc. The Cu-Au mineralization is hosted by diorite porphyry subvolcanic rocks with a post-Eocene age. The mineralization occurs in the form of hydrothermal breccia and vein-veinlet along a fault zone with an approximately N30E extension and vertical dip. Several mineralized veins consisting of pyrite, chalcopyrite, sphalerite, bornite, galena, barite, hematite, chalcocite, covellite, malachite, and chrysocolla are observed parallel to each other in this fault zone. The gangue minerals include comb quartz, crustiform, and a small amount of amethyst as veins and blades. SEM data indicate the presence of gold within sphalerite. The porphyritic diorite host rocks have been significantly altered due to the action of hydrothermal fluids, resulting in sericitic, siliceous, and propylitic alteration (chlorite, epidote, and calcite), particularly at the margins of mineralized veins. The fluid inclusions in calcite and barite host minerals reveal that homogenization temperatures range between 143.2 and 213.1°C and salinity varies between 3.06 and 7.73 wt.% NaCl eq. In close proximity to this ore deposit, an argillic alteration zone and other mineralization systems in this region increase the likelihood of a porphyry system at greater depth.

How to cite this article

Eskandari, M., Mousivand, F., Sheibi, M. and Lehmann, B., 2024. Mineralogy, alteration, fluid inclusions microthermometry and genesis of the Cu-Au Kalateh Dasht deposit, south of Shahrood, NE Iran. *Journal of Economic Geology*, 16(4): 125–147. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1121>



©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

Despite the abundance of mineralization in the Toroud-Chah Shirin magmatic arc (TCSMA), certain deposits, such as the polymetallic Kalateh Dasht deposit with its post Eocene diorite porphyry host rock, have not yet been thoroughly investigated in terms of their geology, mineralogy, and genesis. The studied area is located in the northern part of the Central Iran (CI) zone and is a small part of the 1:100,000 geological map of Moaleman (Eshraghi and Jalali, 2006). This mining area is situated northeast of the TCSMA and east of the Chah-Musa copper deposit - 13 km north of the Toroud village (Fig. 1). This article comprehensively analyzes the field characteristics, mineralogy, mineralogical, and fluid inclusion data of the Kalateh Dasht deposit. Given the likely hydrothermal origin of the deposit, which can be linked to the Eocene magmatic activity and controlled by fault structures, the investigation of these deposits assumes great significance in exploring epithermal mineralization within the Toroud-Chah Shirin magmatic arc.

Material and methods

Following a thorough field investigation, a total of 50 samples were collected from the exploratory trenches of Kalateh Dasht to conduct precise mineralogy, mineralogical, and hydrothermal alteration studies. These samples consist of ore minerals and quartz-calcite-(barite) veins containing sulfides of both base and precious metals. The locations of these collected samples are indicated in Figure 2. Subsequently, thin (10 samples), polished (13 samples), and thin-polished (25 samples) sections were prepared at both Shahrood and Clausthal University of Technology in Germany. These sections were then examined using an Olympus polarizing microscope. To investigate the physicochemical properties of the mineralized fluid, two double-polished cross-section samples of barite-calcite veins were prepared and analyzed. Temperature and salinity measurements of fluid inclusions were carried out at the Economic Geology Laboratory of Shahrood University of Technology, using the Linkam MDSG600 model heating-freezing stage. Additionally, the Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM) model Sigma 300-HV, at Shahrood University of Technology, was

utilized to identify specific minerals.

Results

According to the data presented in the research, mineralization primarily occurs along a fault zone with an approximately N30E trend and vertical dip. In the field, various structures including hydrothermal breccia, banded, and vein structures can be observed. Within the fault zone in the trench, multiple parallel mineralized veins are present. These veins host minerals such as pyrite, chalcopyrite, sphalerite, bornite, galena, and hematite, accompanied by gangue minerals like comb-style, crustiform, amethyst, and barite, with variable thicknesses ranging from 3 to 5 cm. SEM studies have revealed the presence of gold within the ores. The porphyritic diorite host rocks have undergone significant alteration due to the infiltration of hydrothermal fluids. Sericite, silicic, and propylitic (chlorite + epidote + calcite) alteration zones have been identified along the margins of the mineralized veins, exhibiting high intensity. Fluid inclusion studies conducted on quartz and barite minerals indicate homogenization temperatures ranging between 143.2 and 213.1°C. The degree of salinity falls within the range of 3.06 to 7.73 wt.% NaCl eq. The mineralogical characteristics of the Kalateh Dasht deposit are comparable to base and precious metal intermediate sulfidation (IS) epithermal deposits.

Discussions

The field studies, mineralogy, structure and texture, alteration patterns, and fluid inclusion analysis in the Kalateh Dasht deposit show mineralization occurring in subvolcanic rocks composed of porphyry diorite, taking the form of vein-veinlet, hydrothermal breccia, open space-filling, and disseminated. The deposition of ore minerals occurred during two stages: the deposition of primary sulfide minerals (such as pyrite, chalcopyrite, galena, sphalerite, bornite, and hematite) in quartz veins and the formation of secondary minerals (such as covellite, digenite, cuprite, malachite, azurite, and chrysocolla). The formation of mineral veins is associated with a fault zone, as well as other joints and fractures in the area. The study of fluid inclusions trapped in calcite and barite minerals reveals that the homogenization temperature ranges from 143.2 to 213.1 °C, and the salinity ranges from

3.06 to 7.73 wt.% NaCl eq. Such a thorough analysis of this type of mineralization can be of great value in identifying similar occurrences in the TCSMA. Light-colored sphalerite has been observed at the eastern end of the Kalateh Dasht deposit and close to a zone exhibiting argillic alteration. The presence of light-colored sphalerite, which indicates a low iron content, serves as an additional indicator of epithermal systems with moderate sulfidation. This observation is consistent with the occurrence of

relatively oxidized fluids and the formation of sphalerite at the interface of two IS and HS systems (Wang et al., 2019). Strong spatio-temporal-genetic associations with porphyry molybdenum mineralization have been documented in the metallogenic belts of numerous IS systems. Consequently, the proximity of the Kalateh Dasht IS system to an argillic zone may indicate the presence of a profound porphyry system and offer the potential the discovery of similar deposits.



کانی‌شناسی، دگرسانی، ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال و خاستگاه کانسار مس - طلای کلاته‌دشت، جنوب شاهرود، شمال شرق ایران

محدثه اسکندری^۱، فردین موسیوند^۲، مریم شیبی^{۳*}، برند لهما^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۲ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۳ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
^۴ استاد، دانشکده کانی‌شناسی و منابع معدنی، دانشگاه صنعتی کلاوستهال، کلاوستهال - زلرفلد، آلمان

چکیده	اطلاعات مقاله
کانسار کلاته‌دشت در شمال پهنه ساختاری ایران مرکزی و شمال شرق کمان ماگمایی تروود-چاه شیرین واقع شده است. توده‌ای نیمه عمیق با ترکیب دیوریت پورفیری (بعد از ائوسن)، میزبان کانی‌سازی مس-طلاست. کانه‌زایی به صورت برش گرمایی و رگه-رگچه‌ای در امتداد یک ساختار گسلی با امتداد تقریبی ۳۰ درجه شمال شرق و شیب نزدیک به قائم رخ داده است. رگه-رگچه‌های متعدد کانه‌دار شامل مجموعه کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، گالن، باریت، همتایت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و کریزو کلا به موازات یکدیگر در این ساختار گسلی مشاهده می‌شوند. کانی‌های باطله شامل کوارتزهای شانه‌ای-دندان سگی، قشرگون و کمی آمیست به صورت رگه-رگچه‌ای است. داده‌های تجزیه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی، بیانگر حضور طلا در میزبان کالکوپیریت است. دگرسانی‌های سریسیتی، سیلیسی و پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت و کلسیت) به ویژه در حاشیه‌های رگه-رگچه‌های کانه‌دار شناسایی شدند. نتایج به دست آمده از بررسی میان‌بارهای سیال در کانی‌های کلسیت و باریت نشان می‌دهد که دمای همگن‌شدگی نهایی بین ۱۴۳/۲ تا ۲۱۳/۱ درجه سانتی‌گراد و شوری نیز بین ۳/۰۶ wt.% NaCl eq تا ۷/۷۳ تغییر می‌کند. ویژگی‌های کانه‌زایی کلاته‌دشت با کانسارهای رگه‌ای اپی‌ترمال فلزهای پایه-گران‌بها سولفیداسیون متوسط (IS) مشابه است.	<p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۰۳</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۸/۲۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶</p>
	<p>واژه‌های کلیدی</p> <p>زمین‌شناسی ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال سولفیداسیون متوسط کلاته‌دشت تروود-چاه شیرین ایران مرکزی</p>
	<p>نویسنده مسئول</p> <p>مریم شیبی sheibi@shahroodut.ac.ir ✉</p>

استناد به این مقاله

اسکندری، محدثه؛ موسیوند، فردین؛ شیبی، مریم و لهما، برند، ۱۴۰۳. کانی‌شناسی، دگرسانی، ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال و خاستگاه کانسار مس - طلای کلاته‌دشت، جنوب شاهرود، شمال شرق ایران. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۶(۴): ۱۲۵-۱۴۷. <https://doi.org/10.22067/econg.2024.1121>

مقدمه

زمین‌شیمی با سنگ‌های دربرگیرنده یا میزبان واکنش داده و موجب نهشته شدن کانسارهای رگه‌ای از جمله اپی‌ترمال می‌شوند (Hedenquist et al., 2000). با وجود کانی‌زایی‌های متعدد موجود در کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین، تاکنون برخی از آنها مانند کانسار چندفلزی کلاته‌دشت با سنگ میزبان دیوریت پورفیری، از نظر زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهش، ویژگی‌های صحرایی، کانی‌شناسی، بافت، کانه‌نگاری و داده‌های میان‌بار سیال کانسار کلاته‌دشت مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی دقیق این نوع کانه‌زایی می‌تواند برای اکتشاف سامانه‌های اپی‌ترمال-پورفیری در کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین و سایر نقاط ایران مفید واقع شود.

روش مطالعه

پس از بررسی تصویرهای ماهواره‌ای، بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری منظم از واحدهای سنگی رخنمون‌یافته با هدف بررسی سنگ‌شناسی، شناسایی پهنه‌های کانه‌دار و تفکیک دگرسانی‌های موجود انجام شد. بر این اساس، تعداد ۵۰ نمونه از ماده معدنی و رگه-رگچه‌های کانه‌دار سولفیدی از ترانشه‌های اکتشافی کلاته‌دشت برداشت شده است. موقعیت نمونه‌های برداشت شده در شکل ۲ نشان داده شده است. مقاطع نازک (تعداد ۱۰ نمونه)، صیقلی (تعداد ۱۵ نمونه) و نازک-صیقلی (تعداد ۲۵ نمونه) تهیه شده در دانشگاه‌های صنعتی شاهرود و کلاوستال آلمان با میکروسکوپ پلاریزان مدل المپوس بررسی شده است. تعداد ۲ مقطع دوبرصیقل از رگه-رگچه‌های باریتی-کلسیتی به منظور بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار تهیه و بررسی شده است. دما و شوری میان‌بارهای سیال در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه صنعتی شاهرود با استفاده از صفحه گرمایش-سرمایش مدل Linkam MDSG600 ساخت انگلستان اندازه‌گیری شده است. دقت اندازه‌گیری در دماهای زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد حدود ± 0.2 و در دمای بالای ۳۰ درجه

