



RESEARCH ARTICLE



10.22067/econg.2026.1179



Geology, alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion microthermometry in the Kaviran prospect area, northwest of Dehsalm (center a Lut Block)

Mahmoud Pourkhosro ¹ , Mohammad Hassan Karimpour ^{2*} , Seyed Masoud Homam ³ , Fatemeh Sepidbar ⁴

¹ Ph.D. student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Professor, Department of Geology and Research Center for Ore Deposit of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran; Department of Geological Sciences, University of Colorado, CB-399, Boulder, CO 80309, USA

³ Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 08 June 2026
Revised: 19 August 2026
Accepted: 22 August 2026

Keywords

Gold Mineralization
High-Sulfidation System
Vuggy Silica
Pyrophyllite
Fluid Inclusions
Kaviran Prospect
Lut Block

ABSTRACT

The Lut Block in the eastern Iran hosts numerous magmatic-hydrothermal mineral systems and represents one of the most prospective metallogenic provinces of the Iranian Plateau. The Kaviran prospect area, located in the northwest of Dehsalm, and is characterized by widespread hydrothermal alteration, and structurally controlled gold mineralization. Despite several exploration campaigns in the region, the genetic characteristics and mineralizing processes of the Kaviran system have not been comprehensively investigated. Therefore, this study integrates geological mapping, petrography, alteration mineralogy, XRD Analysis, geochemical investigations, and fluid inclusion microthermometry to constrain the ore-forming processes and metallogenic setting of the deposit.

*Corresponding author

Mohammad Hassan Karimpour
✉ karimpur@um.ac.ir

How to cite this article

Pourkhosro, M., Karimpour, M.H., Homam, S.M. and Sepidbar, F., 2026. Geology, alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion microthermometry in the Kaviran prospect area, northwest of Dehsalm (center a Lut Block). *Journal of Economic Geology*, 18(2): 105–130. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.2026.1179>



©2026 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Lut Block in the eastern Iran represents one of the most important metallogenic provinces of the Iranian Plateau and hosts numerous porphyry and epithermal mineral systems formed during extensive Eocene–Oligocene magmatic activity (Sillitoe, 2010; Richards, 2015). Hydrothermal gold mineralization in this region is commonly associated with volcanic–subvolcanic complexes and structurally controlled fluid pathways. The Kaviran prospect, located the northwest of Dehsalm in the central Lut Block, exhibits widespread hydrothermal alteration, silicification, pyritization, and gold-bearing quartz veins. Despite its exploration significance, the ore-forming processes and physicochemical evolution of the hydrothermal system have not been fully constrained.

The present study integrates field geology, petrography, alteration mineralogy, XRD Analysis, geochemical investigations, and fluid inclusion microthermometry to characterize the mineralization system and determine the genetic relationship among hydrothermal alteration, ore deposit, and magmatic activity.

Materials and Methods

Geological mapping and detailed field investigations were conducted throughout the prospect area. Representative samples were collected from mineralized veins, alteration zones, and host rocks for petrographic and mineralogical studies. X-ray diffraction (XRD) Analysis were carried out to identify alteration minerals, particularly within advanced argillic assemblages. Geochemical data were evaluated to investigate metal associations and element distribution patterns. In addition, microthermometric measurements were performed on primary fluid inclusions hosted by quartz and calcite to estimate the temperature, salinity, and evolution of ore-forming fluids following the procedures described by Bodnar et al., 2014.

Results

Hydrothermal alteration in the Kaviran prospect comprises silicic, advanced argillic, argillic, sericitic–carbonate, and propylitic assemblages. The alteration pattern is characterized by intensely silicified cores surrounded by progressively weaker alteration zones. Field observations revealed the

occurrence of vuggy silica, one of the most diagnostic features of high-sulfidation systems (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Arribas, 1995). Furthermore, XRD Analysis confirmed the presence of pyrophyllite within the advanced argillic zone, indicating alteration under acidic hydrothermal conditions.

Mineralization occurs as veins, veinlets, stockworks, and disseminations. Pyrite is the dominant sulfide mineral and is accompanied by chalcopyrite and bornite. Secondary minerals include hematite, goethite, and covellite. Extensive pyritization and silicification are closely associated with gold-bearing structures and hydrothermal alteration zones.

Geochemical investigations indicate significant Au enrichment associated with Cu, Ag, Mo, Pb, Zn, and As anomalies. Positive correlations among Au, Cu, and Mo suggest a contribution from magmatic–hydrothermal fluids and imply a possible genetic link to a deeper porphyry system.

Microthermometric studies of 168 primary fluid inclusions revealed homogenization temperatures ranging from 112 to 320°C and salinities between 1.74 and 23.1 wt.% NaCl equivalent. Coexistence of liquid-rich inclusions (LV), vapor-rich inclusions (VL), and vapor-only inclusions (V) provides strong evidence for fluid boiling during ore formation. The distribution of temperature and salinity data suggests mixing between magmatic and meteoric fluids during hydrothermal evolution.

Discussion

Several geological and mineralogical features support the interpretation of the Kaviran hydrothermal system as a high-sulfidation deposit. These features include advanced argillic alteration, widespread silicification, the occurrence of vuggy silica, the presence of pyrophyllite, and extensive pyritization. Such features are widely recognized as characteristic indicators of high-sulfidation environments generated by acidic magmatic fluids above shallow intrusive centers (Hedenquist et al., 2000; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Simmons et al., 2005).

Fluid inclusion data indicate that ore mineralization occurred in a shallow hydrothermal environment at relatively low pressures. The coexistence of vapor-rich and liquid-rich inclusions demonstrates that boiling played a significant role in destabilizing metal complexes and triggering gold precipitation. Boiling is considered an effective mechanism for

precious-metal deposition in epithermal systems (Bodnar et al., 2014., Moncada et al., 2012).

Mixing between ascending magmatic fluids and cooler meteoric waters appears to have been another important factor controlling mineralization. Dilution of hydrothermal fluids likely caused changes in fluid chemistry, temperature, and sulfur activity, thereby enhancing metal deposition. Similar processes have been documented in numerous epithermal systems worldwide (Rottier et al., 2021; Yasami et al., 2025). The geochemical association of Au with Cu and Mo, together with the presence of dioritic to quartz monzodioritic porphyry intrusions, suggests that the Kaviran hydrothermal system may represent the upper expression of a larger magmatic-hydrothermal complex. High-sulfidation epithermal deposits commonly occur above porphyry systems and may constitute their shallow-level equivalents (Sillitoe, 2010; Richards, 2015). Therefore, the possibility of a concealed porphyry center beneath the prospect should be considered in future exploration programs.

Conclusions

Integrated geological, mineralogical, geochemical,

XRD, and fluid inclusion evidences indicates that the Kaviran prospect represents a high-sulfidation gold system developed in association with the Eocene magmatism in the central Lut Block. Advanced argillic alteration, vuggy silica, pyrophyllite-bearing assemblages, intense silicification, and widespread pyritization collectively support this interpretation. Fluid inclusion studies reveal that ore-forming fluid have temperatures of 112–320°C and salinities of 1.74–23.1 wt.% NaCl equivalent, indicating the involvement of low- to moderate-salinity hydrothermal fluids. Boiling has caused a drop in pressure and reduced solubility or instability of metal-bearing complexes such as gold, and fluid mixing can cause changes in fluid chemistry or changes in sulfur fugacity. The association of Au with Cu and Mo anomalies further suggests a probable genetic linkage between the high-sulfidation mineralization and a concealed porphyry system at depth. Consequently, the Kaviran prospect represents a promising exploration target for both high-sulfidation gold and porphyry-style mineralization within the central Lut Block.



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری، زمین‌شیمی و ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در محدوده اکتشافی کویران، شمال غرب دهسلم (مرکز بلوک لوت)

محمود پور خسرو^۱، محمدحسن کریم‌پور^{۲*}، سیدمسعود همام^۳، فاطمه سپیدبر^۴

^۱ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران؛ گروه علوم زمین، دانشگاه کلرادو، CB-399، بولدر، Co-80309، امریکا

^۳ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

^۴ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
محدوده اکتشافی کویران در شمال غرب دهسلم و در بخش مرکزی بلوک لوت واقع شده است. سنگ‌های میزبان کانه‌زایی شامل واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن هستند که توسط توده‌های نیمه عمیق دیوریتی تا کوارتزموئودیوریتی پورفیری قطع شده‌اند. کانه‌زایی اغلب به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، استوک‌ورکی و افشان رخ داده و شامل پیریت، کالکوپریت و بورنیت است. دگرسانی‌های گرمابی شامل سیلیسی، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک، سریستی-کربناته و پروپلیتیک هستند. وجود واگی سیلیکا و شناسایی پیروفیلیت در نتایج XRD، شرایط اسیدی و توسعه دگرسانی آرژیلیک پیشرفته را در سامانه کانه‌ساز تأیید می‌کند. نتایج بررسی‌های میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که دمای همگن شدگی میان‌بارهای اولیه بین ۱۱۲ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و شوری آنها بین ۱/۷۴ تا ۲۳/۱ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است. حضور هم‌زمان میان‌بارهای غنی از مایع، غنی از بخار و تک‌فازی گازی بیانگر وقوع فرایند جوشش در هنگام کانه‌زایی است. پراکندگی داده‌های دما-شوری نیز نشان‌دهنده اختلاط سیالات ماگمایی و جوی در طی تکامل سامانه گرمابی است. همراهی ناهنجاری‌های طلا با مس و مولیبدن و همچنین حضور دگرسانی آرژیلیک پیشرفته، واگی سیلیکا و پیروفیلیت نشان می‌دهد که کانه‌زایی کویران در یک سامانه سولفیداسیون بالا تشکیل شده است و احتمالاً با یک سامانه پورفیری مدفون در عمق ارتباط ژنتیکی دارد.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۳/۱۸ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱
	واژه‌های کلیدی طلا سولفیداسیون بالا پیروفیلیت واگی سیلیکا میان‌بارهای سیال کویران بلوک لوت
	نویسنده مسئول محمدحسن کریم‌پور karimpur@um.ac.ir ✉

