



## RESEARCH ARTICLE

doi 10.22067/ECONG.2023.82139.1075

**Pb-Zn Mineralization in Kalateh Pialeh Prospect Area, Kopeh Dagh Zone: Mineralization, Geochemistry of Galena and Fluid Inclusion Studies**Maryam Javidi Moghaddam <sup>1\*</sup> , Azadeh Malekzadeh Shafaroudi <sup>2</sup> , Milad Farahmand <sup>3</sup><sup>1</sup> Ph.D., Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran<sup>2</sup> Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran<sup>3</sup> MSc, Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran**ARTICLE INFO****ABSTRACT****Article History**

Received: 12 June 2023  
Revised: 25 September 2023  
Accepted: 25 September 2023

**Keywords**

Mineralization  
Geochemistry  
Lead-Zinc  
Fluid Inclusion  
Kalateh Pialeh  
Kopeh Dagh

Kalateh Pialeh prospect area is located in the Kopeh Dagh zone, approximately 15 km northeastern of Esfarayen city. The area is composed of sedimentary rocks deposited during the Jurassic, Cretaceous, and Tertiary periods, which include microconglomerate, dolomitic limestone, sandy limestone, limestone, conglomerate, and marl. Mineralization occurs as epigenetic deposits hosted by dolomitic limestone and limestone. Two mineralization stages were identified. The first stage consists of a pyrite-galena-sphalerite assemblage with replacement and breccia textures, and the second stage comprising a galena-sphalerite assemblage with vein-veinlet, open space filling, and replacement textures. Dolomite and calcite are the most abundant gangue minerals associated with lesser amount of quartz and barite. Main alterations consist of calcitization and dolomitization. Galena mineral exhibits maximum geochemical anomalies of 1843 ppm for zinc, 7 ppm for arsenic, and 11 ppm for copper. Microthermometric studies on primary fluid inclusions (LV) reveal homogenization temperatures ranging from 180°C to 265°C for stage 1, and from 167°C to 214°C for stage 2. Salinities for these stages were found to be between 7.8 wt.% to 14.5 wt.% NaCl equiv., and 11.7 wt.% to 12.2 wt.% NaCl equiv., respectively. Based on evidence such as structurally controlled mineralization, the type of alterations and their linear expansion, simple mineralogy of ore, geochemistry, and fluid inclusion data, Kalateh Pialeh prospect area is similar to lead-zinc epithermal deposits.

**\*Corresponding author**

Maryam Javidi Moghaddam  
✉ [javidi.geo@gmail.com](mailto:javidi.geo@gmail.com)

**How to cite this article**

Javidi Moghaddam, M., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Farahmand, M., 2023. Pb-Zn Mineralization in Kalateh Pialeh Prospect Area, Kopeh Dagh Zone: Mineralization, Geochemistry of Galena and Fluid Inclusion Studies. Journal of Economic Geology, 15(3): 53–70. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.82139.1075>



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

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Sediment-hosted Pb–Zn deposits are typically found in clastic-carbonate (Sedex type deposits) and carbonate (Irish type and Mississippi Valley-type (MVT) deposits) rocks (e.g., [Goodfellow & Lydon, 2007](#)). In Iran, the wide distribution of clastic and carbonate rocks has led to the formation of various types of sedimentary-hosted lead and zinc deposits. These deposits occur in Cretaceous carbonate units, including Malayer-Esfahan, Tabas-Poshte-Badam, Yazd-Anarak, and Central Alborz metallogenic belts ([Rajabi et al., 2012](#)). Kalateh Pialeh prospect area, located in Kopeh Dagh zone, about 15 km northeastern of Esfarayen city, is the first report of lead and zinc mineralization in this zone. Kopeh Dagh zone is characterized by the absence of magmatic activity, the presence of limestone formations, and abundant hydrocarbon reserves (such as Khangiran Gas Field). This study summarizes the alteration, mineralogy, geochemistry, and fluid inclusion studies, and then discuss the ore genesis of Kalateh Pialeh prospect area.

### Material and methods

Following field work, thin sections and polished slabs from the host rocks, veins and veinlets were studied using optical microscope. Red alizarin was also used to differentiate between calcite and dolomite. Galena minerals were separated from host rock by using standard techniques involving crushing and handpicking under a binocular microscope at Ferdowsi University of Mashhad. Minor and rare element metal concentrations from galena were analyzed using ICP-OES techniques on five samples at Zarazma laboratory in Iran, while XRD analysis of the samples was done at the same laboratory. Microthermometric analysis of fluid inclusions was carried out on seven samples using a Linkam THM 600 heating-freezing stage combined with an Olympus TH4–200 microscope stage at Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

### Results and Discussion

The area comprises sedimentary units of microconglomerate, dolomitic limestone, sandy limestone, limestone, conglomerate, and marl. Vein-type epigenetic mineralization occurs along fault zones with trending NW–SE/vertical dip in dolomitic limestone and limestone. Mineralization can be divided into two stages: Pyrite-galena-sphalerite assemblage (with replacement and breccia textures), and galena-sphalerite assemblage (with vein-veinlet, open space filling, and replacement textures). The main alterations consist of calcitization and dolomitization. The oxidation and weathering processes have resulted in the formation of hemimorphite, smithsonite, cerussite, goethite, and hematite in the ore zones. Gangue minerals consist of calcite and dolomite with lesser amounts of barite and quartz. Geochemical analyses of the galena mineral reveal maximum anomalies for zinc (1843 ppm), arsenic (7 ppm), and copper (11 ppm). Microthermometric studies on primary fluid inclusions (LV) show homogenization temperatures ranging from 180 to 265°C and from 167 to 214°C for stages 1 and 2, respectively. The fluid salinities for these stages range from 7.8 to 14.5 wt.% NaCl and from 11.7 to 12.2 wt.% NaCl, indicating a wide range of salinities. The temperature of ore-forming fluids in MVT deposits varies from 50 to 250°C, with the majority falling within the 70 to 170°C range, and their salinity is between 10 and 30 wt. % NaCl ([Leach et al., 2010](#)). In Kalateh Pialeh samples, primary fluid inclusions hosted in quartz crystals homogenize to the liquid phase at temperatures ranging from 167°C to 265°C, (mostly in the range of 80 to 200°C) and the average salinity of 11 wt. % NaCl.

The salinity of the hydrothermal fluids at studied area varies from 7.8 to 14.5 wt. % NaCl. This wide range can be attributed to the mixing of two fluids with different salinities. These salinities can be divided into two groups with low salinity (7.8 to 10 wt. % NaCl) and high salinity (13.9 to 14.5 wt. % NaCl). The presence of two types of primary inclusions with different salinity but similar homogenization temperature is a sign of isothermal mixing of two fluids.



## کانی‌سازی سرب- روی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله، پهنه کپه‌داغ: بررسی‌های کانی‌سازی، زمین‌شیمی گالن و میان‌بارهای سیال

مریم جاویدی مقدم<sup>۱\*</sup>، آزاده ملکزاده سفارودی<sup>۲</sup>، میلاد فرهمند<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

### چکیده

### اطلاعات مقاله

محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله در پهنه کپه‌داغ و ۱۵ کیلومتری شمال‌شرق شهر اسفراین واقع شده‌است. این محدوده شامل واحدهای رسوبی از ژوراسیک (آهک دولومیتی)، کرتاسه (میکروکنگلومر، آهک، آهک ماسه‌ای، کنگلومرا) و ترشیاری (مارن) است. کانی‌سازی بصورت اپی‌ژنتیک و از نوع رگه‌ای، در واحدهای آهک دولومیتی و آهک شکل گرفته است. کانی‌سازی شامل دو مرحله است: ۱- پیریت، گالن و اسفالریت (با بافت‌های جانیشینی و برشی) و ۲- گالن و اسفالریت (با بافت‌های رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی و جانیشینی). فراوان‌ترین کانی‌های باطله دولومیت و کلسیت و بمیزان کمتر باریت و کوارتز است. دگرسانی‌های عمده کلسیتی و دولومیتی است. بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمی در کانی‌گالن برای روی ۱۸۴۳ گرم در تن، آرسنیک ۷ گرم در تن و مس ۱۱ گرم در تن است. بر پایه مطالعات میان‌بارهای سیال (LV) در بلورهای کلسیت همزمان با مرحله اول و دوم کانی‌سازی، دمای همگن شدن بترتیب بین ۱۸۰ تا ۲۶۵ و ۱۶۷ تا ۲۱۴ درجه سانتی‌گراد و دامنه تغییرات شوری بین ۷/۸ تا ۱۴/۵ و ۱۱/۷ تا ۱۲/۲ درصد وزنی نمک‌طعام بدست آمده است. بر پایه شواهدی چون کنترل ساختاری کانی‌سازی، نوع دگرسانی‌ها و گسترش خطی آنها، کانی‌شناسی ساده ذخیره، زمین‌شیمی و همچنین شواهد میان‌بارهای سیال محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله مشابه کانسارهای اپی‌ترمال سرب- روی می‌باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۲  
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۰۳