کانسارهای اپی‌ترمال از مهم‌ترین منابع فلزهای پایه (مس + سرب + روی) و گران‌بها (طلا + نقره) محسوب می‌شوند (Simmons et al., 2005). این کانسارها معمولاً همراه با توده‌های آذرین کالک‌آلکانل-آلکانل در جزایر کمانی و حاشیه‌های فعال قاره‌ای، کمان‌های ماگمایی پهنه برخوردی، مناطق کشش پشت کمان و پس از برخورد دیده می‌شوند (Cooke and Simmons, 2000; John, 2001; Richard et al., 2005; Simmons et al., 2005). حضور توده‌های عمیق-نیمه عمیق آذرین با ماهیت کالک‌آلکانل تا آلکانل به سن ائوسن به همراه رخداد‌های متنوع عناصر فلزی-غیرفلزی و وجود دگرسانی‌های وسیع سیلیسی، سریسیتی، آرژلیک و پروپیلیتیک موجب شده است تا کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین همواره از دیدگاه اکتشافی مورد توجه قرار گیرد. در سراسر کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و توده‌های آذرین عمیق و نیمه عمیق همراه با آنها میزبان کانه‌زایی و آثار معدنی فلزهای پایه و گران‌بهای متعددی هستند که مهم‌ترین آنها عبارتند از قله کفتران (Pb-Zn-Ag)، چاه‌موسی (Cu)، قله سوخته (Pb-Zn-Cu)، چشمه حافظ (Pb-Zn-Cu-Ag)، پوسیده (Cu-Au-Ag)، دارستان (Cu-Au)، ابوالحسنی (Pb-Zn-Cu-Ag-Au)، چالو (Cu-Au)، کوه‌زر و باغو (Au-Cu-Pb-Zn)، آستانه (Cu-Au) و گندی (Au-Ag-Pb-Cu-Zn) (Rashid Nejad Omran, 1992; Tajoldin, 1998; Shamanian et al., 2004; Fard et al., 2006; Emam Jomeh et al., 2008; Mehrabi and Ghasemi Siani, 2012; Sheibi and Mousivand, 2018; Tale Fazel et al., 2019). بر اساس بررسی‌های پیشین، بیشتر این کانسارها، از نوع سامانه‌های اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین (سریسیت-آدولاریا) تا متوسط (آدولاریا-پروفیلیت یا آلونیت-انارژیت) معرفی شده‌اند (Khoramtaash, 2018; Mahabadi and Fardoust, 2018; Tale Fazel et al., 2019). سیالات با منشأ ماگمایی و جوی از میان سنگ‌های برشی شده، گسل‌ها و شکستگی‌ها، لایه‌های نافذ و سایر مسیرها عبور می‌کنند. از نظر

سانتی گراد حدود ± 2 درجه سانتی گراد ثبت شده است. شوری میان‌بار سیال بر اساس بودنار (Bodnar, 1993) محاسبه شده است. برای تشخیص برخی کانی‌ها، از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مدل Sigma 300- HV در دانشگاه صنعتی شاهرود استفاده شد.

زمین‌شناسی

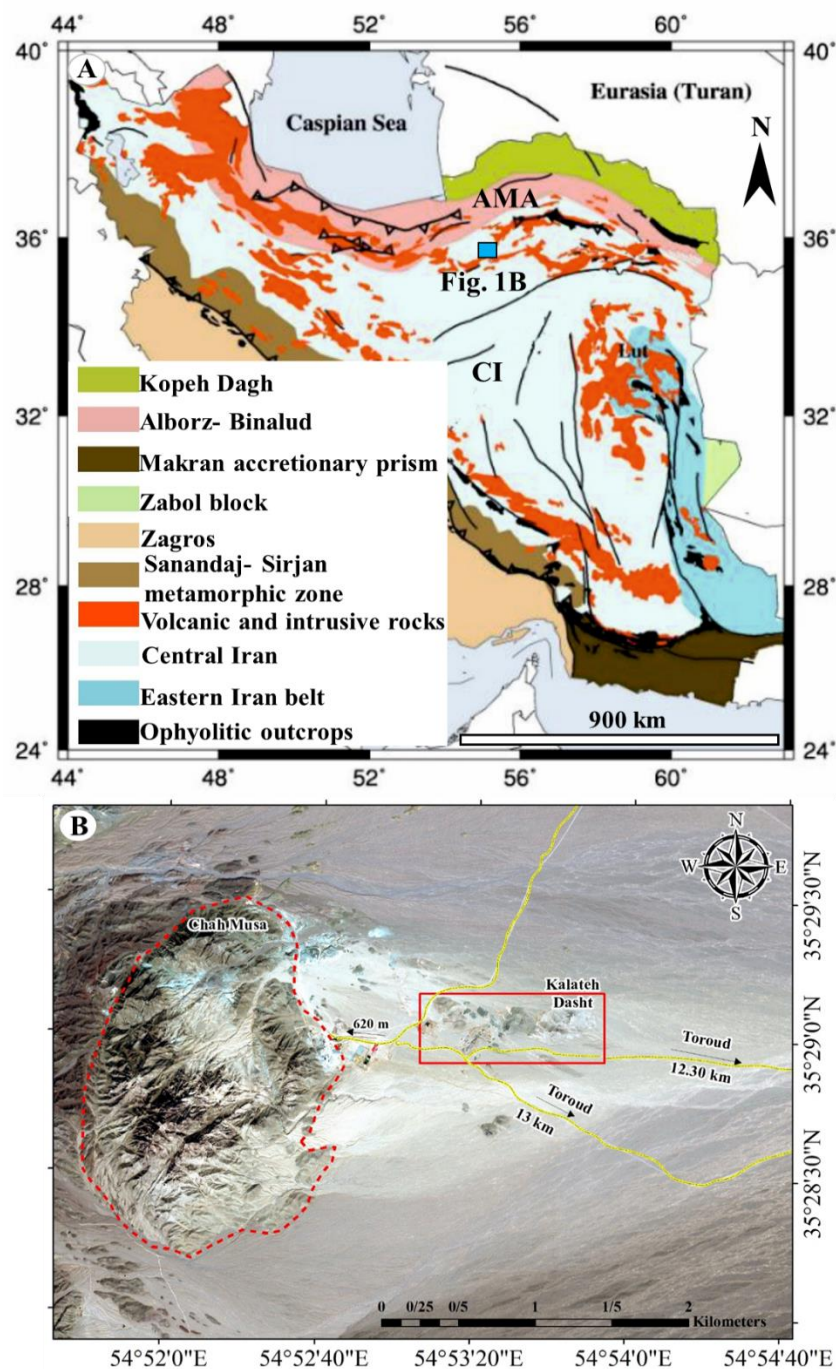
محدوده معدنی کلاته‌دشت در شمال زون ایران مرکزی واقع شده است و بخش کوچکی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلان (Eshraghi and Jalali, 2006) را تشکیل می‌دهد (شکل ۱-۱). این منطقه در شمال‌شرق کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین و در شرق کانسار مس چاه‌موسی-۱۳ کیلومتری شمال روستای تروود-واقع شده است (شکل ۱-۱B). کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین از نظر ساختاری بین دو گسل تروود (در جنوب) و انجیلو (در شمال) واقع شده است. کهن‌ترین سنگ‌ها در این کمان با ترکیب آمفیبولیت، شیست، گنیس، کوارتزیت، مرمر دولومیتی و فیلیت به سن پرکامبرین پسین، در شمال‌شرق و شرق کمان تروود-چاه‌شیرین، سنگ‌های دگرگون شده پالئوزوئیک در بخش غربی و سنگ‌های کربناتی-آواری مزوزوئیک اطراف رشم رخمون دارند. توالی سنگی سنوزوئیک در این کمان، بیشتر شامل تناوبی از سنگ‌های آذرآواری و آتشفشانی است. این مجموعه سنگی به سن اواسط ائوسن، طیفی از انواع توف، برش و آگلومرا با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و سیلتستون، کنگلومرا با قطعه‌های آهکی و سیلیسی را شامل می‌شود (Houshmandzadeh et al., 1978; Sheibi and Mousivand, 2018). سنگ‌های آتشفشانی ترکیبی از آندزیت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت، داسیت به سن اوایل تا اواسط ائوسن را شامل می‌شود و توده‌های نفوذی با ترکیب گابرویدوریت، مونزونیت، گرانویدوریت و گرانیت، این توالی‌های آتشفشانی-آذرآواری را قطع کرده‌اند. سنگ‌های جوان‌تر از الیگومیوسن به صورت رسوب‌های کنگلومرایی پلیوسن و رسوب‌های آبرفتی عهد حاضر در منطقه

رخمون دارند.

در منطقه کلاته‌دشت، توده‌ای نیمه عمیق با جنس دیوریت پورفیری (E^V) خاکستری-سبزینه و دارای ساخت پورفیری رخمون دارد (شکل ۲-۱A). رسوب‌های تخریبی سخت نشده عهد حاضر (Q^1) نیز در بردارنده قطعه‌های واحدهای E^V است (شکل ۲-۱A). این سنگ‌ها در نمونه دستی حاوی درشت بلورهای شکل‌دار پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند (کانی‌های مافیک) است. در بررسی‌های میکروسکوپی، واحد دیوریت پورفیری از کانی‌های اصلی پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند و کانی‌های فرعی زیرکن، اسفن، آپاتیت و اکسیدهای آهن تشکیل شده است (شکل ۴-۱A و ۱B). کانی‌های ثانویه سریسیت، کانی‌های رسی، کلریت و اپیدوت نیز مشاهده شده است (شکل ۴-۱A و ۱C).

کانی‌شناسی

فعالیت‌های معدنی در محدوده مورد بررسی، به صورت یک ترانسه بزرگ تقریباً در امتداد یک زون گسلی با امتداد تقریبی ۳۰ درجه شمال‌شرق و شیب نزدیک به قائم رخ داده است (شکل ۳-۱A). از آنجا که تنها فعالیت اکتشافی در این محدوده معدنی به تعدادی ترانسه حفاری محدود شده است؛ میزان عیار و تناژ این کانسار به طور دقیق مشخص نیست. در صحرا ساخت‌های برش گرمابی، قشری، مشبک و رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱B تا ۱I). رگه-رگچه‌های متعدد کانه‌زایی با امتداد غالب شمال‌شرق-جنوب‌غرب به موازات یکدیگر و در راستای زون گسلی مزبور مشاهده می‌شوند (شکل ۲-۱B). این رگه-رگچه‌ها حاوی کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، گالن و هماتیت هستند. کانی‌های باطله در قالب رگه-رگچه‌های کوارتز شانه‌ای-دندان‌سگی-نواری، آمیست و باریت با ضخامت متغیر (۳ تا ۵ سانتی‌متر) حضور دارند (شکل ۳-۱D تا ۱I). این شواهد همراه با ترکیب کانی‌شناسی و قرارگیری آنها در ساختارهای گسلی از پلی‌متال بودن این کانه‌زایی در محدوده معدنی کلاته‌دشت حکایت دارد.