استناد به این مقاله

پور خسرو، محمود؛ کریم‌پور، محمدحسن؛ همام، سیدمسعود و سپیدبر، فاطمه، ۱۴۰۵. زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌نگاری، زمین‌شیمی و ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در محدوده اکتشافی کویران، شمال غرب دهسلم (مرکز بلوک لوت). زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۸(۲): ۱۰۵-۱۳۰. <https://doi.org/10.22067/econg.2026.1179>

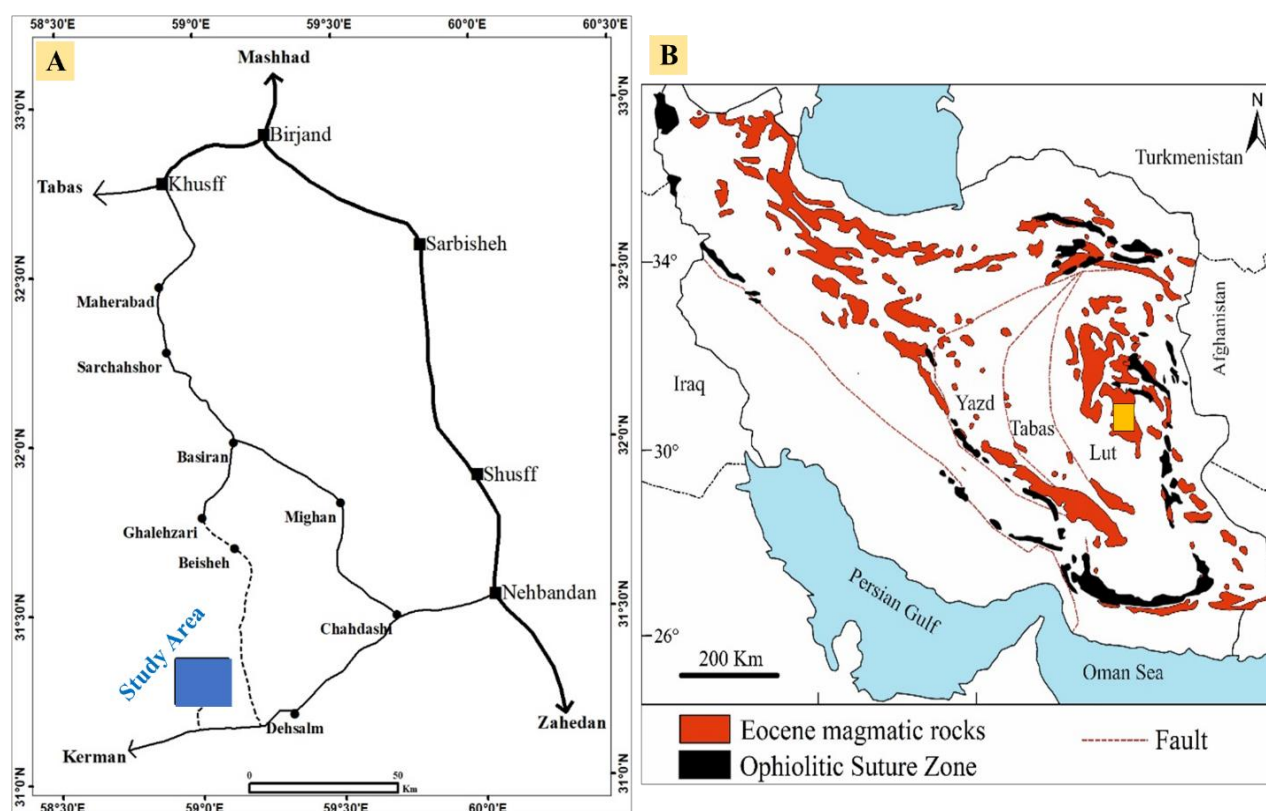
مقدمه

کانی‌سازی مس-طلا پورفیری، طلای سولفید بالا و پایین، اسکارن آهن، رگه‌های Sb-Zn-Pb و IOCG در بلوک لوت شناسایی شده‌اند (Karimpour et al., 2012).

بررسی‌هایی که در منطقه اکتشافی کویران انجام شده است، شامل تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دهمسلم (Akrami and Naderi Mighan, 1384) است؛ اما تاکنون در خصوص کانی‌سازی‌های طلا، بررسی دقیق علمی بر روی منطقه اکتشافی انجام نشده است. هدف از انجام این پژوهش، تفکیک واحدهای سنگی و بررسی‌های دگرسانی، کانی‌سازی، زمین‌شیمیایی و سیالات درگیر برای تعیین نوع کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کویران است.

محدوده کویران به وسعت ۲۰ کیلومترمربع در شرق ایران، ۳۷۰ کیلومتری جنوب بیرجند، ۱۴۰ کیلومتری غرب شهر نهبندان واقع شده است (شکل ۱-A و B). محدوده مورد بررسی بین طول‌های جغرافیایی $58^{\circ} 58' 2/48''$ تا $59^{\circ} 2' 55/69''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 18' 34/78''$ تا $31^{\circ} 16' 46/42''$ شمالی قرار گرفته است.

محدوده اکتشافی مورد بررسی از لحاظ تقسیم‌های ساختاری در حاشیه لوت مرکزی واقع شده است بلوک لوت به دلیل وقوع فرورانش و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسیم، پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف دارد. انواع



شکل ۱. A: راه‌های دسترسی به محدوده اکتشافی کویران و B: موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی کویران در ایران و نقشه پراکندگی سنگ‌های ماگمایی اتوسن و زون‌های افیولیتی ایران (خلاصه شده و با اندکی تغییر از شفایی مقدم و همکاران (Shafaii Moghadam et al., 2015))

Fig. 1. A: Ways to access the Kaviran prospect area, and B: Location map of the Kaviran prospect area in Iran and Simplified distribution map of Eocene magmatic rocks and ophiolitic suture zones in Iran (simplified and slightly modified after Shafaii Moghadam et al., 2015)

استفاده از نرم‌افزار تعبیه‌شده در سامانه اکسل H₂O- NaCl - HOKIEFLINCS (Steele-MacInnis et al., 2012;) و در نهایت نمودارهای مناسب در نرم‌افزار SPSS ترسیم شد.

زمین‌شناسی

واحد‌های سنگی محدوده شامل واحد‌های آذرآواری (توف ریولیتی، توف داسیتی و توف سنگی)، آتشفشانی (پروکسن آندزیت، هورنبلند پروکسن آندزیت)، توده‌های نیمه عمیق (دیوریت پورفیری، کوارتزیدیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، کوارتزمونزودیوریت پورفیری) و توده‌های عمیق (گرانودیوریت) است. با توجه به سن سنجی انجام‌شده توسط نویسندگان، توده‌های عمیق و نیمه عمیق به سن ائوسن بالایی و واحد‌های آتشفشانی با توجه به مشاهدات صحرایی قدیمی‌تر از توده‌های نفوذی احتمالاً به سن ائوسن پایینی مشخص شده‌اند. واحد توف ریولیتی، داسیتی (E^L)، قدیمی‌ترین واحد سنگی در این منطقه بوده و در محدوده گسترش قابل توجهی از غرب تا جنوب‌شرق دارد (شکل ۲). این واحد به طور کامل دگرسان بوده و به رنگ سفید تا زرد بر روی زمین مشخص است و شامل واحد توف ریولیتی، توف داسیتی و توف سنگی است.

واحد هورنبلند پروکسن آندزیت خاکستری تا قرمز رنگ (E^{ra})، بیشترین رخمون محدوده را شامل می‌شود که از شمال غرب تا شرق و شمال شرق محدوده را در برمی‌گیرد (شکل ۲). این واحد بر روی واحد توف ریولیتی، داسیتی (E^L) قرار دارد. در نمونه دستی و صحرایی به رنگ خاکستری تا قرمز و به صورت دانه‌ریز است. این واحد در بررسی‌های میکروسکوپی دارای بافت پورفیری با خمیره غالب میکروولیتی بوده و درشت‌بلورها ۴۰ تا ۴۵ درصد از حجم سنگ را تشکیل داده‌اند که شامل کانی پلاژیوکلاز (۲۵ تا ۳۰ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۷ درصد)، پروکسن (۷ تا ۱۰ درصد) و کانی تیره (۲ تا ۵ درصد) است.

سامانه‌های ماگمایی- گرمابی از مهم‌ترین منابع تأمین فلزهای اقتصادی در پوسته قاره‌ای محسوب می‌شوند و بخش قابل توجهی از ذخایر جهانی طلا، مس و مولیبدن در ارتباط با سامانه‌های پورفیری و گرمابی کم‌عمق تشکیل شده‌اند. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که میان سامانه‌های پورفیری و اپی‌ترمال از نظر منشأ سیالات، فرایندهای انتقال فلز و تکامل سامانه‌های گرمابی، ارتباط ژنتیکی نزدیکی وجود دارد و بسیاری از کانسارهای اپی‌ترمال در بخش‌های کم‌عمق سامانه‌های ماگمایی- گرمابی مرتبط با توده‌های پورفیری شکل گرفته‌اند (Sillitoe, 2010; Richards, 2015).

روش بررسی

پس از بررسی تصویرهای ماهواره‌ای در دو مرحله صحرایی (پی‌جویی و نمونه‌برداری از واحد‌های سنگی و کانه‌دار، مشخص کردن رگه‌های سیلیسی و زون‌های کانی‌سازی بر روی نقشه‌ها و بررسی ویژگی‌های بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها) انجام و سپس در مرحله آزمایشگاهی (تجزیه نمونه‌ها) به پایان رسید. در محدوده اکتشافی تعداد ۲۷۰ نمونه از واحد‌های سنگی و کانی‌سازی برداشت شد که تعداد ۸۵ نمونه مقطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و دگرسانی و ۴۱ نمونه مقطع صیقلی برای بررسی‌های کانه‌نگاری مطالعه شد. در نهایت، نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده اکتشافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ در محدوده‌ای به وسعت ۱۸ کیلومتر مربع در نرم‌افزار ArcGIS ترسیم شد.