### واژه‌های کلیدی

کانی‌سازی  
زمین‌شیمی  
سرب-روی  
سیالات درگیر  
کلاته‌پیاله  
کپه‌داغ

### نویسنده مسئول

مریم جاویدی مقدم

javidi.geo@gmail.com ✉

### استناد به این مقاله

جاویدی مقدم، مریم؛ ملکزاده سفارودی، آزاده و فرهمند، میلاد، ۱۴۰۲. کانی‌سازی سرب- روی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله، پهنه کپه‌داغ: بررسی‌های کانی‌سازی، زمین‌شیمی گالن و میان‌بارهای سیال. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۵(۳): ۷۰-۵۳. <https://doi.org/10.22067/ECONG.2023.82139.1075>

## مقدمه

ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی بیشتر در سنگ‌های آواری- کربناتی (ذخایر نوع sedex) و کربناتی (ذخایر نوع ایرلندی و نوع دره می‌سی‌سی‌پی (MVT)) گزارش شده‌اند (Goodfellow and Lydon, 2007; Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). در ایران با توجه بحضور گسترده سرزمین‌های آواری و کربناتی، انواع مختلفی از ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی شکل گرفته است. بطور کلی، ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی در ایران در چهار کمربند فلززایی اصلی تشکیل شده‌اند که شامل کمربند فلززایی ملایر- اصفهان، یزد- انارک، طبس- پشت‌بادام و البرز مرکزی است (Rajabi et al., 2012). همچنین کانسارهای اپی‌ترمال سرب- روی با سنگ میزبان عمدتاً آتشفشانی و کمتر رسوبی نیز در زون ارومیه- دختر و بلوک لوت گزارش شده‌اند (Mehrabi and Tale Fazel, 2011; Mehrabi et al., 2019).

محدوده اکتشافی سرب و روی کلاته‌پیاله در شمال‌شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های  $57^{\circ}35'58''$  تا  $57^{\circ}37'50''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $37^{\circ}52'29''$  تا  $37^{\circ}57'30''$  شمالی و در فاصله ۱۵ کیلومتری شمال‌شرق شهرستان اسفراین در استان خراسان شمالی قرار گرفته است. بر اساس آخرین تقسیمات ساختمانی- رسوبی ایران (Aghanabati, 2004)، منطقه مورد مطالعه در پهنه کپه‌داغ واقع شده‌است (شکل ۱). از ویژگی‌های اصلی پهنه کپه‌داغ نبود فعالیت ماگمایی در طول شکل‌گیری آن، وجود سازندهای آهکی و ذخایر فراوان هیدروکربنی (مانند میدان گازی خانگیان و معدن زغال‌سنگ آق‌در بند) است. محدوده اکتشافی سرب و روی کلاته‌پیاله اولین گزارش از کانی‌سازی فلزی (سرب و روی) در این پهنه است که در واحدهای رسوبی (کربناته) شکل گرفته است. تنها مطالعاتی که در منطقه صورت گرفته شامل تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ شیروان توسط جعفریان و هفت‌لنگ (Jafarian and Haft Lang, 2004) و گزارش پایان عملیات اکتشاف سرب کلاته‌پیاله توسط پرهیز (Parhiz, 2008) است. در این پژوهش

تلاش شده‌است تا با مطالعات کانی‌شناسی، بافت، زمین‌شیمی گالن و دماسنجی میان‌بارهای سیال در محدوده اکتشافی سرب و روی کلاته‌پیاله، چگونگی شکل‌گیری ماده معدنی مورد بررسی قرار گیرد.

## روش کار

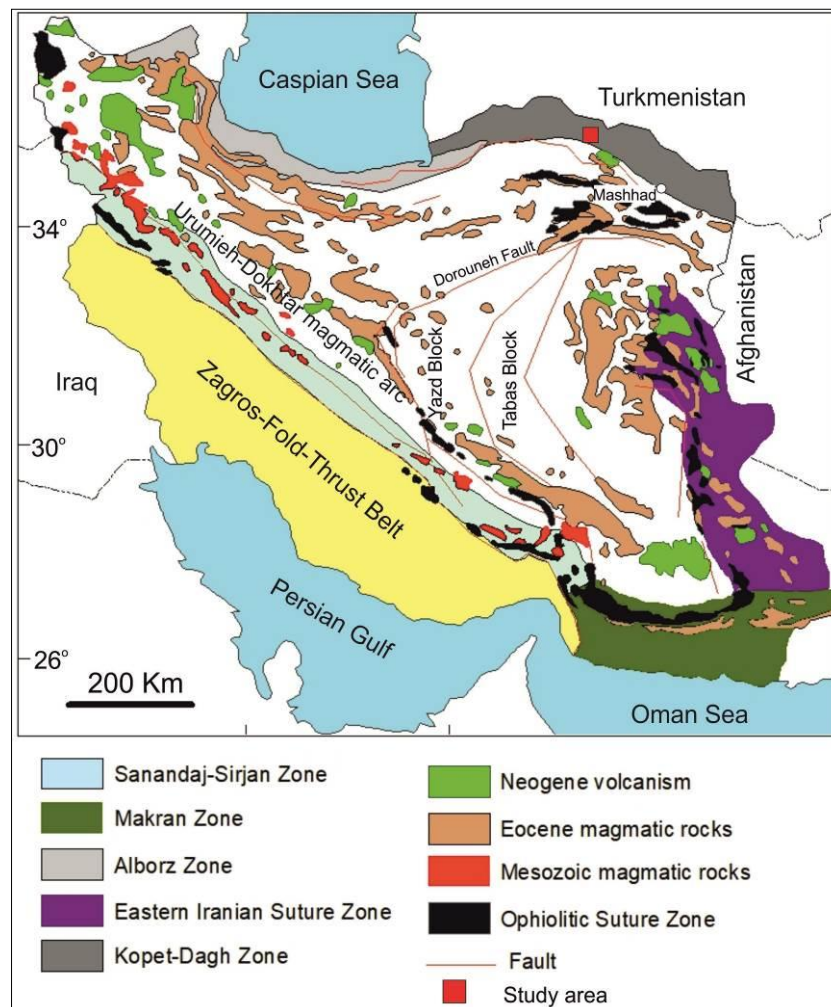
به منظور شناخت ماهیت کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کلاته‌پیاله، بررسی‌ها در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شد. برداشت اطلاعات صحرایی و نمونه‌برداری از بخش‌های کانی‌سازی از سطح و محل ترانشه‌ها انجام گردید. در مجموع ۵۰ نمونه جمع‌آوری شد که از این میان ۸ مقطع نازک‌صیقلی و ۱۰ مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری تهیه و با استفاده از میکروسکوپ نور عبوری و انعکاسی مطالعه شدند. همچنین برای تفکیک کربنات‌ها (کلسیت از دولومیت)، رنگ‌آمیزی ۷ مقطع با محلول آلزارین روی مقاطع میکروسکوپی انجام شد.

تعداد ۵ نمونه کانی گالن به روش دستی و زیر میکروسکوپ دوچشمی خالص‌سازی شده و برای آنالیز عناصر فرعی و کمیاب به روش ICP-OES برای ۲۸ عنصر در آزمایشگاه شرکت زرآرما مورد تجزیه قرار گرفت (حد تشخیص برای مس، سرب و روی ۱ گرم در تن، برای نقره ۰/۱ گرم در تن و آنتیموان ۰/۵ گرم در تن). همچنین ۳ نمونه جهت مطالعات کانی‌شناسی به روش XRD در همین آزمایشگاه مورد تجزیه قرار گرفت.

برای بررسی میان‌بارهای سیال، تعداد ۷ مقطع دوبرصیقل از کانی کلسیت (کانی باطله همراه با ماده معدنی) تهیه شد و مطالعات دماسنجی، تعیین نوع نمک‌ها و مقدار شوری بر روی آنها انجام گرفت. آزمایش‌های مربوطه توسط یک دستگاه سرد کننده و گرم کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM 600 در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن  $\pm 1$  درجه سانتی‌گراد و محدوده حرارتی دستگاه بین ۱۹۰- تا  $+600$  درجه سانتی‌گراد است. دستگاه در دمای کم توسط هپتان ( $90/6$ - درجه سانتی‌گراد)، کلروفرم ( $63/0$ - درجه سانتی‌گراد)،

کلروبنزن (۴۵/۶- درجه سانتی‌گراد) و آب مقطر (۰/۰ درجه سانتی‌گراد) کالیبره شد. کالیبراسیون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد با نقطه ذوب Merck استاندارد ۹۶۴۵ و در دمای ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد با سدیم نیترات انجام گرفت. مقدار شوری در سیستم

کلیبره شد. کالیبراسیون در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد با نقطه ذوب Merck استاندارد ۹۶۴۵ و در دمای ۳۰۶ درجه سانتی‌گراد با سدیم نیترات انجام گرفت. مقدار شوری در سیستم



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه کپه‌داغ.