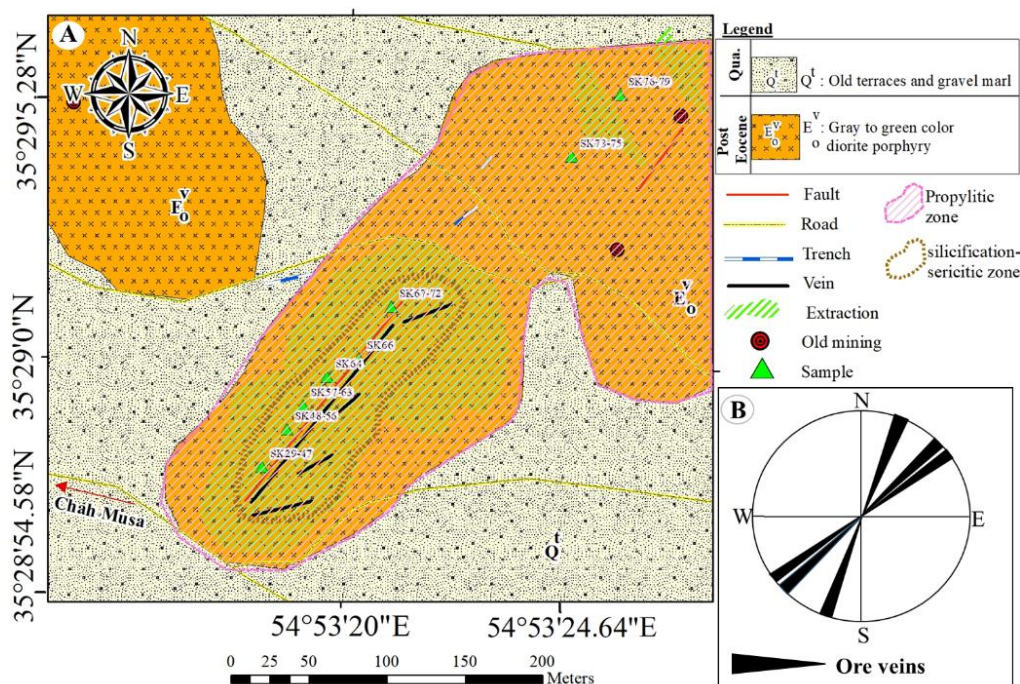
شکل ۱. A: موقعیت کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین بر روی نقشه زمین‌شناسی-ساختاری ایران برگرفته از آقانباتی (Agha Nabati, 2004): AMA: کمان ماگمایی البرز، CI: ایران مرکزی، UDMA: کمان ماگمایی ارومیه-دختر و B: موقعیت جغرافیایی محدوده‌های معدنی کلاته‌دشت و مس چاه‌موسی بر روی تصویر ماهواره‌ای Bing

Fig. 1. A: Location of Toroud-Chah Shirin magmatic belt on the map of structural zones of Iran (Agha Nabati, 2004), AMA: Alborz magmatic arc, CI: Central Iran, UDMA: Urumieh-Dokhtar magmatic arc, and B: The location of the Kalateh Dasht and Chah -Musa mining areas on the Bing satellite image.

است که طی دو مرحله کانی‌سازی هیپوژن و سوپرژن ایجاد شده‌اند. کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، بونیت و هماتیت در اثر فرایندهای هیپوژن و کانی‌های کولین، دیزنیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت ثانویه و گوتیت در اثر فرایندهای سوپرژن و هوازدگی تشکیل شده‌اند. در بررسی‌های کانه‌نگاری، کالکوسیت فراوان‌ترین کانه سولفیدی مس در این محدوده است که از حاشیه به کولیت تبدیل شده است (شکل ۵-۱). بلورهای پیریت و کالکوپیریت به صورت نیمه شکل‌دار با طیفی از اندازه و با درصد فراوانی ۳۰ درصد پراکنده شده‌اند. کالکوپیریت به صورت بلورهای بی‌شکل همراه با کانی‌های پیریت، گالن و اسفالریت مشاهده شده است (شکل ۵-۲). تأثیر فرایندهای اکسایش بر روی کانی‌های سولفیدی موجب تشکیل کانه‌های هیدروکسید آهن (گوتیت) شده؛ به گونه‌ای که از حاشیه به طور بخشی جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۵-۳).

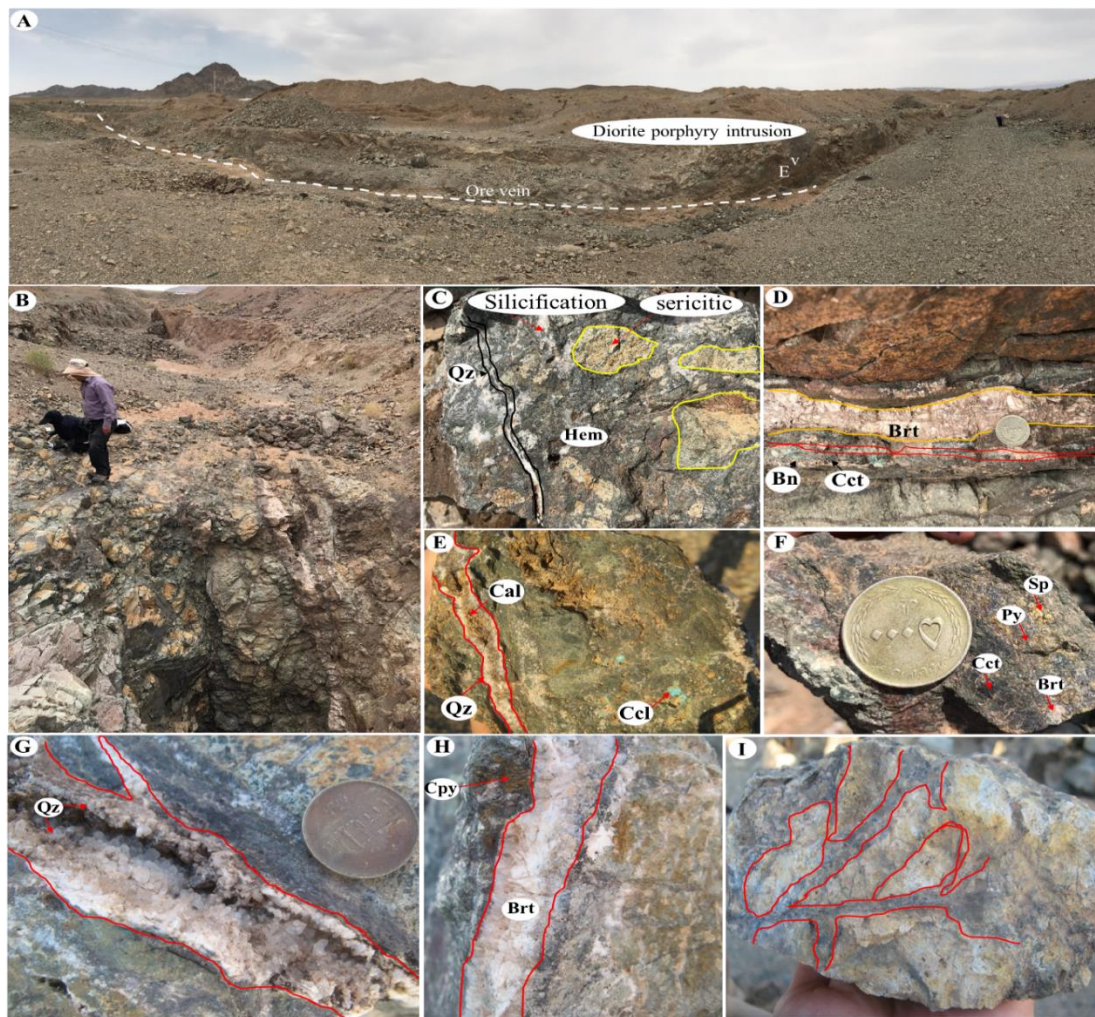
در برخی مناطق، آثار کانه‌زایی ثانویه به صورت کالکوسیت و آغستگی‌های سطحی مالاکیت و کریزو کلا نیز مشاهده شده است (شکل ۳-۱). در انتهای شرقی کانسار کلاته‌دشت و در مجاورت بدون فاصله پهنه‌ای با دگرسانی آرژیلیک، اسفالریت با رنگ روشن مشاهده شده است (شکل ۳-۲). ساخت و بافت ماده معدنی به صورت برشی، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای و جانیشینی است. کانی کوارتز دارای بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، تیغه‌ای، کلوفرمی و شان‌های با سولفیدهای مختلف همراه است (شکل ۴-۱). کانی‌های رسی، سرسیت و باریت همراه با سایر کانی‌های سیلیکاتی مشاهده شده‌اند.

دیگر کانی‌های شناسایی شده در کانسار کلاته‌دشت شامل مجموعه کانه‌های فلزی (سولفیدی و اکسیدی) و غیرفلزی (سیلیکاته و کربناته)



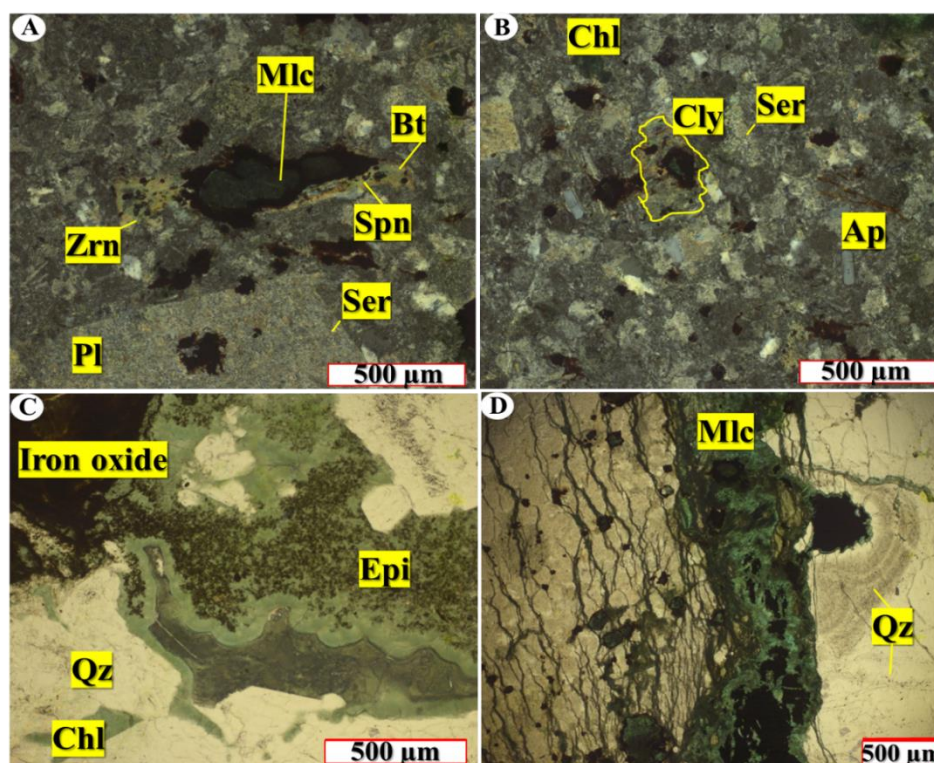
شکل ۲. A: نقشه زمین‌شناسی- دگرسانی تهیه‌شده از محدوده معدنی کلاته‌دشت. موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده نشان‌داده شده است و B: نمودار گل‌سرخ‌های رگه‌های کانه‌دار

Fig. 2. A: A geological- alteration map prepared from the Kalateh Dasht deposit. The locations of the collected samples are shown, and B: Rose diagram for the ore- bearing veins



شکل ۳. برخی از مهم‌ترین ویژگی‌های صحرایی مشاهده شده در کانسار کلاته‌دشت؛ A: دورنمایی از ترانشه حفاری در کانسار مورد بررسی (دید به سمت جنوب‌غرب)، B و C: برش گرمایی حاوی قطعه‌های دگرسان سیلیسی و سریسیتی توده میزبان با زمینه اغلب هماتیت، D: رگه باریتی با بافت شانه‌ای حاوی کالکوسیت و بورنیت به صورت دانه پراکنده، E: نمونه دستی از کوارتز و کلسیت شانه‌ای همراه با بلورهای دانه پراکنده کریزوکلا، F: نمونه دستی از پیریت، اسفالریت روشن رنگ و باریت در توده دیوریت پورفیری با دگرسانی پروپلیتیک، G: نمونه دستی از رگه کوارتز دندان سگی، H: تصویری از رگه باریت شانه‌ای همراه با کانه‌های سولفیدی مس (کالکوپیریت) و I: نمونه دستی از رگه‌های مشبک کانه‌زایی شده. علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Qz: کوارتز، Hem: هماتیت، Bn: بورنیت، Cct: کالکوسیت، Brt: باریت، Cal: کلسیت، Ccl: کریزوکلا، Sp: اسفالریت، Cpy: کالکوپیریت، Py: پیریت).