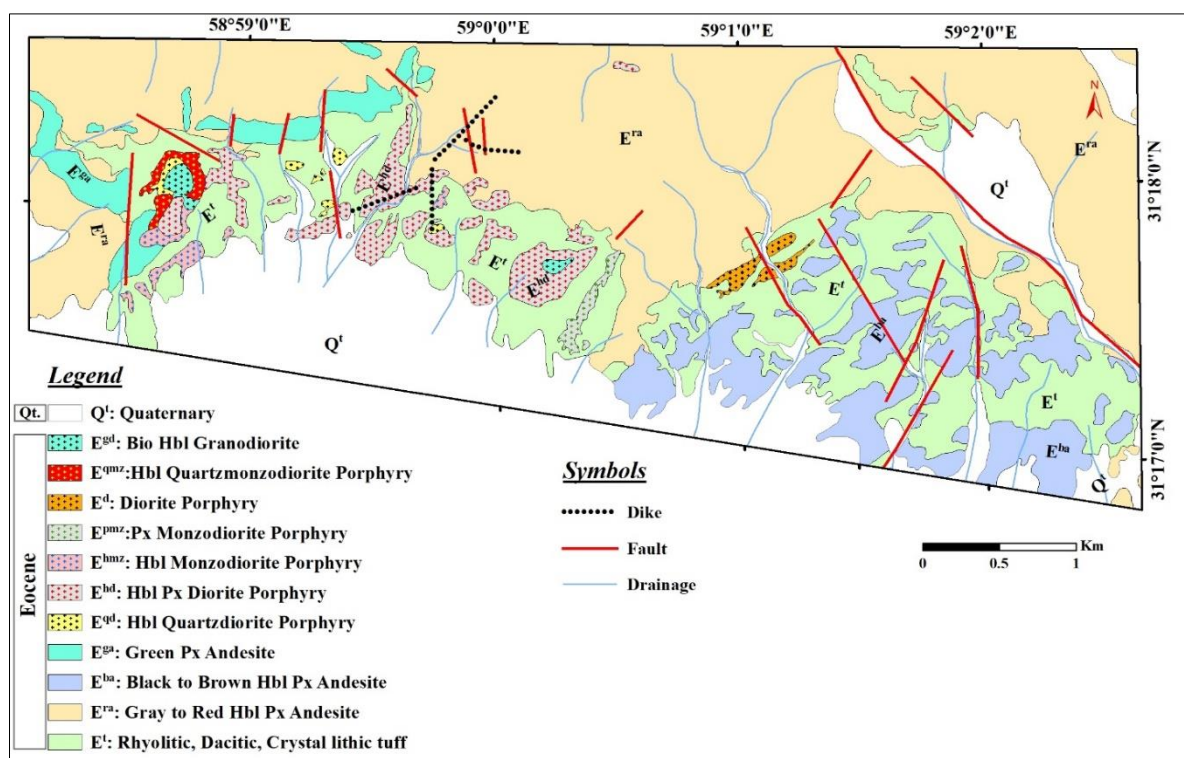
تعداد ۱۹ نمونه مقطع دوبر صیقل از رگه‌های سیلیسی و کلسیتی برای بررسی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌دار تهیه و بررسی شده است که تعداد ۴ نمونه دما و شوری میان‌بارهای سیال در دانشگاه فردوسی مشهد با استفاده از صفحه گرمایش و سرمایش دستگاه لینکام مدل THM600 و ۱۵ نمونه در دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن ۱± تا ۶± و محدوده حرارتی دستگاه بین ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است. مقدار شوری در سامانه H₂O-NaCl با

سمت شمال است. این واحد سنگی در بررسی‌های میکروسکوپی دارای بافت غالب پورفیری با زمینه میکرولیتی بوده و دارای ۲۰ تا ۲۵ درصد درشت‌بلور که شامل ۸ تا ۱۰ درصد پلاژیوکلاز، ۱ تا ۲ درصد آلکالی فلدسپار، ۷ تا ۱۰ درصد پیروکسن و ۵ تا ۷ درصد کانی تیره است (شکل ۴-B).

واحد هورنبلندکوارتزیدوریت پورفیری (E^{qd}) در غرب محدوده (شکل ۲) به عنوان قدیمی‌ترین واحد نیمه عمیق به صورت استوک و گاهی کشیده دارای سولفید برون‌زد دارد. بافت غالب این واحد در بررسی‌های میکروسکوپی، پورفیری با زمینه دانه متوسط است و میزان درشت‌بلورها در حدود ۴۵ تا ۵۰ درصد حجم کل سنگ است. خمیره هم اغلب از پلاژیوکلاز تشکیل شده است. در این واحد، درشت‌بلورها شامل ۲۵ تا ۳۰ درصد پلاژیوکلاز، ۳ تا ۵ درصد آلکالی فلدسپار، ۵ تا ۶ درصد هورنبلند، ۵ تا ۷ درصد کوارتز و ۱ تا ۳ درصد کانی تیره است.

واحد هورنبلند پیروکسن آندزیت سیاه تا قهوه‌ای رنگ (E^{ba})، بالاترین افق را در جنوب شرق محدوده (شکل ۲) به صورت شبه لایه تشکیل می‌دهد. این واحد در نمونه دستی و صحرایی به رنگ سیاه تا قهوه‌ای و دانه‌ریز بوده و بالای واحد هورنبلند پیروکسن آندزیت (E^{ra}) قرار دارد. این واحد در بررسی‌های میکروسکوپی دارای بافت پورفیری و حدود ۴۰ تا ۴۵ درصد درشت‌بلور دارد که در این واحد کانی، پلاژیوکلاز (۲۰ تا ۲۵ درصد)، آلکالی فلدسپار (۵ تا ۶ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۷ درصد)، پیروکسن (۷ تا ۱۰ درصد) و کانی تیره (حدود ۱ درصد) وجود دارد.

واحد پیروکسن آندزیت سبز رنگ (E^{ga}) در غرب و شمال غرب محدوده (شکل ۲) به عنوان جوان‌ترین واحد آتشفشانی برون‌زد دارد. این واحد در نمونه دستی و صحرایی به رنگ سبز، دانه‌ریز و دارای کلریت فراوان بوده و بالای واحد هورنبلند پیروکسن آندزیت (E^{ra}) قرار دارد. در این واحد، شیب شبه‌لایه‌ها بیشتر به



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کویران

Fig. 2. Geological map of the Kaviran prospect area

واحد هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری (E^{hd}) در غرب محدوده (شکل ۲) اغلب به صورت استوک‌های بزرگ و کشیده برون‌زد دارد. این واحد به صورت درشت‌دانه و به رنگ سبز در سطح زمین دیده می‌شود. در بررسی‌های میکروسکوپی بافت پورفیری با زمینه دانه متوسط اصلی‌ترین بافت موجود در این واحد است. درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز، آلکالی فلدسپار، پیروکسن و کانی‌های تیره در یک زمینه دانه متوسط متشکل از پلاژیو کلاز قرار گرفته است که در حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد حجم کل سنگ را در بر گرفته است. در این واحد، کانی پلاژیو کلاز (۳۵ تا ۴۰ درصد)، آلکالی فلدسپار (۳ تا ۵ درصد)، هورنبلند (۵ تا ۷ درصد)، پیروکسن (۱۰ تا ۱۲ درصد) و کانی تیره (حدود ۱ درصد) وجود دارد (شکل ۴- C).

واحد هورنبلند مونزودیوریت پورفیری (E^{hmz}) به صورت استوک و کمی حلقوی در غرب محدوده (شکل ۲) رخمون دارد. این واحد به صورت آلتزه و کمی به رنگ سبز دیده می‌شود. در بررسی‌های میکروسکوپی بافت غالب این واحد پورفیری با زمینه دانه‌ریز تا متوسط است و میزان درشت‌بلورها در حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد حجم کل سنگ است. خمیره هم اغلب از پلاژیو کلاز و آلکالی فلدسپار تشکیل شده است. در این واحد، درشت‌بلورها شامل ۳۵ تا ۴۰ درصد پلاژیو کلاز، ۱۰ تا ۱۲ درصد آلکالی فلدسپار، ۵ تا ۷ درصد هورنبلند، ۳ تا ۵ درصد کوارتز و ۱ تا ۳ درصد کانی تیره است.

واحد پیروکسن مونزودیوریت پورفیری (E^{pmz}) در مرکز محدوده (شکل ۲) به رنگ سبز کم‌رنگ و دانه متوسط و دارای سولفید فراوان رخمون دارد. در بررسی‌های میکروسکوپی، بافت این واحد پورفیری بوده که خمیره متشکل از اغلب پلاژیو کلاز و همچنین آلکالی فلدسپار (کمتر از ۱۰ درصد) است. درشت‌بلورهای تشکیل دهنده نمونه در حدود ۵۰ تا ۵۵ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. کانی پلاژیو کلاز با فراوانی حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. پلاژیو کلازها اغلب از نوع لابرادوریت بوده که در برخی قسمت‌ها دارای ماکل

پلی‌سینتیک هستند. در این واحد، درشت‌بلورها شامل ۲۵ تا ۳۰ درصد پلاژیو کلاز، ۳ تا ۵ درصد آلکالی فلدسپار، ۵ تا ۷ درصد پیروکسن، ۳ تا ۵ درصد کوارتز و ۲ تا ۷ درصد کانی تیره است. واحد دیوریت پورفیری (E^d) در مرکز محدوده (شکل ۲) به رنگ سبز برون‌زد دارد. در بررسی‌های میکروسکوپی بافت اصلی این واحد پورفیری است. درشت‌بلورها حدود ۴۵ تا ۵۰ درصد حجم کل نمونه را شامل می‌شوند. پلاژیو کلاز به عنوان اصلی‌ترین و مهم‌ترین درشت‌بلور سازنده نمونه، حجمی در حدود ۴۰ تا ۴۲ درصد را دربر می‌گیرد. آلکالی فلدسپار دیگر درشت‌بلور تشکیل‌دهنده نمونه دارای فراوانی ۳ تا ۵ درصد است. کوارتز به صورت بی‌شکل و پراکنده و خاموشی موجی ۱ تا ۳ درصد در این واحد حضور دارند.