Fig. 1. Location of the study area in the Kopet Dagh zone.

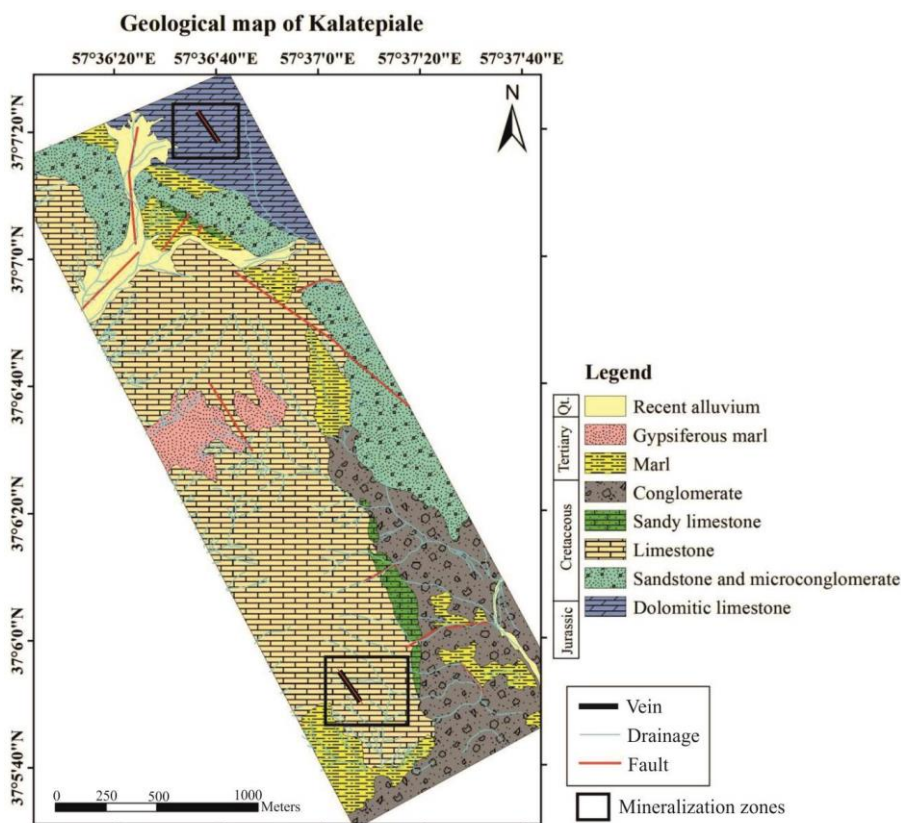
این محدوده به ترتیب سن از قدیم به جدید شامل آهک دولومیتی به سن ژوراسیک- کرتاسه (سازند مزدوران)، ماسه‌سنگ- میکروکنگلومرها به سن کرتاسه (سازند شوریجه)، آهک و آهک

زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کلاته پیاله در شمال شرق شهرستان اسفراین و بخش جنوب‌غربی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شیروان (Jafarian and Haft Lang, 2004) واقع شده‌است. چینه‌شناسی



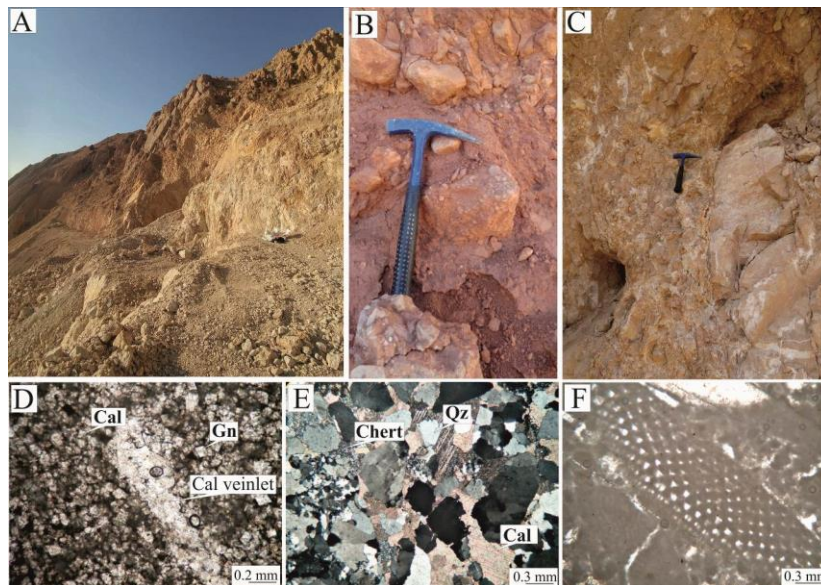
در ابعاد چند میکرون تا ۰/۵ میلی‌متر شناسایی گردید. این واحد دارای فسیل اوریتولین (شکل ۳-F)، ذرات اسکلتی بریوزوئر و به میزان کمتر براکیوپود، اکینودرم و گاستروپود است. در واحد آهک ماسه‌ای کوارتز به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد شناسایی گردید. واحد کنگلومرای در جنوب منطقه رخنمون داشته و از قطعات آهک و ماسه‌سنگ نیمه گرد شده تا زاویه‌دار (در اندازه چند میلی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر) تشکیل شده و سیمان آنها بیشتر کربناته و به میزان کمتر سیلیس می‌باشد. رگه‌های کانی‌سازی دارای امتداد عمدتاً شمال‌غرب- جنوب‌شرق بوده و عرض آنها بین ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر است. طول این رگه‌ها به ۲۰۰ متر هم می‌رسد (با توجه به مقیاس نقشه، فقط دو رگه اصلی در نقشه نمایش داده شد).

ماسه‌ای به سن کرتاسه (سازند تیرگان)، کنگلومرا به سن کرتاسه (سازند پسته‌لیق) و واحدهای مارن و مارن ژیبسی هستند (شکل ۲). آهک دولومیتی قدیمی‌ترین واحد شناسایی شده در محدوده بوده و از کلسیت و دولومیت تشکیل شده است. این واحد با گسترش محدود در شمال منطقه رخنمون دارد (شکل ۳-A و D). واحدهای ماسه‌سنگ- میکروکنگلومرا در شمال و شرق منطقه رخنمون داشته (شکل ۳-B) و از قطعات کربناته و به میزان کمتر چرت (با اندازه ۵ میلی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر) با سیمان کربناته و سیلیسی تشکیل شده است. در بخش ماسه‌سنگی کانی‌های کوارتز، ارتوکلاز، پلاژیوکلاز و به میزان خیلی کم مسکوویت شناسایی گردید (شکل ۳-E). واحد آهکی بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل ۳-C) و عمدتاً بصورت میکریتی بوده و کانی کلسیت



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کلاته پیاله.

Fig. 2. Geological map of the Kalatepiale prospect area.



**شکل ۳.** تصاویر صحرایی از A: واحد آهک دولومیتی، B: واحد کنگلومرای و C: واحد آهکی و تصاویر میکروسکوپی از D: واحد آهک دولومیتی، E: واحد ماسه‌سنگ- میکرو کنگلومرا، F: واحد آهکی دارای فسیل اربیتولین. اختصارات: Cal= کلسیت، Gn= گالن، Qz= کوآرتز دوآرتز (Whitney and Evans, 2010).

**Fig. 3.** Field photographs of A: dolomitic limestone unit, B: conglomerate unit, and C: limestone unit and photomicrographs of D: dolomitic limestone unit, E: sandstone-micro-conglomerate unit, F: Orbitolina limestone unit. Abbreviations: Gn= galena, Qz= quartz, Cal= calcite (Whitney and Evans, 2010).

### دگرسانی

حاشیه بلورهای دولومیت شده‌است. این شواهد نشان از تقدم شکل‌گیری دولومیت نسبت به کانی‌سازی گالن است. در دگرسانی کلسیتی، کلسیت‌ها با ابعاد چند ده میکرون تا ۱/۵ میلیمتر بصورت شکل‌دار همراه با کانی‌سازی و به میزان کمتر بصورت رگه، رگچه (شکل ۴-E) و پراکنده در زمینه هستند.