Fig. 3. Some of the most important field evidence in the Kalateh Dasht deposit; A: Perspective views of the main trench in the studied mining area (view towards the SW), B and C: Hydrothermal breccia with silicification and sericitic altered clasts of the host rock with a groundmass of dominant hematite, D: A barite vein with comb structure containing chalcocite and bornite as scattered grains, E: Hand specimen of crustiform quartz and calcite with scattered chrysocolla grain crystals, F: Hand specimen of pyrite, light-colored sphalerite, and barite in porphyry diorite intrusion with propylitic alteration, G: Hand specimen of dog-tooth quartz, H: an image of comb barite vein with copper sulfide ores (Chalcopyrite), and I: Hand specimen of lattice mineralized veins. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Qz: Quartz, Hem: Hematite, Bn: Bornite, Cct: Chalcocite, Brt: Barite, Cal: Calcite, Ccl: chrysocolla, Sp: Sphalerite, Cpy: Chalcopyrite, Py: Pyrite).

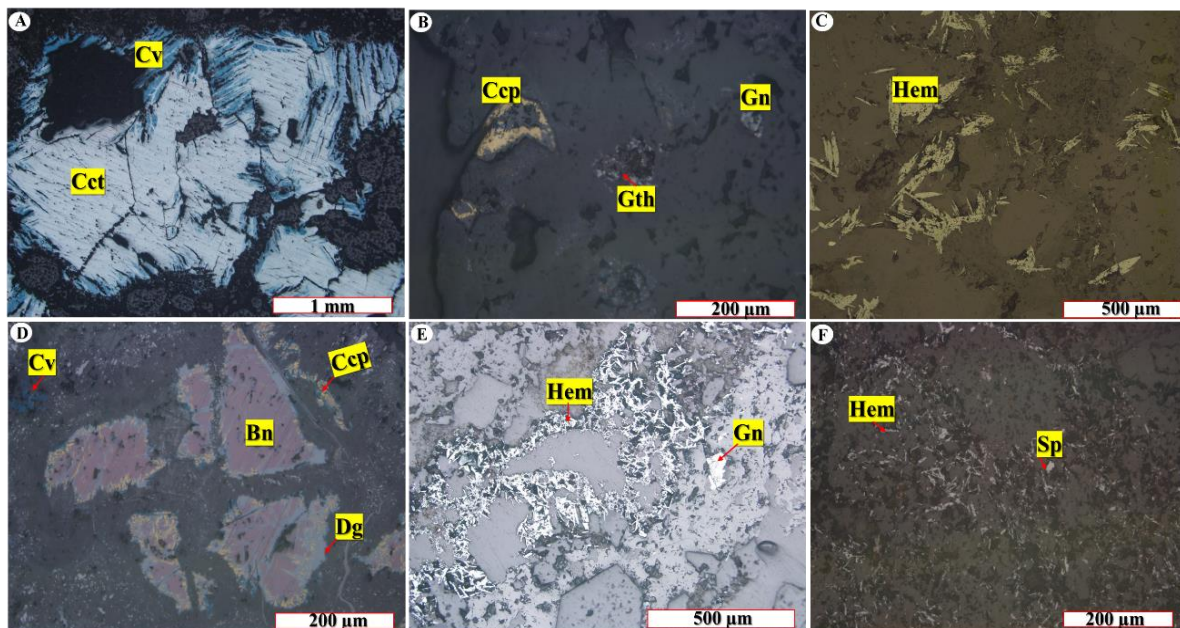


شکل ۴. برخی از مهم‌ترین شواهد میکروسکوپی در کانسار کلاته‌دشت؛ A و B: دیوریت پورفیری همراه با شواهدی از دگرسانی سریسیتی-کلریتی در نمونه شماره SK31، C: رگچه‌های کوارتز، اپیدوت و کلریتی به همراه اکسید آهن در نمونه شماره SK46 و D: رشد بلورهای کلوفرمی کوارتز همراه آغستگی مالاکیت در رگه-رگچه‌های کانهدار. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Bt: بیوتیت، Spn: اسفن، Zrn: زیرکن، Mlc: مالاکیت، Ap: آپاتیت، Chl: کلریت، Cly: کانی رسی، Epi: اپیدوت، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت).

Fig. 4. Some of the most important microscopic evidences in the Kalateh Dasht deposit; A and B: Diorite porphyry with evidence of chloritic-sericite alteration in sample No. Sk31, C: Quartz, epidote and chlorite veins along with iron oxide in sample No. SK46, and D: The growth of colloform quartz crystals with malachite in the ore vein-veinlet. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Plg: Plagioclase, Bt: Biotite, Spn: Sphene, Zrn: Zircon, Mlc: Malachite, Ap: Apatite, Chl: Chlorite, Cly: Mineral Clay, Ep: Epidote, Qz: Quartz, Ser: Sericite).

پراش انرژی پرتو ایکس حاصل از بررسی‌های تجزیه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی و عیار طلای گزارش شده تا ۵/۱۲ پی پی ام (Sheibi and Mousivand, 2018) نیز حضور طلا را تأیید می‌کند (شکل ۶-A و B). مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا با بافت‌های پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای، همراه با کالکوسیت و کولین، به عنوان فازهای ثانویه حضور دارند (شکل ۴-A).

علاوه بر این، هماتیت‌های تیغه‌ای یا اولیژیست نیز همراه کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است (شکل ۵-C). کالکوپیریت همراه با سایر کانی‌ها به صورت پرکننده فضاهای خالی و دانه پراکنده در داخل رگه-رگچه‌های کانهدار و به صورت انحلال-جامد با بورنیت دیده می‌شود (شکل ۵-D). گالن گاهی به صورت بافت پرکننده فضای خالی دیده می‌شود (شکل ۵-E و F). ذرات پراکنده طلا با میزبان کالکوپیریت و ابعاد کوچک‌تر از ۱۰ میکرون در برخی از مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. نتایج طیف سنجی



شکل ۵. شواهد میکروسکوپی کانسار کلاته‌دشت؛ A: تصویر میکروسکوپی از تبدیل شدن کالکوسیت به کوولین در نمونه شماره SK31، B: همراهی کالکوپریت در امتداد رگچه کوارتزی با گالن در نمونه شماره SK57، C: هماتیت‌های تیغه‌ای به صورت تجمعی در نمونه شماره SK46، D: اکسولوشن بورنیت با کالکوپریت که به کانی‌های ثانویه دیژنیت و کوولین شده‌اند (نمونه شماره SK57)، E: کانی‌های گالن و هماتیت سوزنی در نمونه شماره SK31 و F: اسفالریت همراه با بلورهای تیغه‌ای هماتیت در نمونه شماره SK52. تمامی تصاویرها در نور انعکاسی و علائم اختصاری از ویتنی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cv: کوولین، Cct: کالکوسیت، Gn: گالن، Gth: گوتیت، Ccp: کالکوپریت، Hem: هماتیت، Bn: بورنیت، Dg: دیژنیت، Sp: اسفالریت).

Fig. 5. Microscopic evidences in the Kalateh Dasht deposit; A: Photomicrograph of converting chalcocite to covellite in sample No. SK31, B: Association of chalcopyrite along the quartz veinlets with galena in sample No. SK57, C: Blade hematite minerals as aggregates in sample No. SK46, D: Exsolution of bornite and chalcopyrite, converted to digenite and covellite in sample No. SK57, E: Galena and hematite needles in sample No. SK31, and F: Sphalerite and bladed hematite in sample No. SK52. All images in reflected light and Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cv: Covellite, Cct: Chalcocite, Gn: Galena, Gth: Goethite, Ccp: Chalcopyrite, Hem: Hematite, Bn: Bornite, Dg: Digenite, Sp: Sphalerite).

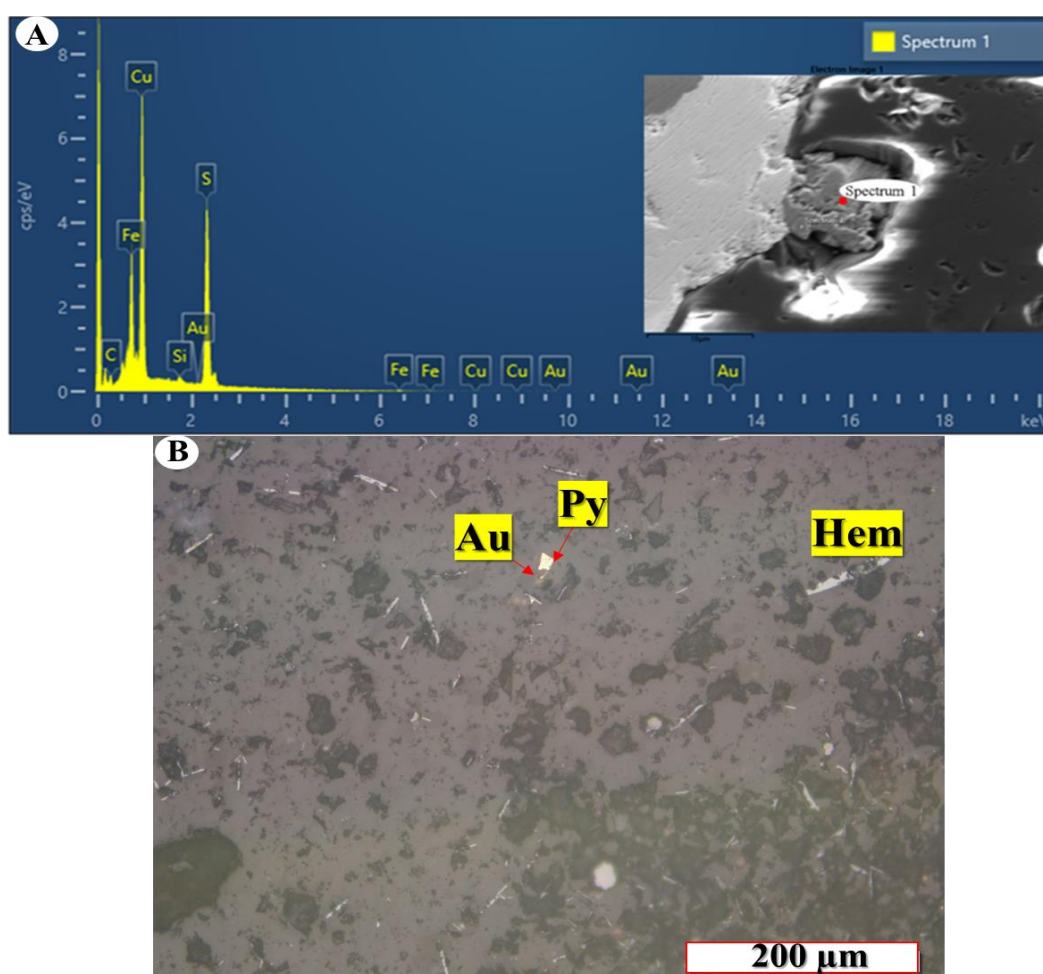
دگرسانی

معرض هجوم سیالات اسیدی قرار می‌گیرند، هیدرولیز شده و با سریسیت جانشین شده‌اند. از این رو باعث شده‌اند تا سریسیت‌ها به صورت لکه لکه و یا کامل دیده شوند (Barnes, 1997). دگرسانی سیلیسی به صورت بلورهای کوارتز دانه درشت و دانه ریز با بافت‌های رگه-رگچه، شانه‌ای، دندان سگی و قشرگون و سیلیسی شدن سنگ میزبان برونزد یافته است که مرتبط با کانی‌زایی عناصر پایه (مس) و گران‌بها (طلا) است. دگرسانی پروپیلیتیک در صحرا به رنگ سبز کم‌رنگ مشاهده شده است. از

شواهدی از انواع دگرسانی‌های گرمابی شامل سریسیتی، سیلیسی و پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت و کلسیت) در میزبان واحد دیوریت پورفیری کانسار کلاته‌دشت مشاهده می‌شود (شکل ۴- A تا D). از لحاظ زمانی و مکانی دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی با کانی‌سازی مرتبط هستند. دگرسانی سریسیتی شامل کانی‌های سریسیت (جانشین کانی پلاژیوکلاز) پیریت و کلسیت است. کانی‌های سرشار از آلومینیم سنگ‌های آذرین هنگامی که در

در فواصل نزدیک به رگه- رگچه‌ها دگرسانی شدیدتر بوده و درشت بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند به طور جزئی یا کامل به سریسیت، کلریت و یا اپیدوت تبدیل شده‌اند. دگرسانی‌های سریسیتی و سیلیسی در قسمت میانی کانای سازی رخ داده است و دگرسانی پروپیلیتیک با فراوانی بیشتر در اطراف رگه- رگچه‌های کانه‌دار تمرکز دارد.