واحد هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری (E^{qzm}) به صورت درشت‌بلور سبز تا کمی سفیدرنگ در غرب محدوده (شکل ۲) به صورت حلقوی رخمون دارد. در بررسی‌های میکروسکوپی بافت غالب و اصلی پورفیری با زمینه دانه متوسط تا دانه‌ریز است. درشت‌بلورهای اولیه سازنده شامل پلاژیو کلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، هورنبلند و کانی‌های کدر است. زمینه متشکل از کانی پلاژیو کلاز (۳۰ درصد) و آلکالی فلدسپار (۱۵ تا ۲۰ درصد) و کوارتز (۱۰ تا ۱۵ درصد) بوده و درشت‌بلورهای سازنده در حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد حجم کل سنگ را شامل می‌شوند. پلاژیو کلاز اصلی‌ترین و مهم‌ترین درشت‌بلور تشکیل‌دهنده این واحد، دارای فراوانی بین ۱۰ تا ۱۵ درصد حجم کل سنگ است. آلکالی فلدسپار نیز در این نمونه دارای فراوانی ۵ تا ۱۰ بوده که اغلب نیز بی‌شکل و از نوع سانیدین با ماکل کارلسباد بوده و کاملاً سالم و غیردگرسان شده هستند. پیروکسن و هورنبلند مهم‌ترین کانی‌های مافیک این واحد هستند. هورنبلند دیگر کانی مافیک سازنده این واحد، دارای فراوانی ۳ تا ۷ درصد و پیروکسن ۱ تا ۳ درصد در این نمونه حضور دارد. در زمینه سنگ در حدود ۱ تا ۲ درصد کانی کدر به صورت پراکنده مشاهده می‌شود.

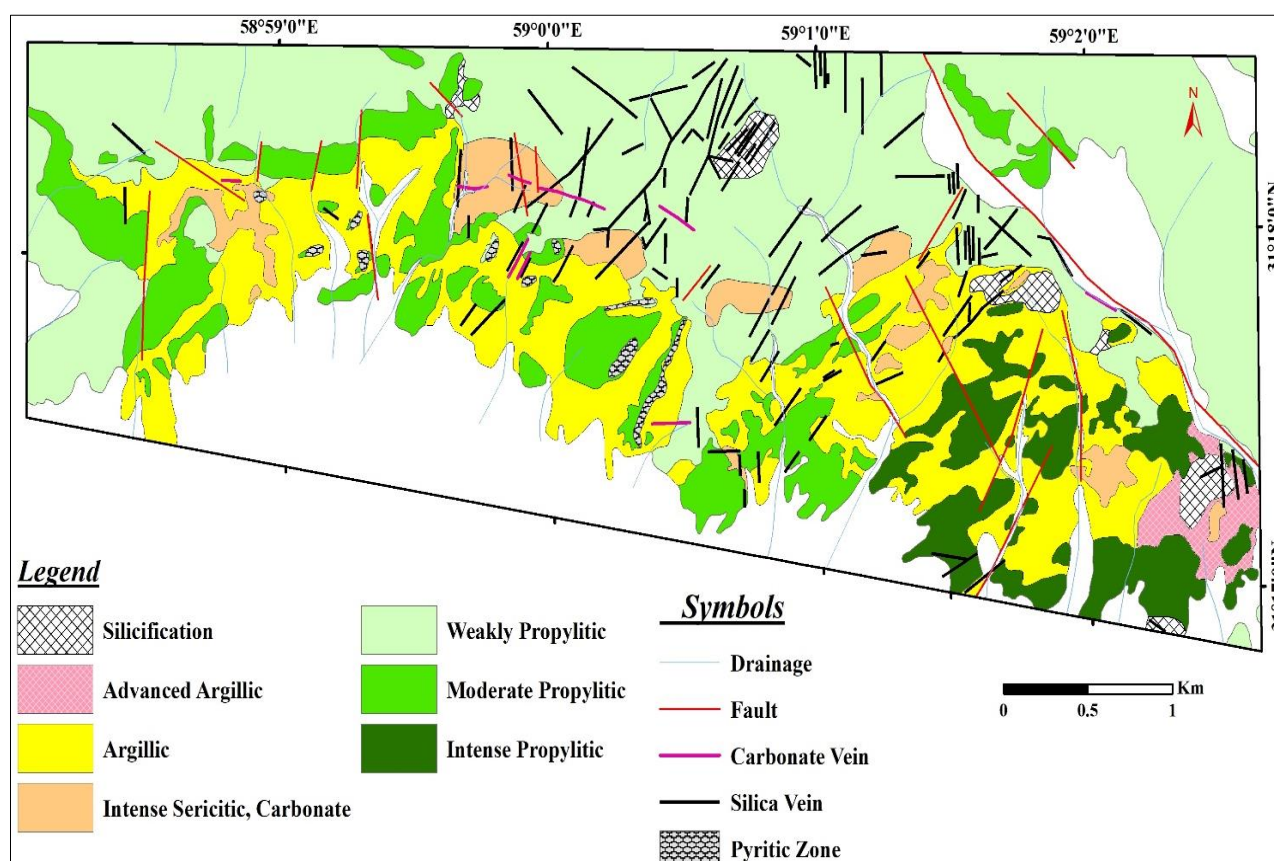
واحد بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (E^{gd}) در غرب و مرکز

(A-4).

دگرسانی

بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی مشخص شد که در این محدوده، واحدهای آتشفشانی و برخی از توده‌های نیمه عمیق و عمیق تحت تأثیر محلول‌های گرمایی قرار گرفته‌اند، به خصوص واحدهای توف ریولیتی، داسیتی و آندزیتی محدوده تحت تأثیر توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی به شدت دگرسان شده‌اند. بر این اساس، ۷ زون دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده است که عبارتند از: ۱- سیلیسی ۲- آرژیلیک پیشرفته ۳- آرژیلیک ۴- سریسیت-کربنات شدید ۵- پروپلیتیک شدید ۶- پروپلیتیک متوسط ۷- پروپلیتیک ضعیف (شکل ۳).

محدوده، به صورت دانه درشت و دارای درشت‌بلور و زینولیت فراوان (شکل ۲) رخمون‌دارد. این واحد جدیدترین واحد نفوذی و در مرکز رینگ حلقوی قرار دارد در بررسی‌های میکروسکوپی بافت غالب گرانولار و بافت فرعی گرافیکی (رشد همراه آلکالی فلدسپار و کوارتز) است. کانی‌های پلاژیوکلاز دارای فراوانی ۴۵ تا ۵۰ درصد بوده و دارای ماکل پلی‌سنتیک از نوع الیگوکلاز هستند. کانی آلکالی فلدسپار به صورت بی‌شکل از نوع ارتوکلاز بوده که دارای فراوانی به مقدار ۱۵ تا ۲۰ درصد مشاهده شد. کانی کوارتز در این واحد دارای فراوانی ۱۵ تا ۱۸ درصد با خاموشی موجی دیده می‌شود. در این واحد، هورنبلند با فراوانی ۶ تا ۸ درصد و بیوتیت به میزان ۵ تا ۷ درصد در مقطع مشاهده می‌شود. کانی کدر به میزان کمتر از ۲ درصد نیز مشاهده می‌شود (شکل



شکل ۳. نقشه دگرسانی محدوده اکتشافی کویران

Fig. 3. Alteration map of the Kaviran prospect area

آرژلیک: این زون به دلیل شدت بسیار بالای دگرسانی، با تخریب بافتی همراه است و گستره وسیعی از شرق تا غرب محدوده را شامل می‌شود. کانی‌های رسی محصول دگرسانی در این زون هستند. از دیگر کانی‌های دگرسان در این زون می‌توان از مقادیر متوسط تا کم کربنات و سربیسیت نام برد. این دگرسانی بخش بزرگی از واحدهای سنگی محدوده را تحت‌تأثیر قراردادده است (شکل ۳). واحدهای توف ریولیتی و داسیتی منطقه، تحت‌تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. این زون در صحرا به رنگ زرد تا سفید دیده می‌شود. در این زون غالب حجمی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز دگرسان‌شده هستند و بیش از ۹۰ درصد درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز، بین ۵۰ تا ۸۰ درصد به کانی رسی و کربنات کلسیم و کمتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد به سربیسیت تبدیل شده‌اند.

آرژلیک پیشرفته: این دگرسانی در شرق محدوده و دارای وسعت کمی در اطراف زون‌های سیلیسی است (شکل ۳). در این زون سولفات و نمک فراوانی دیده می‌شود. در این زون سولفیدها به سولفات و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند.

سیلیسی: این دگرسانی به دو صورت رگه‌ای و کوارتز حفره‌ای در محدوده دیده می‌شود. در قسمت شرق منطقه (شکل ۳)، زون‌هایی دیده می‌شود که به شدت سیلیسی و حفره‌دار شده‌اند. در این بخش شدت دگرسانی بسیار بالاست و کانی‌های اولیه قابل تشخیص نیستند (شکل ۴-E). در بخش اعظم منطقه سیلیسی شدن به صورت رگه‌های سیلیسی همراه کربنات مشاهده می‌شود. این رگه‌های سیلیسی حاوی کانی‌سازی طلا هستند.

سربیسیتیک- کربنات شدید: این دگرسانی از غرب تا شرق محدوده (شکل ۳) در واحدهای آندزیتی و دیوریتی از کانی‌های سربیسیت و کربنات تشکیل شده است. در این دگرسانی، بخش زیادی از پلاژیوکلازها، حدود ۳۰ تا ۹۰ درصد به کربنات کلسیم تبدیل شده‌اند. در بخش‌هایی نیز تا حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد به سربیسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۴-F). آلکالی فلدسپار نیز تا حدود ۵۰ درصد به کربنات کلسیم تجزیه شده‌اند.