### کانی‌سازی و کانه‌نگاری رگه‌ها

در کانی‌سازی محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله، عرض رگه‌ها از ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر متغیر بوده و طول رگه‌ها به ۲۰۰ متر می‌رسد. عرض رگچه‌ها بین چند ده میکرون تا ۰/۵ میلی‌متر متغیر است. کانی‌سازی با بافت‌های برشی (شکل ۴-A)، رگه- رگچه (شکل ۴-B)، جاننشینی و پرکننده فضای خالی (شکل ۴-C) رخ داده است. میزان جدایش، چرخش، فاصله بین قطعات و ساییدگی قطعات برش در زون‌های کانه‌دار نسبتاً ضعیف بوده و بر اساس

کانی‌سازی عمدتاً بصورت رگه‌ای (غیرهمزاد) در راستای سیستم شکستگی با امتداد شمال‌غرب- جنوب‌شرق در شمال و جنوب محدوده اکتشافی درون واحدهای آهکی و آهک دولومیتی ژوراسیک بالایی- کرتاسه پایینی شکل گرفته است. ورود محلول کانه‌ساز در امتداد گسلها و شکستگیها به درون سنگ میزبان باعث دگرسانی کلسیتی و دولومیتی شده و بصورت خطی و کانی‌سازی شده‌است (شکل ۴-A تا C).

در دگرسانی دولومیتی، دولومیت‌ها با ابعاد بلوری بین ۰/۴ تا ۱/۲ میلی‌متر جانشین کلسیت در سنگ میزبان شده و یا بصورت پرکننده فضای خالی و سیمان سنگ برشی شده میزبان حضور دارند (شکل ۴-D). منطقه‌بندی در این دولومیت‌ها بدین صورت دیده می‌شود که قسمت مرکز بلور تیره و حاشیه روشن است. گالن در برخی موارد فضای خالی بین بلورها را پر کرده یا جانشین

بصورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چند ده میکرون تا ۰/۳ میلی‌متر در مرحله اول کانی‌سازی شناسایی گردید (شکل F-۴). باطله‌های اصلی همراه با کانی‌سازی شامل دولومیت و کلسیت بوده و بمیزان کمتر باریت و کوارتز نیز شناسایی گردید. کلسیت‌ها بصورت شکل‌دار همراه با کانی‌سازی و به میزان کمتر بصورت رگه، رگچه و پراکنده در زمینه هستند. ابعاد بلورهای کلسیت از چند ده میکرون تا ۱/۵ میلی‌متر متغیر است. دولومیت‌ها جانشین کلسیت در سنگ‌میزبان شده و یا بصورت پرکننده فضای خالی و سیمان سنگ برشی شده میزبان حضور دارند. این دولومیت‌ها بصورت خودشکل بوده و ابعاد بلوری آنها بین ۰/۴ تا ۱/۲ میلی‌متر است.

کانی‌های ثانویه در منطقه مورد مطالعه سروزیت، همی‌مورفیت، اسمیت‌زونیت، هماتیت و گوتیت است. سروزیت با بافت جانشینی همچون جانشینی کناره‌ای و جانشینی در راستای رخ و شکستگی‌های کانی‌گالن با فراوانی زیاد (۵۰ تا ۷۰ درصد) در قسمت‌های سطحی و فراوانی کم (۲۰ تا ۳۰ درصد) در داخل ترانسه‌ها مشاهده می‌شود (شکل I-۴). اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) عمدتاً در اثر اکسیداسیون و هوازدگی پیریت‌ها در منطقه شکل گرفته‌اند (شکل J-۴ و جدول ۱). در قسمت‌های سطحی اسفالریت بطور کامل به اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت تبدیل شده است (جدول ۱). این کانی‌ها فراوان‌ترین کانی‌های ثانویه در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله هستند. همی‌مورفیت عمدتاً به رنگ سفید (شکل K-۴) و اسمیت‌زونیت (شکل L-۴) به رنگ زرد در سطح دیده می‌شوند.

تقسیم‌بندی لازنیکا (Laznicka, 1988) اغلب شامل برش موزاییکی و رابل (شکل A-۴) هستند. عدم چرخش و ساییدگی شدید در قطعات برش احتمالاً به سبب پایین بودن قدرت جریان سیال کانه‌دار برای جابجایی و حرکت قطعات برش بوده است. کانی‌های درون‌زاد شامل گالن، اسفالریت و پیریت می‌باشد. در اثر اکسیداسیون این کانی‌های اولیه، کانی‌های ثانویه اکسیدی (هماتیت و گوتیت)، سیلیکاتی (همی‌مورفیت) و کربناته (سروزیت، اسمیت‌زونیت) ایجاد شده‌اند (شکل ۵).

بر اساس روابط قطع‌شدگی رگه- رگچه‌ها، بافت و توالی پاراژنز، کانی‌سازی در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله را می‌توان به دو مرحله تقسیم کرد. این مراحل عبارتند از: ۱. کانی‌سازی در مرحله اول دارای بافت‌های جانشینی و برشی بوده و شامل پیریت، گالن و اسفالریت است، ۲. کانی‌سازی در مرحله دوم دارای بافت‌های عمدتاً رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانشینی بوده و شامل گالن و اسفالریت است.

گالن فراوانترین کانی سولفیدی (۸۵ تا ۹۰ درصد) اولیه در منطقه است. گالن‌های مربوط به مرحله اول بصورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و در اندازه‌های ۰/۸ تا ۸ میلی‌متر متغیر هستند (شکل F و I). در حالی که گالن‌های مربوط به مرحله دوم عمدتاً بصورت شکل‌دار و در اندازه‌های ۰/۲ تا ۴ میلی‌متر متغیر می‌باشند (شکل G-۴).

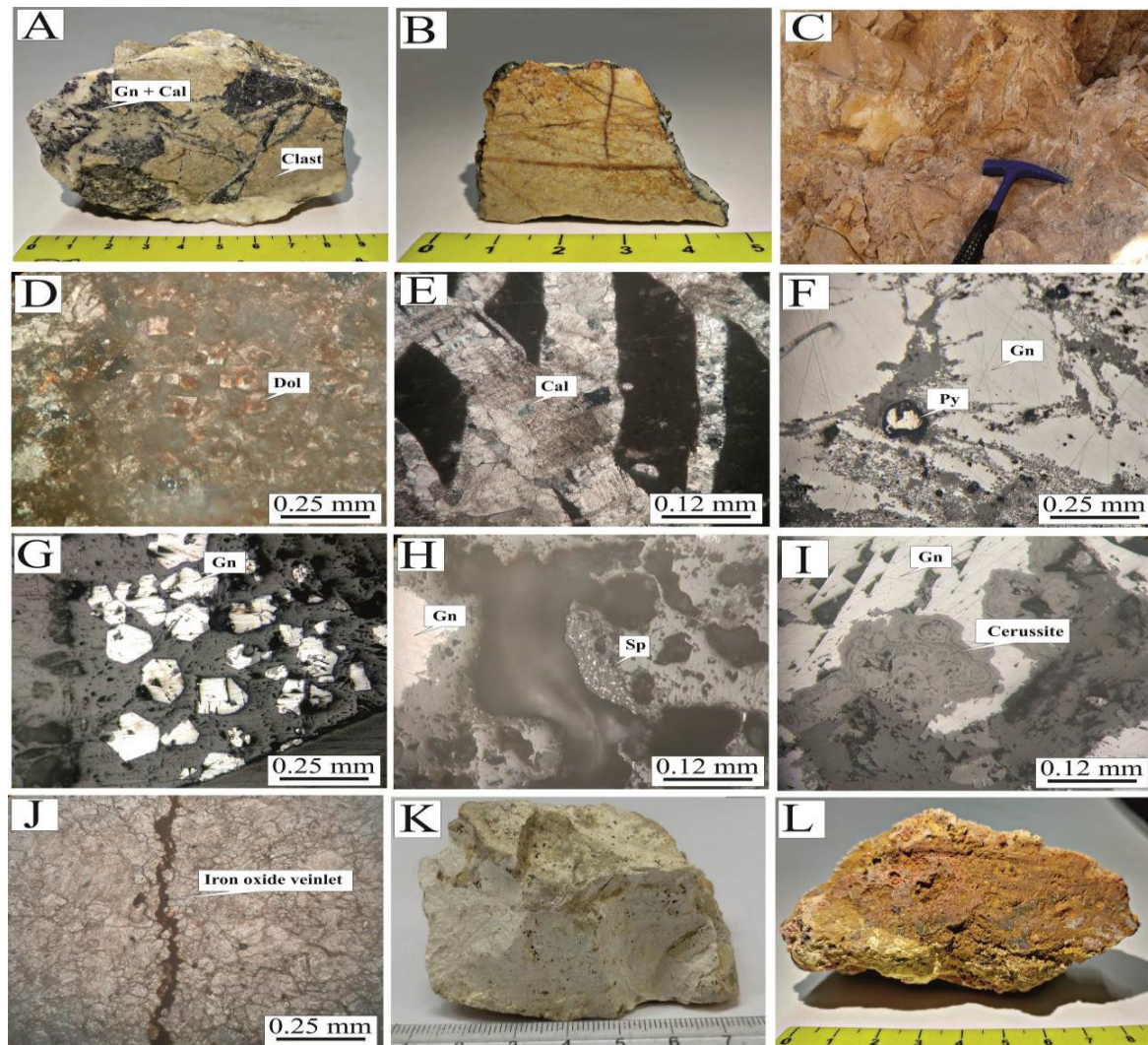
اسفالریت با فراوانی کم (۵ تا ۸ درصد) در هر دو مرحله بصورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های چند ده میکرون تا ۱ میلی‌متر همراه با گالن شکل گرفته است (شکل H-۴). پیریت کمترین فراوانی را در بین کانی‌های سولفیدی منطقه داشته و اغلب

جدول ۱. کانی‌های زون کانی‌سازی در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله که به روش XRD شناسایی شده‌اند.