شواهد این دگرسانی می‌توان به تبدیل شدن کانای‌های مافیک (هورنبلند و بیوتیت) به مجموعه کانای‌های دگرسانی پروپیلیتیک اشاره کرد. شواهد جزئی از دگرسانی آرژلیک (کانای‌های رسی) در صحرا به رنگ‌های زرد تا نخودی نیز در بخش انتهایی ترانشه (شمال شرق کانسار) با گسترش محدود مشاهده شده است. وسعت هاله‌های دگرسانی در اطراف رگه- رگچه‌ها بیشتر و از چند سانتی‌متر تا ۲ متر بسته به ضخامت رگه- رگچه‌ها متغیر است.



شکل ۶. A: مقادیر جزئی طلا در کالکوپریت توسط نتایج FE-SEM در یکی از نمونه‌های بررسی شده کانسار کلاته‌دشت و B: تصویر میکروسکوپی از کانای طلا و پیریت به همراه هماتیت‌های تیغه‌ای در رگه- رگچه کوارتزی نمونه شماره SK55. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Au: طلا، Py: پیریت، Hem: هماتیت).

Fig. 6. A: The trace amounts of gold in chalcopyrite is identified by FE-SEM results in one of the studied samples of Kelate Dasht deposit, and B: Photomicrograph of gold mineral and pyrite along with blade hematite in the quartz veinlet of sample No. SK55. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Au: Gold, Py: Pyrite, Hem: Hematite).

توالی همبرزادی

بر مبنای روابط بافتی و تقدم و تأخیر کانی‌های تشکیل‌شده، توالی همبرزادی کانی‌ها در محدوده معدنی کلاته‌دشت به ۲ مرحله کلی گرمایی و هوازدگی - سوپرژن قابل تقسیم است (شکل ۷). مرحله اول یا گرمایی شامل مراحل قبل از کانه‌زایی، کانه‌زایی I و کانه‌زایی II است. مرحله قبل از کانه‌زایی شامل کانی‌های مگنتیت و پیریت به صورت دانه پراکنده است. مرحله کانه‌زایی I شامل کانه‌زایی برشی - سیلیسی - سولفیدی شدن است. در این مرحله کانه‌زایی با ساخت برشی یا به صورت رگه - رگچه‌های کوارتزی - کلسیتی و مقادیری از آمتیست حاوی کانی‌های پیریت،

کالکوپیریت، بورنیت، گالن و اسفالریت همراه هماتیت، گوتیت و طلا نهشته شده است. مرحله کانه‌زایی II نیز شامل نهشت هماتیت و باریت به صورت برشی و طلا به صورت دانه پراکنده است. در مرحله دوم یا هوازدگی و سوپرژن، کانی‌های سولفیدی مس و آهن‌دار به کانی‌های ثانویه کولین، مالاکیت، آزوریت، دیژنیت و اکسید - هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده و به صورت بافت‌های رگه - رگچه‌ای، جانشینی، دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی نهشته شده‌اند. شکل ۷ توالی همبرزادی کانی‌ها در کانسار کلاته‌دشت را نشان می‌دهد.

Minerals		Stages			Supergene/ Weathering
		Pre-ore stage	Ore stage-I	Ore stage-II	
Ore Minerals	Magnetite	██████			
	Pyrite	██	██		
	Chalcopyrite		██████		
	Bornite		██████		
	Sphalerite		██		
	Galena		██		
	Hematite		██	██████	██████
	Gold			██	
	Barite			██████	██████
	Chalcocite				██████
	Covellite				██
	Digenite				██
	Malachite				██████
	Azurite				██
Geothite		██████		██████	
Alterations minerals	Quartz		██████		
	Amethyst		██		
	Calcite		██████		
	Sericite		██████		
	Chlorite	██	██████		
	Epidote		██████		
Ore textures	Vein-veinlet		██████		██████
	Brecciated		██████	██████	
	Open- space fillings		██████		
	Disseminated	██████	██████	██████	██████
	Replacement				██████
	Comb		██████		

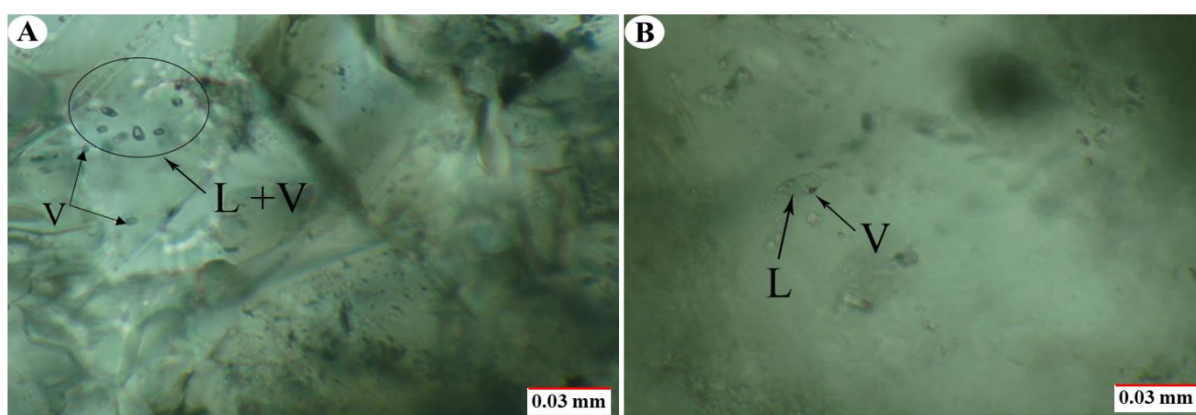
شکل ۷. توالی همبرزادی کانی‌ها و بافت‌ها در کانسار کلاته‌دشت

Fig. 7. Paragenetic sequence of minerals and textures in the Kalateh Dasht deposit

میان‌بارهای سیال

در این پژوهش تعدادی مقاطع دوبر صیقل از بلورهای کوارتز، کلسیت و باریت با هدف بررسی ماهیت سیالات گرمابی تهیه شده است؛ اما به دلیل ریز بودن سیالات در کوارتز، انجام بررسی‌های میکروترمومتری در این کانی میسر نشد. لذا از بحث و بررسی سیالات موجود در بلورهای کوارتز صرف‌نظر شده است. در بلورهای کلسیت و باریت برداشت شده از کانسار کلاته‌دشت،

میان‌بارهای سیال بیشتر به شکل‌های دوکی و کروی، منفرد و مجتمع با ابعاد بین ۱۰ تا ۲۰ میکرون مشاهده شده است. همچنین، اغلب اندازه میان‌بارهای سیال اولیه بزرگ‌تر از میان‌بارهای سیال ثانویه هستند. بر اساس تقسیم‌بندی شفرد و آلن (Shepherd and Allen, 1985)، بیشتر میان‌بارهای موجود از نوع دو فازی مایع-گاز (L+V) غنی از مایع هستند (شکل ۸-A و B).



شکل ۸. تصویرهای میکروسکوپی از میان‌بارهای سیال در کانی کلسیت کانسار کلاته‌دشت؛ A: میان‌بارهای سیال حاوی گاز و مایع (L+V) و غنی از گاز (V)؛ B: میان‌بارهای سیال حاوی گاز و مایع (L+V)

Fig. 8. Microscopic images of fluid inclusions in calcite mineral the Kalateh Dasht deposit; A: L+V- and Vapor-rich fluid inclusions, and B: L+V fluid inclusions

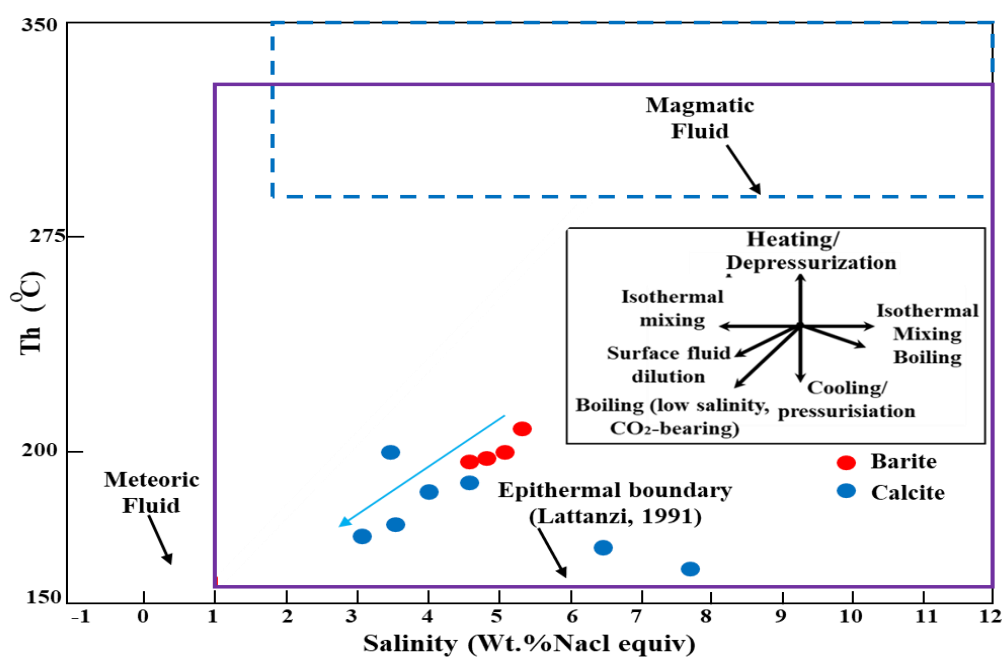
طعام را نشان می‌دهد (جدول ۱ و شکل ۹). همچنین نتایج این بررسی‌ها در کانی کلسیت، تغییرات دمای همگن شدن پایانی به فاز مایع (Th) بین ۱۴۳/۲ تا ۲۱۳/۱ درجه سانتی‌گراد، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (T_{ice}) بین ۲/۸۱- تا ۳/۸۲- درجه سانتی‌گراد و میزان شوری بین ۴/۶۵ تا ۶/۱۶ درصد وزنی معادل نمک طعام را نشان می‌دهد (جدول ۱ و شکل ۹). همچنین، فرایندهای مؤثر در ته‌نشست مواد معدنی از سیال کانه‌ساز در محدوده معدنی کلاته‌دشت بیانگر فرایند جوشش از یک سیال با مقدار شوری پایین و غنی از CO₂ بوده است (شکل ۹) که وجود کلسیت در رگه-رگچه‌های کانه‌دار، میزان بالای CO₂ را تأیید می‌کند.

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده، بیشترین حجم میان‌بارهای سیال بررسی شده را فاز مایع و به مقدار کمتر فاز بخار تشکیل می‌دهند. حضور میان‌بارهای تک فازی غنی از مایع و غنی از گاز همراه با یکدیگر و نیز وجود بافت برش گرمابی نشان‌دهنده رخداد جوشش در منطقه است. در میان‌بارها، فاز جامد نمک مشاهده نشد. **پدیده باریک‌شدگی** نیز تشخیص داده شد که مورد بررسی میکرودماسنجی قرار نگرفت. نتایج به دست آمده از بررسی میان‌بارهای سیال در کانی باریت، تغییرات دمای همگن شدن پایانی به فاز مایع (Th) بین ۱۶۸/۱ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (T_{ice}) بین ۱/۸- تا ۵/۹۴- درجه سانتی‌گراد و میزان شوری بین ۷/۷۳ تا ۳/۰۶ درصد وزنی معادل نمک

جدول ۱. داده‌های ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در محدوده معدنی کلاته‌دشت. no. معرف تعداد میان‌بارهای سیال اندازه‌گیری شده است.