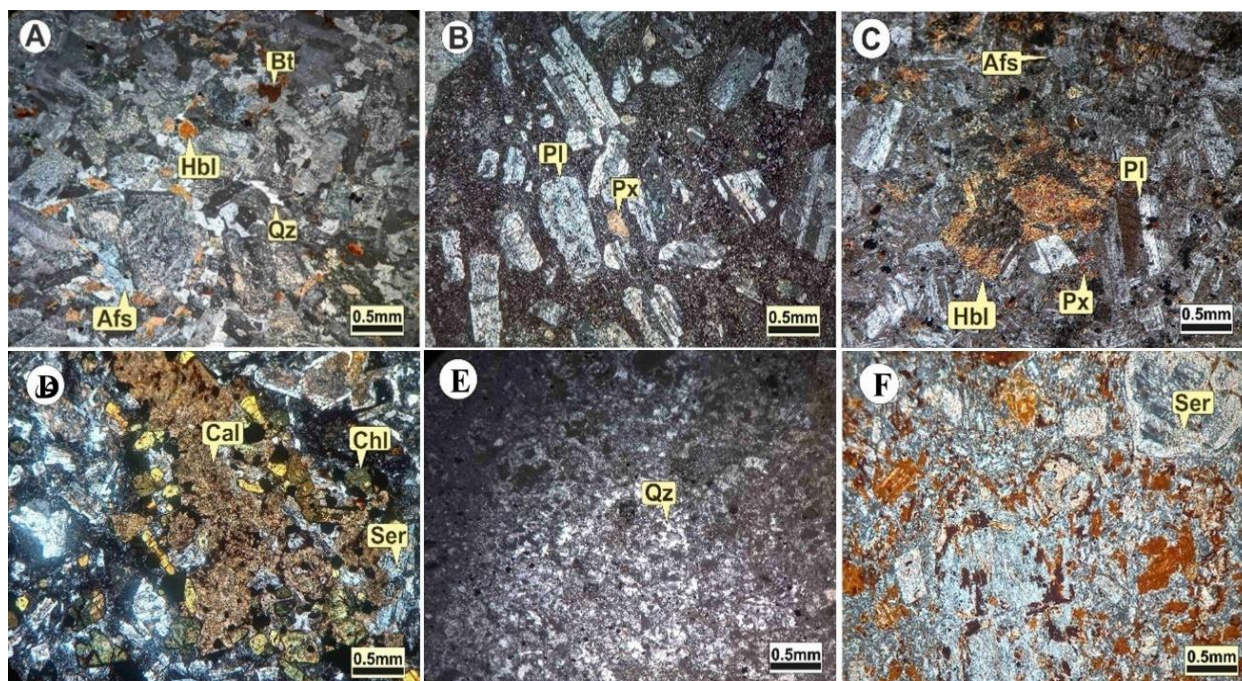
پروپلیتیک: این دگرسانی بیشترین گسترش را در محدوده داشته (شکل ۳) و اغلب واحدهای توفی، آندزیتی، دیوریتی و مونزودیوریتی را تحت‌تأثیر قراردادده است. این دگرسانی با شدت‌های ضعیف تا شدید در محدوده رخنمون دارد. در دگرسانی پروپلیتیک شدید در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد کل درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز به کربنات کلسیم و حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد به سربیسیت هم از حاشیه و هم مرکز بلور تجزیه شده‌اند. برخی از بلورهای هورنبلند و پیروکسن در بخش‌هایی دچار پدیده اپاسیتی‌شدن هستند و اکسید آهن آزاد کرده و به کانی کدر تبدیل شده‌اند و در بخش‌هایی تنها قالب شکلی آنها باقی‌مانده است. همچنین فضا‌های ایجاد شده توسط کربنات کلسیم در بر گرفته شده است. در بخش‌هایی این دو کانی نیز بین ۳۰ تا ۷۰ درصد به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۴-D). دگرسانی پروپلیتیک متوسط و ضعیف بیشترین دگرسانی این منطقه را تشکیل می‌دهد (شکل ۳).

کانی‌سازی

کانی‌سازی در محدوده کویران به صورت‌های رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده مشاهده می‌شود. کانی‌سازی به شکل رگه‌ای (شکل ۵-A و B)، در اغلب بخش‌های محدوده مشاهده می‌شود. رخنمون رگه‌های سیلیسی در این محدوده در حدود ۰/۵ تا ۱/۵ متر متغیر است و در بعضی نقاط ضخامت آن به ۳ متر می‌رسد. طول رگه‌ها بر روی زمین متفاوت بوده و در بعضی نقاط به صورت ناپیوسته طول رگه به ۵۰۰ متر می‌رسد. روند رگه‌های سیلیسی شمال شرق - جنوب غرب و شیب آنها به قائم نزدیک است و در بعضی رگه‌ها این شیب به سمت شمال غرب و در برخی رگه‌ها به سمت جنوب شرق است. در رگه‌های سیلیسی محدوده، کانی‌سازی به صورت کانی‌های پیریت و به صورت خیلی کم کالکوپیریت است. کانی‌سازی افشان به صورت گسترده در غرب منطقه مشاهده می‌شود. کانه‌های اولیه شامل پیریت، بورنیت و کالکوپیریت است. کانه‌های ثانویه شامل کولیت، مالاکیت، اکسیدهای آهن (گوتیت و مگنتیت) است. کانی‌های سولفیدی مهمی که در سطح محدوده

واحدهای هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری (E^{qd})، پیروکسن مونوزودیوریت پورفیری (E^{pmz})، هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری (E^{hd})، توف ریولیتی، داسیتی و توف سنگی (E^t) مشاهده می‌شود.

کویران به صورت افشان دیده می‌شوند، اغلب شامل پیریت است. عمده این کانی‌ها به اکسیدهای آهن ثانویه نظیر هماتیت، گوتیت و ژاروسیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵- C و D). بیشترین پراکندگی کانی‌سازی افشان در زون دگرسانی کوارتز-سریسیت-پیریت در



شکل ۴. تصویرهای میکروسکوپی از A: واحد بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت (E^{gd})، B: واحد پیروکسن آندزیت (E^{ga})، C: واحد هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری (E^{hd})، D: تصویر کانی‌های ثانویه کلریت، سریسیت و کربنات کلسیم. پروپلیتیک شدید، E: تصویر ذره‌های کوارتز و نمایی از زمینه سیلیسی و F: نمایی از درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز دگرسان‌شده به سریسیت در محدوده اکتشافی کویران. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Pl: پلاژیوکلاز، Hbl: هورنبلند، Px: پیروکسن، Cal: کلسیت، Qz: کوارتز، Ser: سریسیت، Afs: آلکالی فلدسپار، Chl: کلریت، Bt: بیوتیت).

Fig. 4. Photomicrographs of A: Biotite-Hornblende Granodiorite (E^{gd}) unit, B: Pyroxene-Andesite (E^{ga}) unit, C: Hornblende-Pyroxene-Diorite Porphyry (E^{hd}) unit, D: secondary minerals of chlorite, sericite and calcium carbonate. intense propylitic, E: quartz particles and view of silica matrix, and F: plagioclase macrocrystals altered to sericite, in the Kaviran prospect area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Pl: plagioclase, Hbl: hornblende, Px: Pyroxene, Cal: Calcite, Qz: Quartz, Ser: Sericite, Afs: Alkali feldspar, Chl: Chlorite; Bt: Biotite).

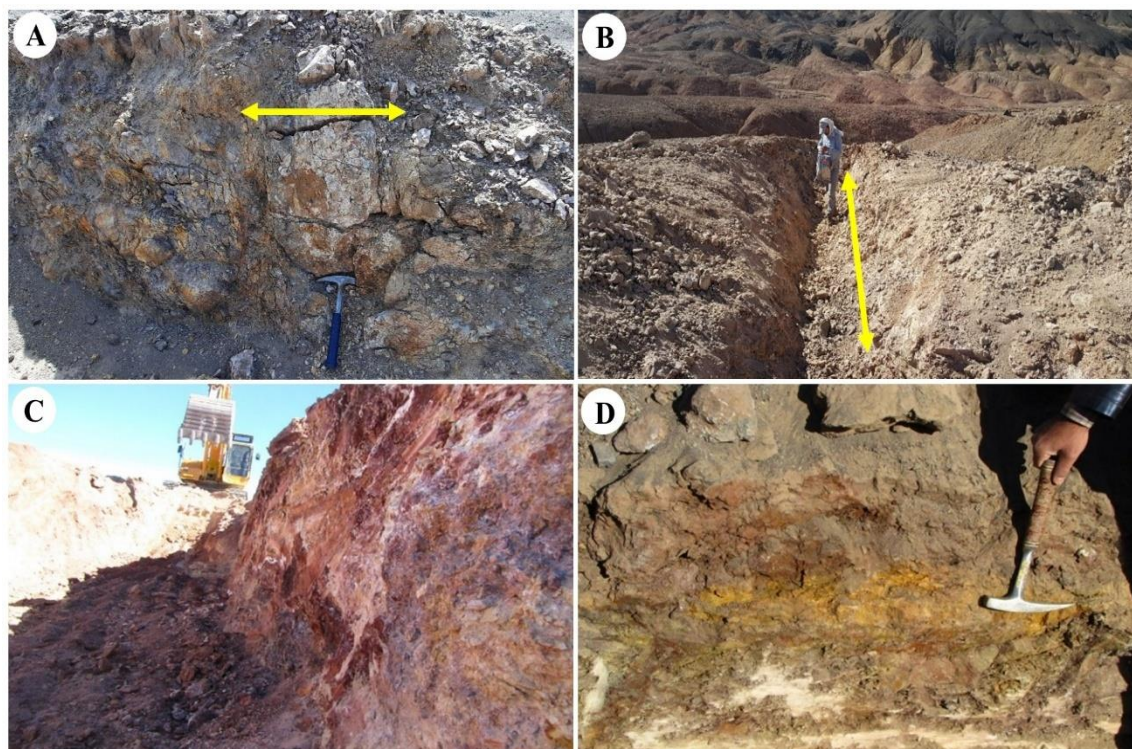
بخش‌های مدور آن نیز کمتر از ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر است. همچنین رگچه حاوی کانی پیریت با ضخامت ۵ میلی‌متر و طول ۱ سانتی‌متر درون رگه حضور دارد. به نظر می‌رسد که بخشی از پیریت‌های موجود گاهی تجزیه شده و به کانی گوتیت تبدیل شده‌اند. کانی