**Table 1.** Minerals of mineralization zone in the Kalatepiale prospect area, which have been identified by XRD method.

Sample Number	Minerals
1	Dolomite, barite, hemimorphite
2	Calcite, smithsonite, hemimorphite, goethite
3	Calcite, quartz, smithsonite, cerussite





**شکل ۴.** تصاویر نمونه دستی از بافت‌های متنوع و کانی‌سازی مشاهده‌شده در منطقه کلاته‌پیه، A: برش گسلی در واحد آهکی، B: بافت رگچه‌ای در واحد آهک دولومیتی، C: بافت پرکننده فضای خالی در واحد آهکی و تصاویر میکروسکوپی از D: دولومیتی‌شدن (XPL)، E: کلسیتی‌شدن (XPL)، F: کانی‌سازی پیریت-گالن در مرحله اول کانی‌سازی، G: گالن بصورت شکل‌دار در مرحله دوم کانی‌سازی، H: اسفالریت-گالن در مرحله اول کانی‌سازی، I: تبدیل گالن از حاشیه به سروریت با بافت گل‌کلی، J: اکسیدهای آهن در رگچه در واحد آهک دولومیتی (PPL) و K و L: همی مورفیت و اسمیت‌زونیت. اختصارات: Gn= گالن، Sp= اسفالریت، Py= پیریت، Cal= کلسیت، Dol= دولومیت (Whitney and Evans, 2010).

**Fig. 4.** The hand specimen photographs of various textures and mineralization types observed in the Kalatehpialeh prospect area, A: fault breccia in limestone unit, B: veinlet texture in dolomitic limestone unit, C: open space filling texture in limestone unit and photomicrographs of D: dolomitization (XPL), E: calcitization (XPL), F: pyrite-galena mineralization in the first stage, G: shaped galena in the second stage, H: sphalerite-galena in the first stage of mineralization, I: galena replaced by cerussite from margin with colloform texture, J: iron oxides in vein, dolomitic limestone unit (PPL), K and L: hand specimens of hemimorphite and smithsonite. Abbreviations: Gn= galena, Sp= sphalerite, Py= pyrite, Cal= calcite, Dol= dolomite (Whitney and Evans, 2010).

Minerals	Hypogene mineralization		Oxidized zone
	Stage 1 (Replacement & breccia)	Stage 2 (Vein-veinlet, Open space filling, replacement)	
Pyrite	-----		
Galena	████████████████████		
Sphalerite	████████████████████		
Calcite	████████████████████	████████████████████	
Dolomite	████████████████████	████████████████████	
Quartz	-----	-----	
Barite		-----	
Hemimorphite			████████████████████
Smithsonite			████████████████████
Cerussite			████████████████████
Hematite			-----
Goethite			████████████████████

شکل ۵. توالی پاراژنری در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله.

Fig. 5. The paragenetic sequence for the Kalatepiaie prospect area.

### زمین‌شیمی گالن

در زمان ته‌نشست ماده معدنی، عناصر کمیاب موجود در محلول کانه‌ساز بصورت محلول جامد و یا بصورت ادخال کانی‌های مستقل به درون کانی میزبان وارد می‌شوند (Loftus-Hills and Solomon, 1967). از جمله مهم‌ترین این عناصر می‌توان به نقره، آنتیموان و بیسموت اشاره کرد. نتایج تجزیه ژئوشیمیایی بر روی کانی گالن نشان‌دهنده تنوعی از عناصر نقره، آرسنیک، مس، روی، آهن و کادمیم می‌باشد. میزان نقره از ۱ تا ۷ گرم در تن، آرسنیک از ۲ تا ۷ گرم در تن، روی از ۱۰۲ تا ۱۸۴۳ گرم در تن، آهن از ۲۸۷ تا ۱۴۷۷ گرم در تن و مس از ۲ تا ۱۱ گرم در تن در تغییر می‌باشد. در مقابل میزان آنتیموان بسیار اندک (۱ تا ۵ گرم در تن) است (جدول ۲).

با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Rollinson, 1993)، ارتباط و همبستگی میان عناصر مختلف در کانی گالن مورد مطالعه قرار گرفت (جدول ۲). با توجه به فراوانی عناصر در گالن کل، نقره با آنتیموان (۰/۸۱۰) و مس (۰/۷۸۳) همبستگی مثبت بالا دارد (جدول ۲). همچنین مس با آنتیموان همبستگی مثبت ضعیف نشان می‌دهد (جدول ۲). این همبستگی‌ها می‌تواند شواهدی از حضور ادخال تتراهدريت در کانی گالن باشد. با توجه به عدم مشاهده ادخال تتراهدريت در میکروسکوپ بازتابی، نیاز به بررسی با ریزپردازنده الکترونی می‌باشد. همچنین مقادیر بالای روی و آهن می‌تواند مربوط به حضور ادخال‌های اسفالریت و پیریت در کانی گالن باشد.

**جدول ۲.** مقادیر ضریب همبستگی مربوط به هر جفت عنصر در کانی گالن از محدوده اکتشافی کلاته‌پیااله (+++ همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی مثبت ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف، -- همبستگی منفی متوسط، --- همبستگی منفی بالا).

**Table 2.** Correlation coefficient values related to any pair of elements in galena mineral, the Kalatepiaale prospect area (+++ high positive correlation, ++ moderate positive correlation, + weak positive correlation, - weak negative correlation, - moderate negative correlation, --- high negative correlation).

Elements	Ag	As	Cd	Cu	Ce	Sb	Zn
Ag	1	-	+	+++	++	+++	+
As	-0.301	1	---	-	+	--	++
Cd	0.125	-0.896	1	+	+	+	-
Cu	0.810	-0.064	0.164	1	+++	+	++
Ce	0.363	0.064	0.235	0.830	1	-	++
Sb	0.783	-0.555	0.216	0.290	-0.253	1	-
Zn	0.026	0.473	-0.193	0.354	0.379	-0.261	1

میان‌بارها را مایع تشکیل می‌دهد. بطوری که مقدار فاز مایع موجود در آنها ۶۰ تا ۸۰ درصد است. تعداد کمی از میان‌بارها از نوع تک‌فازی مایع (L) می‌باشند. در میان‌بارهای سیال غنی از بخار (VL)، حباب‌گاز بیش از ۹۵٪ از حجم میان‌بار سیال می‌باشد و امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد. همچنین، میان‌بارهای سیال ثانویه نیز مشاهده گردید که عمدتاً در امتداد شکستگی‌های بلور و در اندازه‌هایی از ۳ تا ۵ میکرون قابل شناسایی بودند. مطالعات گرمایش و سرمایش بر روی میان‌بارهای سیال اولیه دو فازی غنی از مایع انجام گرفت. در برخی از آنها نیز بدلیل نامناسب بودن اندازه میان‌بار سیال برای عملیات سرمایش، فقط دما اندازه‌گیری شد. طی این تحقیق، تعداد ۳ مقطع دوبرصیقلی و تعداد ۳۴ میان‌بار سیال (انواع L-V) در مرحله اول و ۴ مقطع دوبرصیقلی و تعداد ۳۷ سیال درگیر (انواع L-V) در مرحله دوم کانی‌سازی اندازه‌گیری شده‌است (جدول ۳). لازم بذکر است که در هیچ یک از میان‌بارهای سیال کانی نوزاد دیده نشد.