Table 1. Microthermometric data of fluid inclusions in the Kalateh Dasht deposit. no. represents the number of measured fluid inclusions.

Sample no.	Host Mineral	FI type	FIA	Type	no.	Vapor liquid ratio	T _{mice} (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Th (°C)
FI-66	Barite	Primary	FIA-1	L+V	2	10	-2.20 to -4.11	3.7 to 6.5	168.1 to 200
			FIA-2	L+V	3	20	-2.12 to -5.94	3.5 to 7.7	164.7 to 189.2
			FIA-3	L+V	1	35	-1.80	3	177
			FIA-4	L+V	1	25	-2.70	4.4	191.1
FI-67	Calcite	Primary	FIA-1	L+V	2	30	-3.10 to -3.82	5.1 to 6.1	143.2 to 213.1
			FIA-2	L+V	4	10	-2.81 to -2.95	4.6 to 4.8	188.4 to 198.4



شکل ۹. شوری و دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای سیال منطقه کلاته‌دشت در نمودار برگرفته شده از هدنکوئیست و همکاران (Hedenquist et al., 2000)

Fig. 9. Salinity and homogenization temperature of fluid inclusions of Kalateh Dasht deposit in the diagram taken from Hedenquist et al. (2000).

و بافت کانسنگ، الگوی دگرسانی و شرایط فیزیکوشیمیایی سیال

گرمایی در کانسار کلاته‌دشت نشان می‌دهد که این رخداد

بحث

ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، ترکیب کانی‌شناسی، ساخت

و کلسیت) به ویژه در حاشیه‌های رگه- رگچه‌های کانهدار شناسایی شدند.

ب) شرایط فیزیکیوشیمیایی سیال گرمایی

از آنجا که فرایندهای کانی‌سازی توسط عواملی از قبیل حرارت، فشار، pH و سایر ویژگی‌های سیالات کنترل می‌شوند (Pirajno, 2012)، برای بررسی این ویژگی‌ها و ماهیت سیالات کلاته‌زا از بررسی میان‌بارهای سیال در کانسار کلاته‌دشت بهره‌گرفته شده است. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ داده‌های حاصل از میان‌بار سیال این پژوهش با میزان دما و شوری اندازه‌گیری شده در میان‌بارهای سیال برخی از مهم‌ترین کانسارهای اپی‌ترمال موجود در کمان ماگمایی تروود-چاه‌شیرین مقایسه شده است (Mehrabi and Ghasemi Siani, 2010; Khalaj et al., 2019). ماهیت میان‌بارهای سیال در کانسارهای اپی‌ترمال تروود-چاه‌شیرین به صورت دو فاز مایع-گاز با دمای همگن شدن پایین است (Mehrabi et al., 2014). میزان شوری میان‌بارهای سیال با نوع فلز در منطقه همخوانی دارد؛ به طوری که، کانسار چالو دارای شوری کمتر و به سوی کانسارهای ابوالحسینی و چشمه حافظ به میزان شوری سیال به تدریج افزوده می‌شود (Mehrabi et al., 2014). بر اساس بررسی‌های این پژوهشگران، میانگین دمای همگن‌شدگی در کانسار چالو بین ۲۹۰ تا ۳۵۶ درجه سانتی‌گراد و میزان دمای همگن‌شدن در کانسار چشمه حافظ بین ۱۴۰ تا ۲۷۶ درجه سانتی‌گراد است. میانگین دمای همگن‌شدن در کانسار ابوالحسینی در بین این دو کانسار و از ۲۳۴ تا ۳۴۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. کاهش تدریجی دمای همگن‌شدگی از کانسار چالو به چشمه حافظ مشهود است (Shamanian et al., 2004; Mehrabi et al., 2014). در محدوده معدنی کلاته‌دشت بر خلاف کانسار ابوالحسینی و چاه موسی، کمپلکس‌های سولفیدی در انتقال و نهشت کانه‌های فلزی نقش داشته است (شکل ۱۰).

در محدوده مورد بررسی، علاوه بر بافت برشی گرمایی یادشده، حضور میان‌بارهای سیال دو فاز مایع و غنی از گاز، بیانگر رخداد جدایش فازی (از قبیل جوشش) طی مراحل کانی‌سازی

کانه‌زایی را می‌توان در گروه کانسارهای اپی‌ترمال فلزهای پایه (نقره) طبقه‌بندی کرد (Hedenquist et al., 2000; Simons et al., 2005).

الف) شواهد کانی‌شناسی، ساخت و بافت، کانه‌زایی و دگرسانی

نبود آلونیت در رگه- رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار و همچنین نبود بافت‌های حفره‌ای و دگرسانی آرژلیک پیشرفته در کانسار کلاته‌دشت نشان می‌دهد که این کانه‌زایی را نمی‌توان در گروه کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا طبقه‌بندی کرد (Wang et al., 2019; Hedenquist et al., 2000).

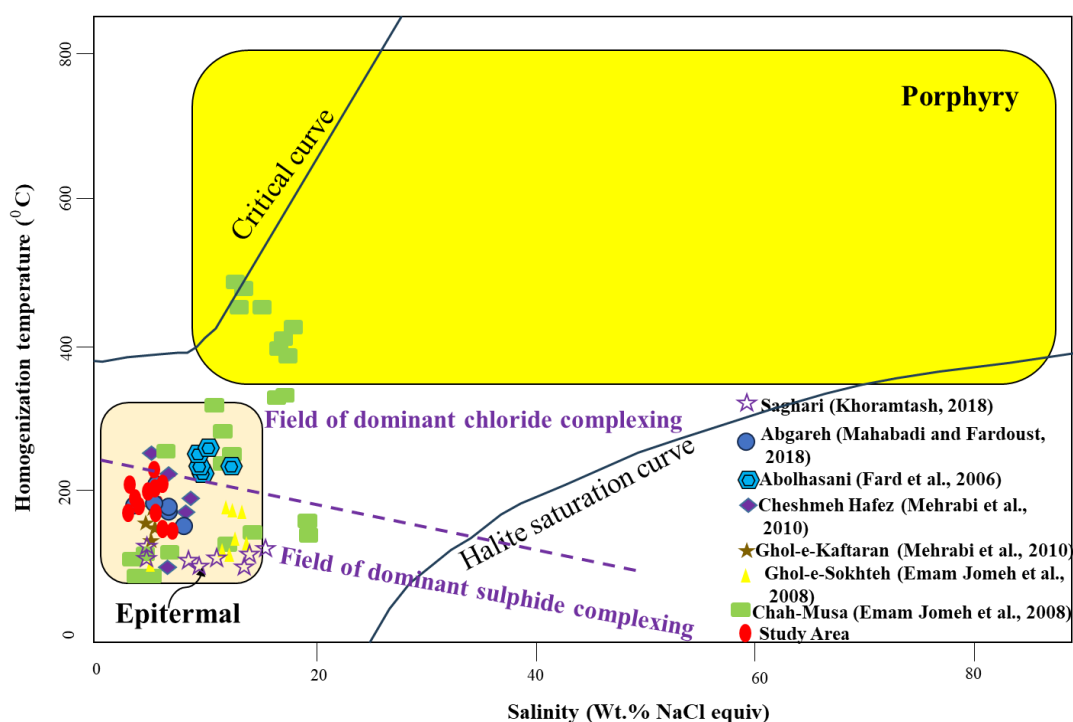
در کانسار مورد بررسی، کانه‌زایی در ساختارهای برش گرمایی و رگه- رگچه‌ای با روند غالب شمال‌شرق- جنوب‌غرب روی داده است و اغلب در امتداد یک زون گسلی با امتداد تقریبی ۳۰ درجه شمال‌شرق با شیب نزدیک به قائم گسترده شده است. کانسارهای رگه‌ای پلی‌متال و نیز کانسارهای اپی‌ترمال غنی از فلزهای پایه در کمرندهای آتشفشانی به وفور مشاهده شده‌اند (Aghajani et al., 2016). کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، بورنیت، گالن، باریت، همتایت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و کریزوکلا در داخل تعداد زیادی رگه- رگچه و به موازات یکدیگر در این زون گسلی مشاهده می‌شوند. داده‌های زمین‌شیمی پژوهش‌های پیشین (Sheibi and Mousivand, 2018) و تجزیه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی، مقادیری طلا در این محدوده معدنی را نشان می‌دهد. علاوه بر این، بافت‌های شان‌ای- دندان سگی، قشری و مشبک- تیغه‌ای یا صفحه‌ای در کانی‌های باطله (کوارتز و کلسیت) از رایج‌ترین بافت‌های شاخص سامانه‌های اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط بوده و در بسیاری از این نوع کانسارها گزارش شده است (Wang et al., 2019) که در محدوده معدنی بافت‌های شان‌ای و دندان سگی مشاهده شده است (شکل ۳-E تا G). سنگ میزبان دیوریتی در اثر عملکرد سیالات گرمایی به شدت دگرسان شده و انواع دگرسانی‌های سریستی، سیلیسی و پروپیلیتیک (کلریت، اپیدوت

عوامل نهشت فلزها در این نوع سیالات در نظر گرفته شده‌اند. میزان فشار بخار نیز برای میان‌بارهای سیال بین ۱۰ تا ۵۰ بار است (شکل ۱۱-ب). کانسارهای اپی‌ترمال نوع IS دارای مقادیر دمای همگن‌شدگی ۱۴۰ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد، شوری wt.% NaCl ۱۲-۲۳ و عمق بالای ۱۰۰ متر هستند (Simmons et al., 2005). عمق، دمای تشکیل در کانسار کلاته‌دشت به خوبی با ویژگی‌های یادشده مطابقت دارد.

پ) الگوی رخداد کانه‌زایی

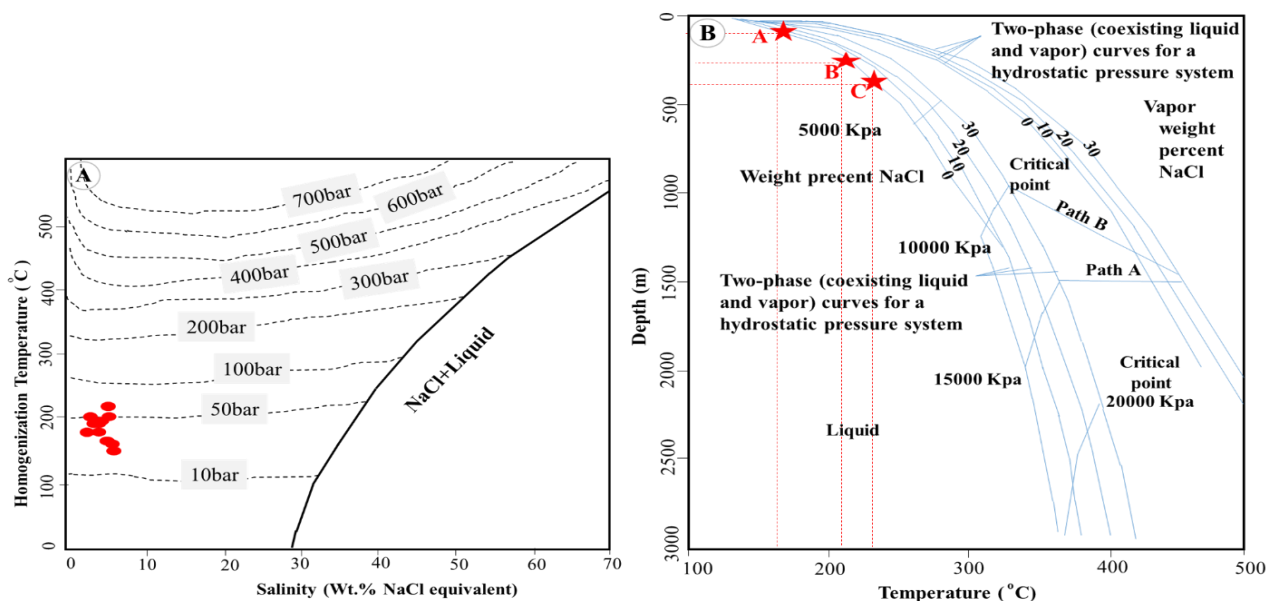
در کانسارهای نوع اپی‌ترمال که کانی‌سازی سولفیدی و اکسیدی وجود دارد، تغییرات فشار نسبی اکسیژن (fO_2) و گوگرد (fS_2) محیط یکی از عوامل مهم رخداد کانی‌سازی محسوب می‌شود (Cooke and Simmons, 2000).