کانه‌نگاری در رگه‌های سیلیسی و توده‌های نیمه‌عمیق
در رگه‌های سیلیسی، بیشترین مقدار کانه مربوط به پیریت بوده که به صورت پراکنده و رگچه بین ۵ تا ۱۲ درصد فراوانی در سنگ را داراست. اندازه بلورهای پیریت خودشکل تا نیمه خودشکل در

است که به صورت پراکنده و گاهی رگچه‌ای بین ۵ تا ۱۵ درصد واحدهای نیمه عمیق را شامل می‌شود. اندازه بلورهای پیریت بی‌شکل تا اغلب نیمه خودشکل آن نیز کمتر از ۰/۵ میلی‌متر است. کانه بورنیت با فراوانی ۲ تا ۴ درصد از حجم سنگ است که در ابعاد کمتر از ۰/۵ تا حدود ۱/۵ میلی‌متر به صورت بی‌شکل دیده می‌شود (شکل ۶-۶C). در بخش‌هایی این کانی کمتر از ۵ درصد به گوتیت تجزیه شده است. کانی ثانویه گوتیت معمولاً با فراوانی در حدود ۲ تا ۱۰ درصد در سنگ‌ها به صورت گل‌کلمی دیده می‌شود. گوتیت‌های موجود اغلب در حاشیه کانی بورنیت و پیریت هستند و تجزیه شده‌اند (شکل ۶-۶D). همچنین کانی مگنتیت در بعضی از واحدها به صورت پراکنده بین ۱ تا ۳ درصد دیده می‌شود.

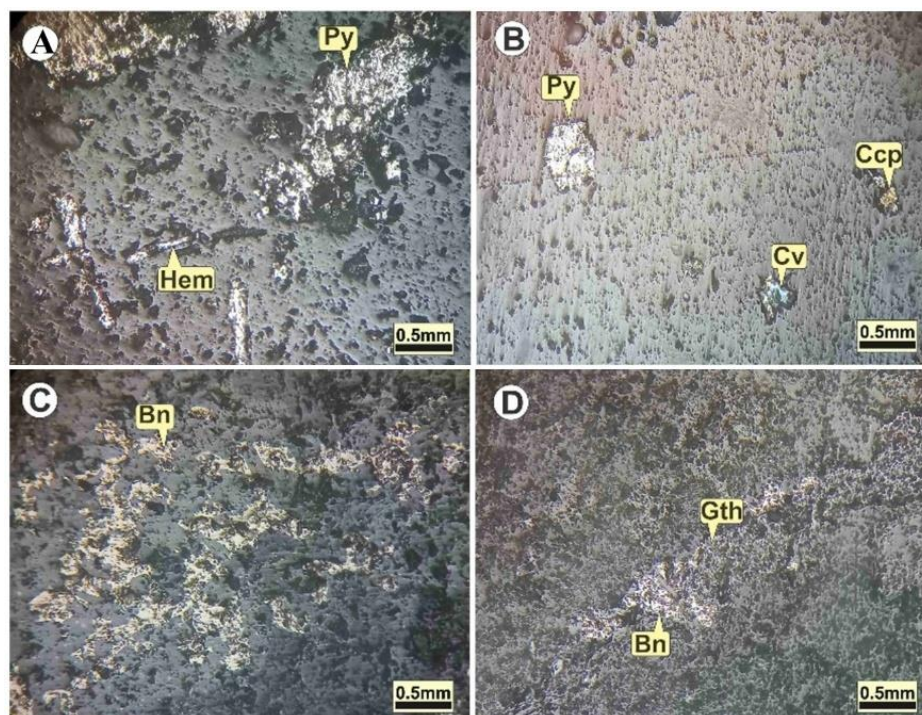
گوتیت بیانگر شرایط فوق اکسیدان در یک سامانه کانسارسازی است. کانی گوتیت به صورت یک کانی پراکنده و رگچه‌ای در رگه‌ها دیده می‌شود و فراوانی آن در حدود ۲ تا ۱۰ درصد است. گوتیت‌های موجود اغلب بافت گل‌کلمی داشته و ابعاد آنها بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر متغیر است. این کانی به صورت جانشینی از تجزیه هماتیت و همچنین پیریت تشکیل شده است (شکل ۶-۶A). همچنین کانی کالکوپیریت به مقدار کم در رگه‌ها مشاهده می‌شود. فراوانی این کانی به شدت ناچیز بوده و در ابعاد کمتر از ۰/۳ میلی‌متر در بخش‌هایی مشاهده می‌شود (شکل ۶-۶B). همچنین کانی کوولیت نیز در رگه دیده می‌شود که از تجزیه کالکوپیریت حاصل شده است (شکل ۶-۶B).

در توده‌های نیمه عمیق نیز بیشترین مقدار کانه مربوط به پیریت



شکل ۵. تصویرهای صحرایی از A: رگه سیلیسی کانه‌دار، B: پچ سیلیسی، C و D: اکسید آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت) در محدوده اکتشافی کویران

Fig. 5. Field images of A: mineralized silica vein, B: silica patch, C and D: iron oxide (hematite, limonite, and goethite) in the Kaviran prospect area



شکل ۶. تصویرهای میکروسکوپی از A: تصویر بلور خودشکل پیریت همراه با بقایای کالکوپیریت در حال تجزیه به کوولیت، B: تصویر بلور پیریت بی‌شکل همراه با سوزن هماتیت، C: تصویر بلورهای بی‌شکل و پراکنده بورنیت و D: نمایی از بلور بورنیت در حال تجزیه به گوئیت در محدوده اکتشافی کویران. علائم اختصاری از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Bn: بورنیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Cv: کوولیت، Hem: هماتیت، Gth: گوئیت).

Fig. 6. Photomicrographs of A: an automorphic pyrite crystal with remnants of chalcopyrite replacing into covellite, B: an amorphous pyrite crystal with hematite needles, C: an amorphous and disseminated bornite crystal, and D: a view of a bornite crystal decomposing into goethite, in the Kaviran prospect area. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Bn: bornite, Ccp: chalcopyrite, Py: pyrite, Cv: covellite, Hem: hematite, Gth: goethite).

زمین‌شیمی

در تن (در حد اقتصادی) هستند (شکل ۷). بیشترین مقادیر طلا مربوط به رگه‌های سیلیسی در شرق محدوده است که طول حدود ۳۰۰ متر و عرض حدود ۱/۵ تا ۲/۵ را شامل می‌شود. مقدار نقره بین ۰/۲ تا ۱۵۳ گرم در تن در نمونه‌ها متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده نقره، تعداد ۹۵ نمونه عیار کمتر از ۱ گرم در تن (در حد زمینه)، ۳۳ نمونه بین ۱ تا ۱۲ گرم در تن (در حد آنومالی)، ۶ نمونه بین ۱۲ تا ۴۰ گرم در تن (در حد کانساری) و ۴ نمونه بالای ۴۰ گرم در تن (در حد اقتصادی) هستند (جدول ۱). بیشترین مقدار نقره همراه با طلا، مس، سرب، روی، آرسنیک و مولیبدن مربوط به رگه‌های سیلیسی در شرق محدوده است.

بر اساس پی‌جویی و بررسی‌های میدانی از کل محدوده و محل کانی‌سازی‌ها، تعداد ۱۳۸ نمونه خرده سنگی برداشت و تجزیه و تحلیل شد (شکل ۷) که فقط نتایج تجزیه و تحلیل ۳۷ نمونه عیار بالای ۱۰۰ میلی‌گرم طلا در تن در جدول ۱ آورده شده است. مقدار عیارهای طلا بین ۲ تا ۸۱۰۰ میلی‌گرم در تن در نمونه‌ها متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده طلا، تعداد ۵۸ نمونه عیار کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در تن (در حد زمینه)، ۴۴ نمونه بین ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم در تن (در حد آنومالی)، ۱۶ نمونه بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در تن (در حد کانساری) و ۲۰ نمونه بالای ۵۰۰ میلی‌گرم