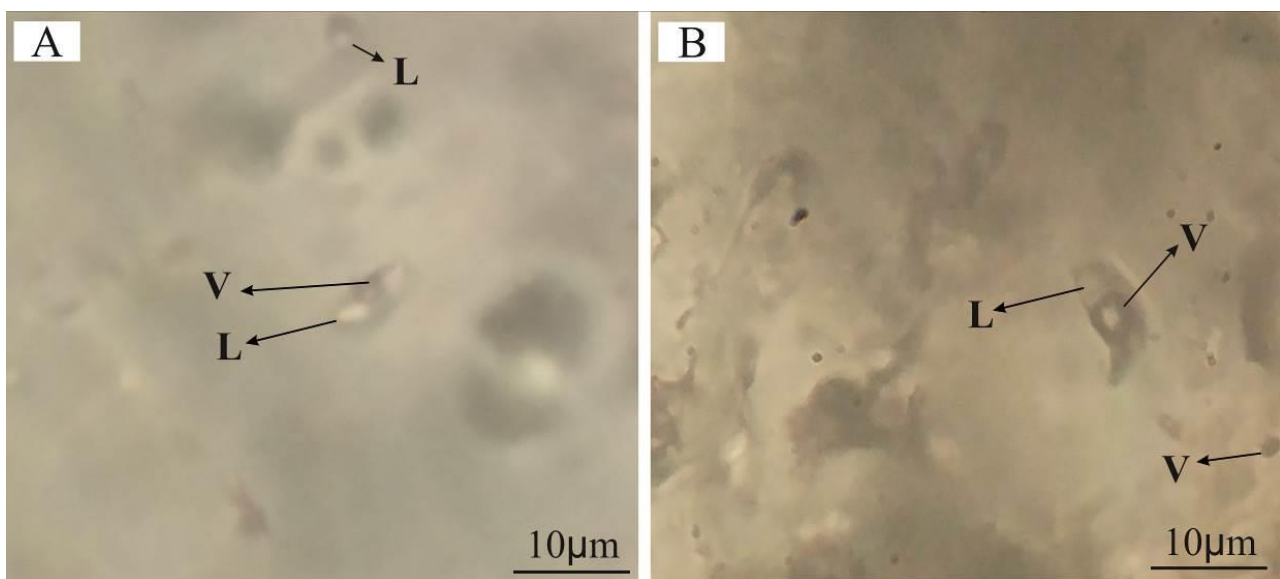
### مطالعه میان‌بارهای سیال

مطالعات میان‌بارهای سیال بر روی کانی کلسیت موجود در مرحله اول و دوم با کانی‌سازی صورت گرفت. لازم به ذکر است که نمونه‌های دولومیت فاقد سیالات مناسب برای مطالعات میان‌بارهای سیال بودند. سیالات درگیر بر اساس پیشنهاد رودر (Roedder, 1984) و شفرود و همکاران (Shepherd et al., 1985) شناسایی شدند. در مرحله اول کانی‌سازی، میان‌بارهای سیال در نمونه‌های کلسیت عمدتاً بی‌شکل تا میله‌ای بوده و اندازه آنها بین ۶ تا ۱۵ میکرون می‌باشد (شکل ۶-A). در مرحله دوم کانی‌سازی، میان‌بارهای سیال در نمونه‌های کلسیت بی‌شکل تا بیضوی بوده و اندازه آنها بین ۳ تا ۱۲ میکرون می‌باشد (شکل ۶-B). غالب اندازه‌گیری‌های ریزدماسنجی بر روی ابعاد ۵ تا ۱۰ میکرون صورت گرفته است.

در نمونه‌های مورد مطالعه ۳ تیپ میان‌بار سیال به شرح زیر قابل تفکیک می‌باشد. بیشتر میان‌بارهای سیال شناسایی شده دو فازی و از نوع فازهای مایع و بخار (L-V) می‌باشند بیشتر حجم این

است (شکل A-۷ و جدول ۳). همچنین شوری میان‌بارهای سیال این مرحله از ۷/۸ تا ۱۴/۵ درصد وزنی (میانگین ۱۱/۱ درصد وزنی) متغیر است (شکل B-۷ و جدول ۳). دامنه حرارتی دمای همگن شدن در مرحله دوم کانی‌سازی، ۱۶۷ تا ۲۱۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۱۸۴/۳ درجه سانتی‌گراد است (شکل A-۷ و جدول ۳). شوری میان‌بارهای سیال این مرحله از ۱۱/۷ تا ۱۲/۲ درصد وزنی (میانگین ۱۱/۹ درصد وزنی) متغیر است (شکل B-۷ و جدول ۳). دمای ذوب آخرین قطعه یخ میان‌بارهای سیال در مرحله اول و دوم کانی‌سازی برترتیب ۵- تا ۱۰/۶- و ۸- تا ۸/۵- درجه سانتی‌گراد است (جدول ۳).

نخستین دمای ذوب یخ ( $T_{fm}$ ) میان‌بارهای سیال در مرحله اول و دوم کانی‌سازی بترتیب ۴۲/۸- تا ۴۸/۹- و ۴۲- تا ۴۳/۵- درجه سانتی‌گراد است (جدول ۳). نخستین دمای ذوب یخ در سیستم دوتایی  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$  بیشتر از ۲۰/۸- است (Bodnar, 1993). برای نمونه‌های مورد مطالعه،  $T_{fm}$  پایین‌تر از این دما است (جدول ۳) که این امر بیانگر حضور نمک‌های دیگر علاوه بر  $\text{NaCl}$  در سیال کانه‌ساز می‌باشد. مقایسه نخستین دمای ذوب یخ در سیستم‌های دوتایی  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$  مختلف (Shepherd et al., 1985; Davis et al., 1990; Gokce, 2000; Prokofiev et al., 2010) پیشنهاد می‌کند که سیال گرمایی شامل  $\text{NaCl} - \text{H}_2\text{O} + \text{CaCl}_2 \pm \text{FeCl}_2 \pm \text{MgCl}_2$  و سایر نمک‌ها می‌باشد. دامنه حرارتی دمای همگن شدن در مرحله اول کانی‌سازی، ۱۸۰ تا ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین دما ۲۱۷/۸ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی از میان‌بارهای سیال، A: میان‌بارهای سیال دوفازی (LV) و تک‌فازی (L) در کلسیت مربوط به مرحله اول کانی‌سازی از محدوده اکتشافی کلاته پیاله، B: میان‌بارهای سیال دوفازی (LV) و تک‌فازی (V) در کلسیت مربوط به مرحله دوم کانی‌سازی از محدوده اکتشافی کلاته پیاله.

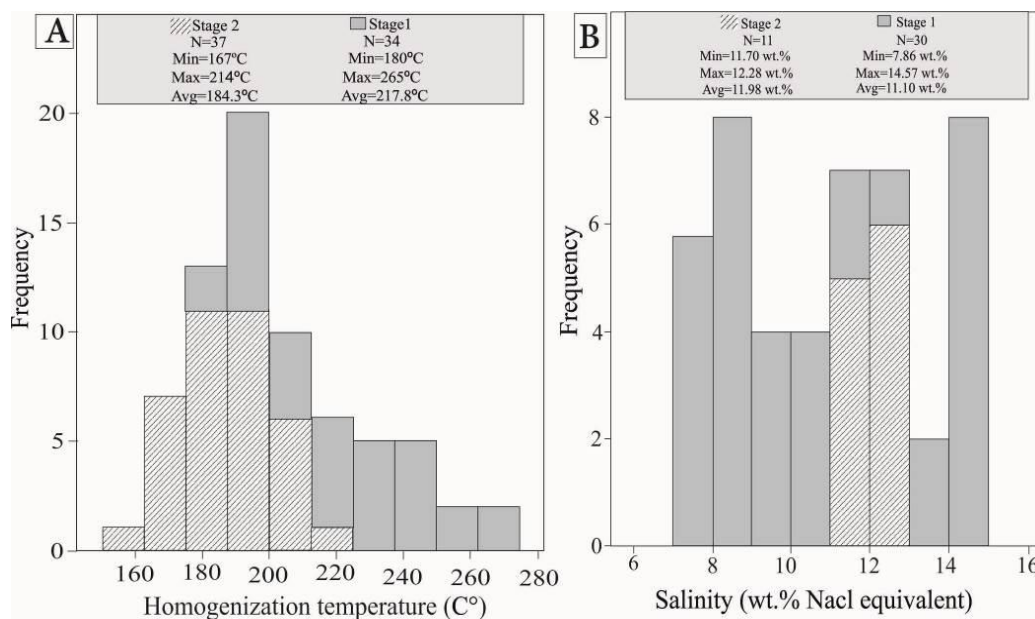
**Fig. 6.** Microscopic images of fluid inclusions, A: two-phase fluid inclusions (LV) and single-phase (L) in calcite of the first stage of mineralization from the Kalatepiaale prospect area, B: two-phase fluid inclusions (LV) and single-phase (V) in calcite of the second stage of mineralization from the Kalatepiaale prospect area.