است (White and Hedenquist, 1995). با استفاده از نمودار درجه حرارت جوشش و منحنی‌های فشار می‌توان عمق را محاسبه کرد (Cunningham, 1978). بنابراین، با توجه به مشاهده شدن شواهد رخداد فرایند جوشش در کانسار، عمق کانه‌زایی کمتر از ۵۰۰ متر بوده است (شکل ۱۱-ا)؛ که متناسب با کانسارهای اپی‌ترمال نقره و فلزهای پایه سولفید متوسط است (Hedenquist, 2001; Albinson et al., 2000; et al.). از سوی دیگر، بافت‌های مشاهده شده نیز بیانگر فرایند جوشش بوده و به عنوان متداول‌ترین سازوکار نهشت فلزها در سامانه‌های IS معرفی شده‌اند (برای مثال کانسار چاه زرد؛ Kouhestani et al., 2015). رقیق‌شدن سیالات (Barton et al., 1977) و اختلاط (Márquez-Zavalía and Heinrich, 2016) نیز از دیگر



شکل ۱۰. نمودار دمای همگن‌شدن در برابر شوری ویلکینسون (Wilkinson, 2001) و تفکیک میدان حضور کمپلکس‌های کلریدی و سولفیدی (Pirajno, 2009) میان‌بارهای سیال در محدوده تروود-چاه شیرین و کانسار کلاته‌دشت. بیشتر نمونه‌ها در محدوده کانسارهای اپی‌ترمال ترسیم شده‌اند.

Fig. 10. Graph of homogenization temperature versus salinity (Wilkinson, 2001) and separation of the presence field of chloride and sulphide complexes (Pirajno, 2009) of fluid inclusions in the Toroud-Chah Shirin and Kalateh Dasht deposit. Most samples are plotted in the domain of the epithermal deposits.



شکل ۱۱. A: تعیین فشار بخار بر اساس دمای همگن شدن و میزان شوری در کانسار کلاته‌دشت و B: نمودار تعیین عمق بر حسب دمای همگن شدن کانینگام (Cunningham, 1978) در کانسار کلاته‌دشت (A معادل کمترین دمای همگن شدگی، B معادل میانگین دمای همگن شدگی و C معادل بیشترین دمای همگن شدگی)

Fig. 11. A: The determination of vapor pressure in the Kalateh Dasht deposit based on the homogenization temperature and salinity, and B: The depth determination chart in the Kalateh Dasht deposit based on the homogenization temperature (Cunningham, 1978). In this chart, A represents the minimum temperature of homogenization, B represents the average temperature of homogenization, and C represents the maximum temperature of homogenization

تشکیل می‌شوند (Wang et al., 2019).

بر اساس نتایج حاصل از مشاهدات صحرائی، سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و کانه‌ها و نتایج بررسی‌های میان‌بارهای سیال در کانسار کلاته‌دشت و مقایسه آن با دیگر کانسارهای فلزهای پایه و گران‌بها موجود در TCSMA (جدول ۲)، چگونگی تحولات منطقه و رخداد کانسار کلاته‌دشت را می‌توان به صورت یک مدل دو مرحله‌ای خلاصه کرد: در مرحله اول، بعد از فرورانش اقیانوس سبزووار به زیر پوسته قاره‌ای بخش شمالی کمربند ایران مرکزی که موجب تشکیل توالی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن و سنگ‌های رسوبی همراه شده است، توده‌های نیمه عمیق دیوریت پورفیری به درون توالی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده است.

سیالات غنی از اکسیژن پس از نفوذ به اعماق و ترکیب با آب‌های ماگمایی-گرمابی دما بالا و غنی از H_2O ، HCl و HF در شرایط فشار بالای اکسیژن و پایین گوگرد باعث رخداد مجموعه هماتیت، مگنتیت و کلسیت طی مرحله نخست کانی‌سازی می‌شوند. در گام بعدی و با کاهش تدریجی فشار نسبی اکسیژن، مقدار گوگرد در محیط افزایش یافته، کانی‌سازی فلزهای پایه (مس، طلا، سرب و روی) و گران‌بها (نقره و طلا) همراه با پیریت و کالکوپیریت در رگه-رگچه‌های کوارتز سولفیدی کانه‌دار صورت می‌گیرد. اسفالریت با رنگ روشن (فقیر آهن) که در انتهای شرقی کانسار کلاته‌دشت در مجاورت بلافصل پهنه‌ای با دگرسانی آرژلیک مشاهده شده است، از دیگر شاخص سامانه‌های اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط است. این کانی که با سیالات نسبتاً اکسید شده سازگار است و در محل تماس دو سامانه IS و HS

جدول ۲. مقایسه کانسار کلاته‌دشت با برخی از کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون متوسط در TCSMA و ایران. (Sp: اسفالریت، Gn: گالن، Tnt: تنانتیت، Cpy: کالکوپیریت، St: استیبینیت، Py: پیریت، Bn: بورنیت، Hem: هماتیت، Mlc: ملاکیت، Az: آزوریت، Au: طلا، Cct: کالکوسیت، Tet: تتراهدریت، Cv: کوولین، Di: دیژنیت، Qz: کوارتز، Cal: کلسیت، Brt: باریت، Chl: کلریت، Ser: سریسیت، Dol: دولومیت، Ep: اپیدوت).

Table 2. Comparison of the Kalateh Dasht deposit with some intermediate sulfidation (IS) epithermal deposits in TCSMA and Iran. (Sp: Sphalerite, Gn: Galena, Tnt: Tennantite, Cpy: Chalcopyrite, St: Stibnite, Py: Pyrite, Bn: Bornite, Hem: Hematite, Mlc: Malachite; Az: Azurite; Au: Gold; Cct: Chalcocite; Tet: Tetrahedrite; Cv: Covellite; Di: Digenite; Qz: Quartz, Cal: Calcite, Brt: Barite, Chl: Chlorite, Ser: Sericite, Dol: Dolomite, Ep: Epidote)

Features	IS epithermal deposit	Gomish Tapeh (Zanjan)	Narbaghi Shomali (Saveh)	Abolhasani (Damghan)	Chashmeh Hafez (Toroud)	Ghole Kaftaran (Toroud)	Kalateh Dasht (Toroud)
Metals	Pb-Zn-Cu-Ag	Pb-Zn-Cu-Ag	Pb-Zn-Cu-Ag	Pb-Zn-Ag-Au	Pb-Zn-Cu-Ag	Pb-Zn	Cu-Pb-Zn-Ba-Au-Ag
Host rock	Diorite-rhyodacite	Dacite	Diorite	Diorite	Diorite-basalt-dacite	Dacite-Diorite	Diorite
Structure and texture	Comb, crusty, banded, and filling space	Vein-breccia, and filling space	Vein-breccia, and comb	Space fillings, replacement and diffusion	Asymmetric banded, and space fillings	Space fillings, and diffusion	Space fillings, stockwork, banded, replacement, and brecciated
Ore mineralogy	Sp, Gn, Tnt, Cpy, St	Py, Cpy, Bn, Sp, Gn, Hem	Cpy, Py, Sp, Tnt, Mlc, Az	Cpy, Py, Sp, Gn, Au, Tn, Cct	Gn, Sp, Py, Cpy, Tet, Mal, Cct, Cv, Dj	Gn, Sp, Py, Cpy, Cct, Cer	Py, Cpy, Sp, Gn, Tnt, Hem, Au, Cct, Mlc, Cct
Gangue mineralogy	Qz, Cal, Brt	Qz, Cal, Chl, Clay minerals	Qz, Cal, Ser, Clay minerals, Chl	Dol, Qz, Cal, Brt, Ep	Qz, Cal	Brt, Cal	Qz, Cal, Brt
Alteration	Sericitic, argillic, silicification, and propylitic	Sericitic, argillic, silicification, and carbonatic	Sericitic, argillic, propylitic, carbonatic, and tourmaline	Sericitic, silicification, and propylitic	Propylitic, phillic, argillic, and sericitic	Sericitic, propylitic, and argillic	Propylitic, silicification, and sericitic
Fluid inclusions	Th= 140-320°C Salinity=12-23 (wt.% NaCl)	Th= 260-367°C Salinity=1-10 (wt.% NaCl)	Th= 100-220 °C Salinity=10-28 (wt.% NaCl)	Th= 287 °C Salinity=12.7 (wt.% NaCl)	Th= 167-260 °C Salinity=7.5-14.5 (wt.% NaCl)	Th= 185-200 °C Salinity=2.5-9.3 (wt.% NaCl)	Th= 143.2-213.1 °C Salinity=3-7.7 (wt.% NaCl)
Reference	Sillitoe et al., 2005; Zhu et al., 2011; Andreeva et al., 2013	Salehi et al., 2008	Fazli et al., 2019	Shamanian et al., 2004; Fard et al., 2006; Mehrabi and Ghasemi Siani, 2010	Janati et al., 2011; Mehrabi et al., 2014	Emam Jomeh et al., 2008	Current study

دگرسانی‌های منطقه شامل پروپلیتیک، سریستی و سیلیسی بوده و کانی‌سازی در طی دو مرحله شامل نهشته‌شدن کانی‌های سولفیدی اولیه (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، بورنیت و هماتیت) موجود در رگه-رگچه‌های کوارتزی و کانی‌های ثانویه (کولین، دیژنیت، کوپریت، مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا) رخ داده است. رگه-رگچه‌های کانهدار در امتداد یک زون گسلی تشکیل شده‌اند. این زون گسل و دیگر درزه و شکستگی‌های موجود در منطقه، کنترل‌کننده اصلی ماده معدنی بوده و مسیری مناسب برای چرخش سیالات کانهدار ایجاد و سبب تمرکز کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌های کانهدار شده است. نتایج حاصل از بررسی میان‌بارهای سیال به دام‌افتاده در کانی‌های کلسیت و باریت نشان می‌دهد که دمای همگن‌شدگی در میان‌بارهای سیال، بین ۱۴۳/۲ تا ۲۱۳/۱ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری نیز بین wt.% NaCl eq. ۳/۰۶ تا ۷/۷۳ است. به طور کلی، شواهد بررسی‌های صحرایی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، الگوی دگرسانی و نتایج میان‌بارهای سیال در کانسار کلاته‌دشت نشان می‌دهد که تنه‌نشست مواد از یک سیال گرمابی تحت شرایط تشکیل کانسارهای نوع اپی‌ترمال فلزهای پایه (نقره) با سولفیداسیون متوسط رخ داده است. مجاورت این کانسار IS با یک پهنه آرژیلیک و سایر سامانه‌های کانه‌زایی موجود در این منطقه، رخداد احتمالی یک سامانه پورفیری در عمق را تقویت می‌کند.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

این توده‌ها در مناطق مجاور کانسار کلاته‌دشت نیز برون‌زد دارند. توده‌های مزبور به عنوان یک موتور حرارتی عمل کرده و سبب چرخش آب‌های جوی در منطقه شده است. این آب‌ها علاوه بر توسعه پهنه‌های دگرسانی، سبب شسته‌شدن عناصر فلزی از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آنها به صورت رگه-رگچه‌های سیلیسی کانهدار شده است. البته ممکن است بخشی از سیال از توده منشأ گرفته باشد. در این مرحله، که همان مرحله برشی-سیلیسی-سولفیدی (مرحله کانه‌زایی) است، کانه‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت و باریت) به صورت رگه-رگچه‌های کوارتزی سولفیدی کانهدار رخ داده است. مرحله دوم (هوازگی و سوپرژن) شامل بالاآمدگی ناحیه و توسعه فرایندهای هوازگی و فرسایش در منطقه است. در این مرحله کانی‌های ثانویه شامل کولین، مالاکیت، آزوریت و اکسید-هیدروکسیدهای آهن به صورت رگه-رگچه، جانشینی و پرکننده فضاهای خالی ایجاد شده و جانشین کانی‌های اولیه شده‌اند. در کمرنده‌های کوه‌زایی بسیاری از سامانه‌های IS، روابط مکانی-زمانی-ژنتیکی خوبی با کانه‌زایی‌های مولیبدن پورفیری گزارش شده است (Wang et al., 2019). بنابراین مجاورت سامانه IS کلاته‌دشت، با یک پهنه آرژیلیک به احتمال قوی می‌تواند با استقرار یک سامانه پورفیری در عمق مرتبط بوده و به اکتشاف ذخائر جدید کمک کند.