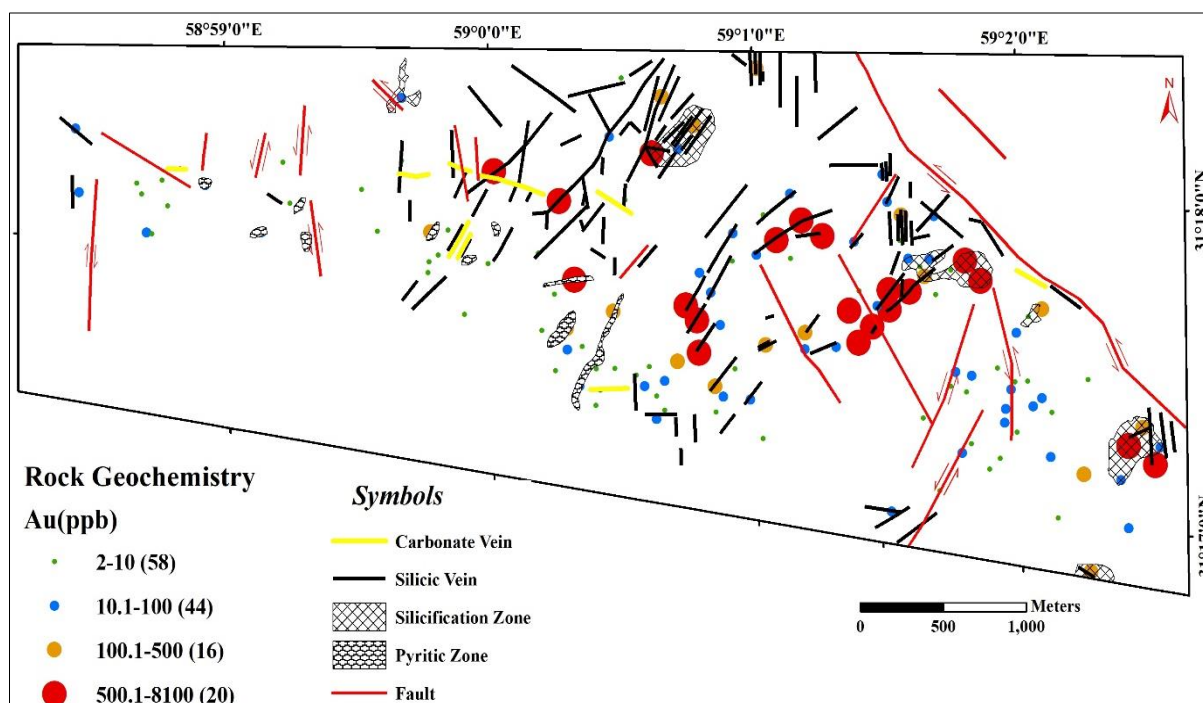
تحلیل شده متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده برای مولیبدن، تعداد ۱۲۶ نمونه عیار کمتر از ۶ گرم در تن (درحد زمینه) و ۱۲ نمونه بالای ۶ گرم در تن (در حد آنومالی) هستند (جدول ۱). معمولاً مقدار مولیبدن نیز بسیار محدود بوده و بیشتر در حد زمینه در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار مولیبدن مربوط به رگه‌های سیلیسی و توده‌های ساب‌ولکانیک در مرکز و شمال محدوده است.

مقدار سرب بین ۵ تا ۹۳۰ گرم در تن، در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده برای سرب، تعداد ۱۱۹ نمونه عیار کمتر از ۳۰ گرم در تن (درحد زمینه) و ۱۹ نمونه بالای ۳۰ گرم در تن (در حد آنومالی) هستند (جدول ۱). معمولاً مقدار سرب نیز بسیار محدود بوده و بیشتر در حد زمینه در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار سرب مربوط به رگه‌های سیلیسی و کمتر مربوط توده‌های ساب‌ولکانیک در کل محدوده است.

مقدار آرسنیک ۲ تا ۱۰۰۳ گرم در تن، در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده آرسنیک، تعداد ۳۵ نمونه عیار کمتر از ۱۰ گرم در تن (درحد زمینه) و ۱۰۳ نمونه بین ۱۰ تا ۱۰۰۳ گرم در تن (در حد آنومالی) هستند (جدول ۱). معمولاً آرسنیک در همه جای محدوده در حد آنومالی در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار آرسنیک مربوط به رگه‌های سیلیسی در شرق محدوده است.

مقدار مس بین ۵ تا ۲۲۶ گرم در تن، در نمونه‌ها تجزیه و تحلیل شده متغیر است از بین نمونه‌های تجزیه‌شده برای مس، تعداد ۱۳۴ نمونه عیار کمتر از ۷۰ گرم در تن (درحد زمینه) و ۴ نمونه بین ۷۰ تا ۲۲۶ گرم در تن (در حد آنومالی) هستند (جدول ۱). معمولاً مقدار مس بسیار محدود و بیشتر در حد زمینه در نمونه‌های تجزیه و تحلیل شده مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار مس مربوط به رگه‌های سیلیسی در مرکز و شرق محدوده است.

مقدار مولیبدن بین ۱ تا ۲۸۲ گرم در تن، در نمونه‌های تجزیه و



شکل ۷. نقشه کانی‌سازی و زمین‌شیمی طلا در نمونه‌های محدوده اکتشافی کویران

Fig. 7. Mineralization map and Au assay from samples of the Kaviran prospect area

جدول ۱. نتایج تجزیه و تحلیل طلا، نقره، آرسنیک، مس، مولیبدن، سرب، گوگرد و روی در نمونه‌های خرد سنگی محدوده اکتشافی کویران (طلا بر حسب میلی گرم در تن و بقیه عناصر بر حسب گرم بر تن)

Table 1. Results of Au, Ag, As, Cu, Mo, Pb, S and Zn from chip composite samples of the Kaviran prospect area (Au is ppb and other elements are ppm)

Sample	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	S	Zn
B81	8100	14	95	73	7	142	8154	250
B119	4680	153	203	30	282	90	26732	532
B12	4070	51	123	211	27	298	19668	960
B97	3400	5	30	18	4	10	730	50
B72	3350	5	152	14	4	12	5200	49
B87	2810	8	175	4	6	17	12132	264
B89	2450	73	115	28	30	116	7663	275
B99	1810	1	350	22	2	111	8851	418
B84	1755	38	48	12	20	18	3488	176
B91	1660	33	397	226	20	930	35000	2852
B94	1620	1	32	16	2	6	1969	24
B68	980	8	17	20	6	6	1048	22
B80	954	0	12	6	1	8	1859	86
B47	817	2	21	8	3	58	2917	171
B100	780	7	63	16	4	44	12726	160
B78	625	0	34	5	1	22	1247	388
B85	610	1	43	2	1	7	21514	48
B106	535	2	159	20	2	26	20328	104
B88	515	3	310	4	3	13	8195	120
B93	512	1	16	16	2	8	3986	39
B43	476	1	22	6	2	11	3297	117
B1	425	1	532	18	2	76	35000	118
B79	398	1	33	18	1	64	5056	427
B92	368	5	179	19	3	68	26740	309
B107	319	13	477	12	7	66	35000	306
B77	274	1	103	11	2	19	11082	475
B3	270	13	253	8	7	26	16776	216
B121	240	2	51	10	2	62	16997	162
B109	237	4	15	5	3	5	5012	28
B102	220	3	273	19	3	34	15164	804
B15	220	45	1003	19	26	444	>40000	2329
B90	217	5	97	13	4	20	17246	237
B101	210	1	98	14	1	26	18370	138
B111	148	5	15	5	4	6	9760	21
B86	144	1	33	10	2	186	9196	621
B66	115	1	109	9	2	25	19642	46
B103	102	1	144	14	1	13	17120	65

مقدار روی بین ۲۰ تا ۲۸۵۲ گرم در تن، در نمونه‌ها متغیر است. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده روی، تعداد ۱۱۷ نمونه عیار کمتر از ۲۰۰ گرم در تن (در حد زمینه)، ۱۹ نمونه بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ گرم در تن (در حد آنومالی) و ۲ نمونه بالای ۲۰۰۰ گرم در تن (در حد کانساری) هستند (جدول ۱). بیشترین مقدار روی مربوط به رگه‌های سیلیسی در مرکز و شمال محدوده است.

مقدار گوگرد بین ۰/۰۵ تا بیشتر از ۴ درصد (در بیشتر نمونه‌ها بالای ۱ درصد) است. تمرکز بالای گوگرد در نمونه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده مقدار بالای کانی‌های سولفیدی در نمونه‌های منطقه باشد. از بین نمونه‌های تجزیه‌شده روی، تعداد ۱۴ نمونه عیار کمتر از ۰/۰۵ درصد (در حد زمینه) و ۷۲ نمونه بین ۰/۰۵ تا ۱ درصد (در حد آنومالی) و ۵۲ نمونه بالای ۱ درصد (در حد کانساری) هستند (جدول ۱). بیشترین مقدار گوگرد مربوط به رگه‌های سیلیسی، توده‌های ساب‌ولکانیک، سنگ‌های ولکانیک و واحدهای آلتزه و در بخش اعظم محدوده است.

ضرایب همبستگی عناصر در کانسار کویران در جدول ۲ آورده شده است. بر این اساس طلا دارای همبستگی متوسط با عناصر نقره (۰/۵۶)، مولیبدن (۰/۴۴)، مس (۰/۴۱)، سرب (۰/۳۱) و همبستگی ضعیف با عناصر آرسنیک (۰/۱۳)، روی (۰/۲۴)، گوگرد (۰/۰۱) است. همچنین نقره دارای همبستگی بالا با عنصر

مولیبدن (۰/۹) و همبستگی متوسط با عناصر طلا (۰/۵۶)، روی (۰/۴۱)، سرب (۰/۳۹)، مس (۰/۳۳) و همبستگی ضعیف با عناصر آرسنیک (۰/۲۸) و گوگرد (۰/۱۷) است. آرسنیک دارای همبستگی متوسط با عناصر سرب (۰/۴۸)، روی (۰/۴۱) و همبستگی ضعیف با عناصر طلا (۰/۱۳)، نقره (۰/۲۸)، مس (۰/۲) و مولیبدن (۰/۱۵)، گوگرد (۰/۲۹) است. مس دارای همبستگی قوی با عنصر سرب (۰/۷۵) و همبستگی متوسط با عناصر روی (۰/۶۲)، مس (۰/۴۱)، نقره (۰/۳۳) و همبستگی ضعیف با عناصر مولیبدن (۰/۱۴)، آرسنیک (۰/۲) و گوگرد (۰/۱۳) است. مولیبدن دارای همبستگی بالا با عنصر نقره (۰/۹) و همبستگی متوسط با عنصر طلا (۰/۴۴) و همبستگی ضعیف با عناصر آرسنیک (۰/۱۵)، مس (۰/۱۴)، سرب (۰/۱۷)، روی (۰/۲۲)، گوگرد (۰/۱۴) است. سرب دارای همبستگی بالا با عناصر روی (۰/۹۳)، مس (۰/۷۵) و همبستگی متوسط با عناصر آرسنیک (۰/۴۸)، نقره (۰/۳۹)، طلا (۰/۳۱) و همبستگی ضعیف با عناصر مولیبدن (۰/۱۷) و گوگرد (۰/۲۵) است. روی دارای همبستگی بالا با عناصر سرب (۰/۹۳)، مس (۰/۶۲) و همبستگی متوسط با عناصر آرسنیک (۰/۵۵)، نقره (۰/۴۱) و همبستگی ضعیف با عناصر طلا (۰/۲۴)، مولیبدن (۰/۲۲) و گوگرد (۰/۲۷) است (جدول ۲).