**جدول ۳.** خلاصه نتایج مطالعات میان‌بارهای سیال (نوع L-V، در کانی کلسیت) در کانه‌زایی سرب- روی در منطقه اکتشافی کلاته پیاله.

**Table 3.** Summary of fluid inclusion micro-thermometric data (L-V type fluid inclusion in calcite mineral) from lead-zinc mineralization in the Kalatepiaie prospect area.

Sample Number	Stage	Type	Size m) $\mu$ (	Number	Th ( $^{\circ}$ C)	T <sub>fm</sub> ( $^{\circ}$ C)	T <sub>mice</sub> ( $^{\circ}$ C)	Salinity Wt.% (NaCl)	Density
A3	1	P	3-12	14	185-228	-47.3 to -46	-8.3 to -6.3	9.6-12	0.81 to 0.84
A4	1	P	5-8	10	212-265	-48.9 to -48.2	-6.2 to -5	7.8-9.4	0.79-0.81
D12	1	P	7-12	10	180-224	-42.8 to -42	-10.6 to -10	13.9-14.5	0.86-0.87
A5	2	P	5-12	11	167-183	-	-	-	-
A7	2	P	10-14	12	174-205	-43.5 to -42	-8.5 to -8	11.7-12.2	0.83-0.84
7-1	2	P	7-14	6	193-214	-	-	-	-
D7	2	P	3-15	8	167-190	-	-	-	-



**شکل ۷.** A: نمودار دمای همگن شدن میان‌بارهای سیال و B: نمودار شوری میان‌بارهای سیال برای مراحل مختلف کانی‌سازی در محدوده اکتشافی کلاته پیاله.

**Fig. 7.** A: Histogram of homogenization temperature data and B: histogram of Salinity (wt.% NaCl equivalent) data for different stages of mineralization in the Kalatepiaie prospect area.

ذخایرسدکس در نظر گرفته شده که بصورت جانشینی زیرسطحی تشکیل گردیده‌اند. در مقایسه با کانسارهای سدکس که معمولاً میزبان آنها آواری است (Wilkinson, 2014)، کانه‌زایی روی-سرب کانسار کلاته پیاله، تنها در سنگ‌های

## بحث

در جدیدترین تقسیم‌بندی (Wilkinson, 2014) ذخایر سرب و روی به دو گروه کلی سدکس (رسوبی برون‌دمی) و MVT تقسیم شده و ذخایر ایریش بعنوان زیرمجموعه‌ای از



ژئوشیمیایی با کانسارهای اپی‌ترمال سرب- روی قابل مقایسه است. همان‌طور که قبلاً اشاره گردید در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله هیچگونه واحد آذرین شناسایی نگردید. بر اساس نقشه یک‌صدهزار شیروان (Jafarian and Haft Lang, 2004)، در فاصله ۱۰ کیلومتری از محدوده مورد مطالعه سنگ‌های آتشفشانی آندزیت و بازالت به سن کامبرین رخمون دارند. بنابراین کانی‌سازی نمی‌تواند ارتباطی به این فعالیت‌های ماگمایی و گرمایی داشته باشد. با توجه به قرار گرفتن محدوده اکتشافی در مرز پهنه بینالود، این احتمال وجود دارد که توده مرتبط با کانی‌سازی در عمق و یا در فاصله‌ای دورتر بوده و محلول‌کانه‌ساز از طریق گسل‌ها به نزدیک سطح راه یافته است. در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله، مطالعه میان‌بارهای سیال بر روی کلسیت دمای تشکیل کانسار را ۱۶۷ تا ۲۶۵ درجه سانتی‌گراد (بیشتر در محدوده ۸۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری میانگین ۱۱ درصد وزنی نمک‌طعام نشان داده است (جدول ۳ و شکل ۷). محدوده دما و شوری کانسار کلاته‌پیاله در نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن (شکل ۸) با کانسارهای مختلف سرب- روی و مس‌دار اپی‌ترمال، پورفیری و MVT مقایسه شد (Wilkinson, 2001). در این مقایسه محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله بیشترین شباهت را با سیستم‌های سرب- روی اپی‌ترمال نشان می‌دهد.

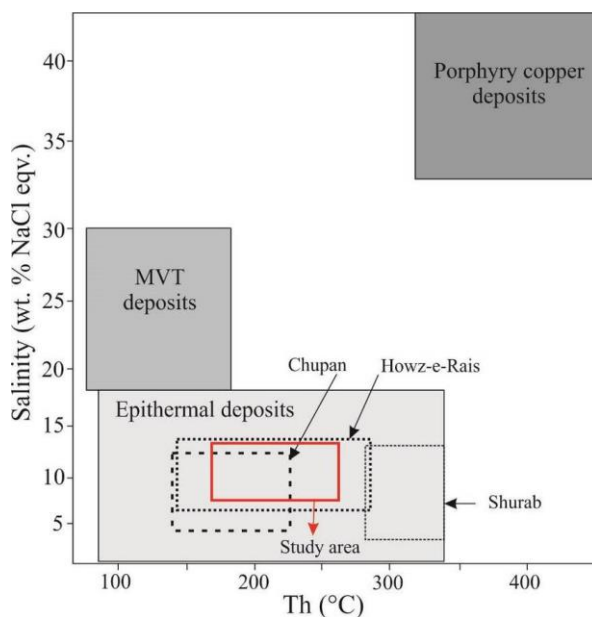
شوری میان‌بارهای سیال اندازه‌گیری شده از ۷/۸ تا ۱۴/۵ درصد وزنی نمک‌طعام متغیر است. این محدوده وسیع تغییرات شوری میان‌بارهای سیال را می‌توان با پدیده آمیختگی دو سیال با شوری متفاوت توجیه کرد. این میان‌بارها قابل تقسیم به دو گروه با شوری کم (۷/۸ تا ۱۰ درصد وزنی نمک‌طعام) و شوری بالا (۱۳/۹ تا ۱۴/۵ درصد وزنی نمک‌طعام) هستند (شکل ۹). حضور دو نوع میان‌بار با شوری متفاوت ولی دمای همگن‌شدگی مشابه، نشانه آمیختگی هم‌دمای (Isothermal mixing) دو سیال است (شکل ۹).

کربناته تشکیل شده است. بنابراین این کانسار را نمی‌توان با کانسارهای نوع Sedex مقایسه کرد.

ویژگی‌های شاخص کانساری نوع ایریش از جمله رخداد کانه‌زایی در حوضه‌های کشتی در سنگ‌های میزبان کربناتی و حضور سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی، وجود بافت‌های جانیشینی و برشی، دگرسانی کربناتی و سیلیسی، وجود زون‌بندی کانیایی و منطقه‌بندی عنصری، دمای همگن‌شدن ۷۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۴ تا ۲۸ درصد وزنی نمک‌طعام میان‌بارهای سیال و حضور باریت فراوان است (Hitzman et al., 2002, Wilkinson, 2003; Wilkinson, 2014).

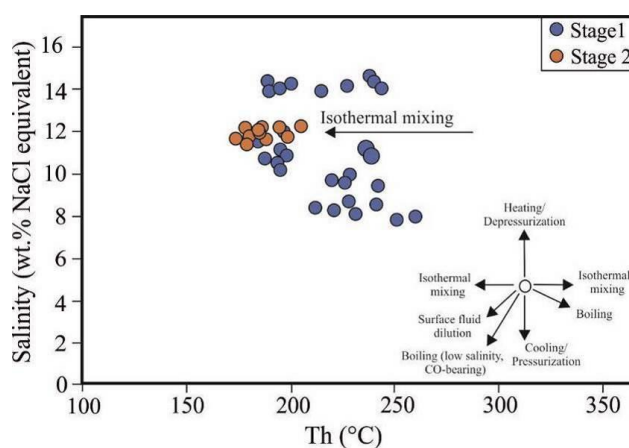
ویژگی‌های شاخص کانساری نوع MVT شامل قرارگیری در کمربند فورلند کوهزایی، رخداد کانه‌زایی در مجاورت گسل رانندگی، وجود دولوستون میزبان، بافت‌های برشی و پرکننده فضای خالی، دگرسانی‌های دولومیتی و کربناتی، مقادیر پایین دمای میان‌بارهای سیال و وجود باریت جزئی است (Leach et al., 2010; Wilkinson, 2014). با توجه به مشاهدات صحرائی، شواهدی از چینه‌کران یا چینه‌سان بودن کانسار مشاهده نگردید و برخلاف کانسارهای نوع ایرلندی و MVT، مهم‌ترین دگرسانی‌های همراه کانی‌سازی کلسیتی و دولومیتی هستند.