نتیجه‌گیری

در کانسار کلاته‌دشت سنگ‌های نیمه عمیق با ترکیب دیوریت پورفیری میزبان رخداد‌های کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌ای، برشی، پرکننده فضای خالی و افشان هستند. مهم‌ترین

1. Toroud-Chah Shirin Magmatic Arc (TCSMA)
2. Low sulfidation (LS)
3. Intermediate sulfidation (IS)
4. Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM)
5. Central Iran (CI)

6. Energy dispersive x-ray spectroscopy (EDS)
7. Isolate
8. Cluster
9. Necking Down

References

- Agha Nabati, S., 2004. Geology of Iran. publications of the Organization of Geology and Mineral Exploration of the country, Tehran, 709 pp. (in Persian) Retrieved November 12, 2012 from <https://s1.picofile.com/d/7559829672/305184d1-f624-470a-8598-8fb3b687ee2d/%D8%A7%D9%82%D8%A7%D9%86%D8%A8%D8%A7%D8%AA%DB%8C.rar>
- Aghajani Marsa, S., Hashem Emami, M., Lotfi, M., Qolizadeh, k. and Ghasemi Sayani, M., 2016. The origin of epithermal polymetallic veins in Nikoiye area (Western Qazvin) based on mineralogical, alteration and fluid intercalation studies. *Scientific of Earth Sciences*, 25(99): 157–168. (in Persian) Retrieved July 23, 2015 from https://www.gsjournal.ir/article_40893_71c9d7161bee115399efe6691b64aa76.pdf
- Albinson, T., Norman, D., 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. Nelson (Editors), *New Mines and Discoveries in Mexico and Central America*. Society of Economic Geologists, pp. 114–135. <https://doi.org/10.5382/SP.08.01>
- Andreeva, E., Matsueda, H., Okrugin, V., Takahashi, R. and Shuji, O., 2013. Au–Ag–Te Mineralization of the Low-Sulfidation Epithermal A ginskoe Deposit, Central Kamchatka, Russia. *Resource Geology*, 63(4): 337–349. <https://doi.org/10.1111/rge.12013>
- Barnes, H.L., 1997. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: H.L. Barnes (Editor), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley and Sons, New York, pp. 229–303.
- Barton, P., Bethke, P.M. and Roedder, E., 1977. Environment of ore deposition in the Creede mining district, San Juan Mountains, Colorado; Part III, Progress toward interpretation of the chemistry of the ore-forming fluid for the OH Vein. *Economic Geology*, 72(1): 1–24. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.72.1.1>
- Bodnar, R., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O–NaCl solutions. *Geochimica et Cosmochimica acta*, 57(3): 683–684. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-A](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-A)
- 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. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.06>
- Cunningham, G., 1978. Pressure gradients and boiling as mechanisms for localizing ore in porphyry systems, *Journal of Research of the U.S. Geological Survey*, 6(6): 745–754. Retrieved April 22, 1978 from <https://pubs.usgs.gov/journal/1978/vol6issue6/report.pdf#page=53>
- Emam Jomeh, A., Rastad, E., Bozari, F. and Rashid Nejad Omran, N., 2008. An introduction to individual disseminated-veinlet and vein mineralization system of Cu (Pb–Zn) in the ChahMoosa-Gholekaftaran mining district, eastern part of Toroud-ChahShirin magmatic arc. *Journal of Geosciences*, 18(70): 112–125. (in Persian) Retrieved January 24, 2007 from <https://sid.ir/paper/31662/fa>
- Eshraghi, S. and Jalali, A., 2006. 1:100,000 geological map of Moaleman. Geological Survey of Iran, Tehran. (in Persian) Retrieved April 12, 2010 from <https://nla.gov.au/nla.obj-233247255/view>
- Fard, M., Rastad, E. and Ghaderi, M., 2006. Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of Central Iran and the role of rhyolitic intrusions. *Journal Of Sciences Islamic Republic of Iran*, 17(4): 327–335. (in Persian with English abstract) Retrieved December 14, 2009 from https://journals.ut.ac.ir/article_31775_7c14d6652a2144151104fc29bb0f9380.pdf
- Fazli, N., Ghaderi, M., Lentz, D. and Lee, J., 2019. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of the North Narbaghi epithermal Ag–Cu deposit, northeast Saveh. *Scientific Quarterly of Earth Sciences*, 28(112): 13–22. (in Persian) <https://doi.org/10.22071/gsj.2018.97142.1246>
- Hedenquist, J., 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. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Houshmandzadeh, A., Alavi Nayini, M. and Haqipour, A., 1978. Evolution of Geological Phenomena in Toroud Region, from the

- Precambrian to the present era. Iran Geological and Mineral Exploration Organization, Tehran. 138 pp. (in Persian)
- Janati, N., Fardoust, F. and Sadeghian, M., 2011. Petrography and geochemistry of the rocks containing the lead and zinc deposit of Chashme Hafez, 1th National Geological Conference of Iran, Islamic Azad University, Shiraz, Shiraz, Iran. (in Persian) Retrieved May 21, 2012 from <https://civilica.com/doc/117796>
- John, D., 2001. Miocene and early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western United States: Characteristics, distribution, and relationship to magmatism. *Economic Geology*, 96(8): 1827–1853.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.8.1827>
- Khalaj, M., HassanNejad, A. and AhleSadat, M., 2019. Investigating the role of structural factors in copper mineralization in Chah Musa-Toroud area using fractal methods and image linearity coefficient, 1th national conference of earth sciences, Mehr Arvand Institute of Higher Education, Tehran, Iran. (in Persian) Retrieved July 24, 2020 from <https://civilica.com/doc/920581>
- Khoramtash, Y., 2018. Mineralogy, geochemistry and formation of Saghri copper deposit, south of Shahrood. M.Sc. Thesis, University of Shahrood, Shahrood, Iran, 168 pp. (in Persian) Retrieved July 2, 2021 from <https://shahroodut.ac.ir/fa/thesis/thesis.php?thid=QE383>
- 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: 512–521.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.003>
- Mahabadi, R. and Fardoust, F., 2018. Investigating the mineralization type of Abgareh copper deposit (south of Damghan) based on mineralogical, alteration and geochemical evidence, 10th National Conference of Economic Geology Association of Iran, University of Esfahan, Esfahan, Iran. (in Persian) Retrieved September 4, 2019 from <https://civilica.com/doc/804980>
- Márquez-Zavalía, M.F. and Heinrich, C.A., 2016. Fluid evolution in a volcanic-hosted epithermal carbonate–base metal–gold vein system: Alto de la Blenda, Farallón Negro, Argentina. *Mineralium Deposita*, 51: 873–902.
<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000114041>
- Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2010. Mineralogy and economic geology of Chashme Hafez polymetal deposit, Semnan province, Iran. *Economic Geology*, 2(1): 1–20.
<https://doi.org/10.22067/econg.v2i1.3569>
- Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2012. Intermediate sulfidation epithermal Pb–Zn–Cu (\pm Ag–Au) mineralization at Cheshmeh Hafez deposit, Semnan province, Iran. *Journal of the Geological Society of India*, 80: 563–578.
<https://doi.org/10.1007/s12594-012-0177-x>
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M. and Tale Fazel, E., 2014. Base and Precious Metal Ore-Forming System in the Cheshmeh Hafez and Challu Mining Area, Torud-Chah Shirin Magmatic Arc. *Journal of Earth Sciences*, 24: 105–118. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/gsj.2014.43549>
- Pirajno, F., 2009. Water and hydrothermal fluids on earth. In: F. Pirajno (Editor), *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Springer Science and Business Media, Geological Survey of Western Australia, Australia, pp. 14–1250.
- Pirajno, F., 2012. Crustal hydrothermal fluids and mesothermal mineral deposits. In: F. Pirajno (Editor), *Hydrothermal mineral deposits: principles and fundamental concepts for the exploration geologist*. Springer Science and Business Media, Berlin, pp. 612–691.
- Rashid Nejad Omran, N., 1992. Investigating lithological and magmatic evolutions and its relationship with gold mining in Bagu region (southeast of Damghan), M.Sc. Thesis, University of Kharazmi, Tehran, Iran, 200 pp. (in Persian) Retrieved August 18, 1999 from <https://civilica.com/p/330206/>
- Richard, H., Sillitoe, R. and Hedenquist, J., 2005. Linkages between volcanotectonic 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 Society of Economic Geologists*, pp. 315–343.
<https://doi.org/10.5382/SP.10.16>

- Salehi, T., Ghaderi, M. and Rashid Nejad Omran, N., 2008. Geochemical and microthermometric studies of zinc-lead (copper, silver) deposit, Gomish Tapeh, southwest of Kedar, 12th conference of Geological Society of Iran, National Company of South Oil-rich Regions, Ahvaz, Iran. (in Persian) Retrieved February 5, 2009 from <https://civilica.com/doc/1776217>
- Shamanian, G., Hedenquist, J., Hattori, K. and Hassanzadeh, J., 2004. The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran. *Economic Geology*, 99(4): 691–712. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.4.691>
- Sheibi, M. and Mousivand, F., 2018. Petrology, geochemistry and magnetic receptivity of Chah Musa intrusive, host of copper mineralization (northwest of Toroud, south of Shahroud) with a special view on mineralization, Middle East Mines Development and Expansion Company. unpublished Report 1, 200 pp (in Persian).
- Shepherd, T. and Allen, P., 1985. Metallogenesis in the Harlech Dome, North Wales: A fluid inclusion interpretation. *Mineralium Deposita*, 20: 159–168. Retrieved July 18, 1985 from <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00204560>
- Sillitoe, R., Richard, H. and Hedenquist, J., 2005. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. In: S.F. Simmons, I. Graham (Editors), *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth*, Society of Economic Geologists. <https://doi.org/10.5382/SP.10.16>
- Simmons, S., White, N. and John, D., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb, J.P. Richards (Editors). *Society of Economic Geologists*, pp. 458–522. <https://doi.org/10.5382/AV100.16>
- Tajoldin, H., 1998. Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Daristan gold mineral (south of Damghan), M.Sc. Thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran, 162 pp. (in Persian)
- Tale Fazel, E., Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2019. Epithermal systems of the Torud–Chah Shirin district, northern Iran: Ore-fluid evolution and geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 109: 253–275. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.014>
- Wang, L., Qin, K., Song, G. and Li, G., 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. and Hedenquist, J., 1995. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration. *SEG discovery* (23): 1–13. <https://doi.org/10.5382/SEGnews.1995-23.fea>
- Whitney, D. and Evans, B., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilkinson, J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(1–4): 229–272. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5)
- Zhu, Y., Fang, A. and Juanjuan, T., 2011. Geochemistry of hydrothermal gold deposits: A review. *Geoscience Frontiers*, 2(3): 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.05.006>