کانی‌سازی کلاته‌پیاله اولین گزارش از کانی‌سازی سرب و روی در پهنه کپه‌داغ بوده که در سنگ‌های آهک دولومیتی و آهک با سن ژوراسیک پایینی - کرتاسه (بعنوان سنگ میزبان) بصورت اپی‌ژنتیک شکل گرفته است. کانی‌سازی در این محدوده کنترل ساختاری داشته و بصورت رگه‌هایی با امتداد عمدتاً شمال‌غرب- جنوب‌شرق شکل گرفته است. همچنین دگرسانی‌ها گسترش محدود در حاشیه رگه داشته و دارای روند خطی هستند. بافت‌های برشی، رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی از مهم‌ترین بافت‌های کانسار کلاته‌پیاله هستند. محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله از نظر کنترل گسلی کانی‌سازی، کانی‌شناسی ساده ماده معدنی، نوع بافت‌ها، گسترش محدود دگرسانی‌ها و شواهد



شکل ۸. مقایسه مقدار شوری و دمای محلول کانه‌دار کانسار کلاته‌پیاله با برخی دیگر از کانسارهای اپی‌ترمال در بلوک لوت. محدوده کانسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و MVT نیز مشخص شده‌است (Wilkinson, 2001). داده‌های میان‌بارهای سیال از مهرابی و طالع‌فاضل (Mehrabi and Tale, 2011)، مهرابی و همکاران (Fazel, 2011)، مهرابی و همکاران (Mehrabi et al., 2019) و ملک‌زاده شفارودی و کریم‌پور (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013).

**Fig. 8.** Comparison of salinity and temperature of the ore-bearing solution from the Kalatepiale prospect area with some other epithermal deposits in Lut Block. The range of epithermal, porphyry and MVT deposits has also been determined (Wilkinson, 2001). Fluid inclusion data from Mehrabi and Tale Fazel, 2011; Mehrabi et al., 2019; Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013.



شکل ۹. نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری میان‌بارهای سیال در کانی‌سازی محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله (Wilkinson, 2001).

**Fig. 9.** Th-salinity diagram of fluid inclusion data from the Kalatepiale prospect area (Wilkinson, 2001).

### نتیجه‌گیری

در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله کانی‌سازی سرب و روی بصورت اپی‌ژنتیک در سنگ میزبان آهک دولومیتی و آهنی شکل گرفته است. با توجه به نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی کانی‌گالن، مقادیر نقره (۱ تا ۷ گرم در تن) پایین‌تر از حدی است که بعنوان محصول جانبی در محدوده اکتشافی کلاته‌پیاله مورد توجه قرار گیرد. با توجه به داده‌های ریزدماسنجی، سیال کانه‌ساز در محدوده شورابه‌های حوضه‌ای قرار گرفته و آمیختگی هم‌دمای (Isothermal mixing) دو سیال منجر به شکل‌گیری کانی‌سازی شده‌است.

شواهدی چون نوع دگرسانی‌ها (دولومیتی و کلسیتی) و گسترش خطی آنها، کانی‌سازی غیرهمزاد و همچنین ویژگی‌های

کانی‌شناسی (گالن، اسفالریت و پیریت)، بافت (پرکننده فضای خالی، جان‌شینی و برشی)، شواهد زمین‌شیمیایی و ویژگی‌های دمایی و شوری سیال موثر بر کانه‌زایی می‌تواند از نشانه‌های سیستم‌های نوع اپی‌ترمال سرب- روی باشد. کانسار کلاته‌پیاله اولین گزارش از کانی‌سازی فلزی (فلزات پایه) در پهنه کپه‌داغ است. با توجه به گسترش کانی‌سازی در زون‌های گسلی، امید است شناخت هر چه بیشتر کانی‌سازی در محدوده کلاته‌پیاله از لحاظ نحوه تشکیل و ساختارهای زمین‌شناسی، گام مثبتی در جهت اکتشاف بهتر این نوع ذخایر در پهنه کپه‌داغ باشد.

### تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده‌است.

## References

- Aghanabati, S.A., 2004. Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 pp.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-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)
- Davis, D.W., Lowenstein, T.K. and Spencer, R.J., 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in systems NaCl–H<sub>2</sub>O, NaCl–KCl–H<sub>2</sub>O, NaCl–MgCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O and NaCl–CaCl<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54(3): 591–601.  
[https://doi.org/10.1016/0016-7037\(93\)90378-a](https://doi.org/10.1016/0016-7037(93)90378-a)
- Gokce, A., 2000. Ore deposits, Cumhuriyet University Publication, Sivas, 336pp.
- Goodfellow, W. D. and Lydon, J. W., 2007. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits. In: W.D. Goodfellow (Editor), *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*. Geological association of Canada, Canada, pp. 163–183. Retrieved August 16, 2023 from  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.7.1355>
- Hitzman, M. W., Redmond, P. B. and Beaty, D. W., 2002. The carbonate-hosted Lisheen Zn-Pb-Ag deposit, County Tipperary, Ireland. *Economic Geology*, 97 (8): 1627–1655.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.97.8.1627>
- Jafarian, M.B. and Haft Lang, R., 2004. Geological map of Shirvan, Scale 1:100,000, Geological Survey and mineral exploration of Iran, Tehran.
- Laznicka, P., 1988. Breccias and coarse fragmentites. Petrology, environments, associations, ores. Elsevier, Amsterdam, 832 pp.
- Leach, D. L., Taylor, R. D., Fey, D. L., Diehl, S. F. and Saltus, R. W., 2010. A deposit model for Mississippi Valley-Type lead-zinc ores, chap. A of *Mineral deposit models for resource assessment*, U.S. Geological Survey, 52 pp.  
<https://doi.org/10.3133/sir20105070a>
- Lecumberri-Sanchez, P., Steel-MacInnis, M. and Bodnar, R.J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 92: 14–22.  
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.05.044>
- Loftus-Hills, G. and Solomon, M., 1967. Cobalt, nickel and selenium in sulphides as indicators of genesis, *Mineralium Deposita*, 2: 228–242.  
<https://doi.org/10.1007/bf00201918>
- Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2013. Geology, Mineralization and fluid inclusion studies in Howz-e-Raise lead-zinc-copper deposit, Eastern Iran. *Advanced Applied Geology*, 2 (4): 63–73. (in Persian with English abstract) Retrieved August 16, 2023 from  
[https://aag.scu.ac.ir/article\\_11587.html](https://aag.scu.ac.ir/article_11587.html)
- Mehrabi, B. and Tale Fazel, E., 2011. The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences. *Iranian Journal of Mineralogy and Crystallography*, 19 (1): 121–130. Retrieved August 16, 2023 from  
<https://ijcm.ir/article-1-472-en.pdf>
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E. and Yardley, B., 2019. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran. *Geochemistry*, 79 (2): 307–322.  
<https://doi.org/10.1016/j.geoch.2018.12.004>
- Parhiz, M., 2008. Exploration license in Kalatepiale prospect area. Geological Survey of Iran, Bojnourd, Report 4, 57 pp.
- Prokofiev, V.Y., Garofalo, P.S., Bortnikov, N.S., Kovalenker, V.A., Zorina, L.D., Grichuk, D.V., Selektor, S.L., 2010. Fluid inclusion constraints on the genesis of gold in the Darasun district (eastern Transbaikalia), Russia, *Economic Geology*, 105(2): 395–416.  
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.2.395>
- Rajabi, A., Rastad, E. and Canet, C., 2012. Metallogeny of Cretaceous carbonate hosted Zn–Pb deposits of Iran: geotectonic setting and data integration for future mineral exploration, *International Geology Review*, 54 (14): 1649–1672.  
<https://doi.org/10.1080/00206814.2012.659110>
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, United States Geological Survey, United States of America, 644 pp.  
<https://doi.org/10.1515/9781501508271-001>
- Rollinson, H., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, Essex, UK, 352 pp.
- Shepherd, T, Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M.,

1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 239 pp.
- Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P. and Bodnar, R.J., 2012. HOKIEFLINCS-H<sub>2</sub>O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H<sub>2</sub>O–NaCl. *Computers & Geosciences*, 49: 334–337. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95 (1): 185–187. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.01109-8>
- Wilkinson, J. J., 2003. On diagenesis, dolomitisation and mineralization in the Irish Zn-Pb Orefield. *Mineralium Deposita*, 38: 968–983. <https://doi.org/10.1007/s00126-003-0387-7>
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Elsevier, *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)
- Wilkinson, J.J., 2014. Sediment-Hosted Zinc–Lead Mineralization: Processes and Perspectives, *Treatise on Geochemistry* 2nd Edition, 13: 219–249. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-095975-7.01109-8>