جدول ۲. ضرایب همبستگی عناصر در نمونه‌های خرده سنگی محدوده اکتشافی کویران (ضرایب همبستگی بر اساس روش پیرسون و با استفاده از داده‌های غلظت عناصر محاسبه شده‌اند)

Table 2. Elemental correlation coefficient from chip composite samples of the Kaviran prospect area (Correlation coefficients were calculated using Pearson's correlation method based on elemental concentration data)

	Au	Ag	As	Cu	Mo	Pb	S	Zn
Au	1.00							
Ag	0.56	1.00						
As	0.13	0.28	1.00					
Cu	0.41	0.33	0.20	1.00				
Mo	0.44	0.90	0.15	0.14	1.00			
Pb	0.31	0.39	0.48	0.75	0.17	1.00		
S	0.01	0.17	0.29	0.13	0.14	0.25	1.00	
Zn	0.24	0.41	0.55	0.62	0.22	0.93	0.27	1.00

بررسی سیالات درگیر

رگه‌های کلسیتی بررسی شد (جدول ۳). میان‌بارهای سیال موجود در نمونه‌ها بیشتر به صورت پراکنده و تجمعی و از نوع اولیه هستند. این میان‌بارها بیشتر به شکل کروی، بیضوی و نامنظم بوده و اندازه آنها ۵ تا ۲۵ میکرون است.

در محدوده اکتشافی کویران بررسی میان‌بارهای سیال بر روی رگه‌های سیلیسی و رگه‌های کلسیتی انجام شد. کانی کوارتز مهم‌ترین کانی همراه با کانی‌سازی و مرتبط با سیال کانه‌ساز است. در این پژوهش، تعداد ۱۶ نمونه از رگه‌های کوارتز و ۳ نمونه از

جدول ۳. خلاصه نتایج بررسی‌های میان‌بارهای سیال اولیه (P) در کانی کوارتز و کلسیت همراه با کانی‌سازی در محدوده اکتشافی کویران

Table 3. Microthermometric data of primary fluid inclusions (P) of quartz and calcite mineral associated with mineralization in the Kaviran prospect area

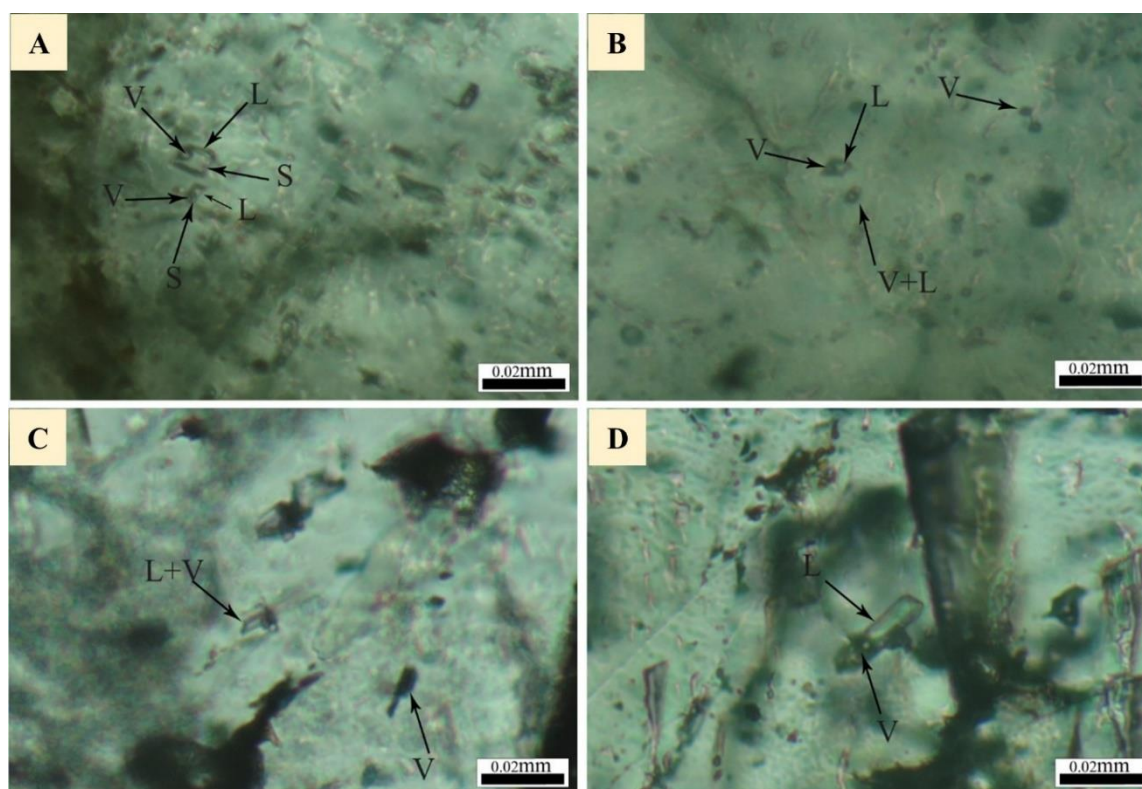
Sample No.	Fluid inclusion type	Number	Size (μm)	Tm (C°)	T _{im} (C°)	salinity (wt.%)
P-4-Qz	LV-LVS	13	5-15	169-287	-1 to -7	1.7-10.3
P-4/1-Qz	LV-VL	8	5-10	120-220	-1.5 to -5	2.1-7.8
P-8-Qz	LV	6	4-10	128-171	-1.3 to -3	2.2-4.9
P-13-Qz	LV	9	5-18	135-265	-1.6 to -8.2	2.7-11.6
P-21-Qz	LV-VL	6	5-15	117-284	-1.3 to -4.9	2.2-7.7
P-22-Qz	LV	7	4-10	114-195	-1 to -3.8	1.7-6.1
P-25-Qz	LV	9	5-10	124-174	-1.6 to -5.1	2.2-7.9
P-26-Qz	LV	8	5-15	117-250	-1 to -4.2	1.0-6.7
P-34-Qz	LV	5	5-10	115-164	-1.3 to -3.6	2.2-4.8
P-36-Qz	LV	14	5-10	121-291	-1.7 to -6.8	2.2-10.1
P-50-Qz	LV	6	5-25	193-320	-2.1 to -6.2	3.5-9.3
P-84-Qz	LV	4	5-15	112-155	-1.4 to -2.1	2.4-3.5
P-87-Qz	LV-LVS	4	5-10	123-198	-1.5 to -3.1	2.5-5.1
P-94-Qz	LV	5	5-15	135-215	-1.6 to -3.9	2.7-6.3
P-15-Qz	LV	10	5-15	210-230	-18 to -19	21-21.7
P-19-Qz	LV	9	5-15	212-230	-20 to -21.1	22.6-23.1
P-14-Cal	LV	14	5-10	214-242	-11.2 to -12.2	15.2-16.3
P-15-Cal	LV	15	5-15	214-252	-11.7 to -19.3	15.7-16.1
P-9-Cal	LV-VL	16	5-15	194-310	-4 to -11.2	6.4-14.4

مختلف ارائه شده است. اغلب این طبقه‌بندی‌ها بر اساس تعداد فازها در دمای اتاق انجام می‌شود. برای پذیرفتن این طبقه‌بندی‌ها باید در نظر داشت که یک تداوم و تسلسل ترکیبی برای سیالات زمین‌شناسی وجود دارد و به علت وجود تقسیم‌بندی‌های به نسبت دلخواه، در ۵۰ درصد آنها هم‌پوشانی‌هایی بین انواع سیالات درگیر مختلف وجود خواهد داشت (Shepherd, et

میان‌بارهای سیال می‌توانند از نظر ویژگی ظاهری مانند اندازه، شکل، رنگ، ضریب شکست و به خصوص، به وسیله فازهای موجود در آنها در دمای اتاق شرح داده شوند (Van den Kerkhof, and Hein, 2001). طبقه‌بندی‌های مختلفی بر اساس تعداد فازهای تشکیل شده در سیالات درگیر یا نسبت‌های مختلف جامدها، مایع‌ها و بخار موجود در آنها توسط افراد

جوشش در محیط است (شکل ۸-B و C). ب- میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع (LV): میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع از فراوانی بالایی در نمونه‌ها برخوردارند. حجم فاز بخار در این میان‌بار حدود ۵ تا ۳۰ درصد و حجم مایع ۶۵ تا ۸۰ درصد حجم میان‌بار است. این میان‌بار بیشتر با شکل‌های نامنظم و کشیده مشاهده شده‌اند (شکل ۸-C و D). ج- میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز (VL): میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز از فراوانی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد برخوردارند. حجم فاز بخار در این میان‌بارها حدود ۷۵ تا ۹۰ درصد حجم میان‌بار است و د- میان‌بارهای سه فازی حاوی فاز جامد (LVS): تعداد این میان‌بارها کم بوده و کمتر از ۱۰ درصد است (شکل ۸-A).

(al., 1985). بررسی‌های سنگ‌نگاری میان‌بارهای سیال، شامل بررسی شکل، اندازه، درجه پرشدگی و تعیین اولیه یا ثانویه بودن میان‌بارها، پیش از انجام بررسی‌های ریزدماسنجی انجام شد (Roedder, 1984). بر اساس بررسی‌های انجام‌شده ۴ نوع میان‌بار سیال شناسایی شده است (شکل ۸). الف- میان‌بارهای تک فازی گازی (V): تک فازی گازی در این نوع از سیالات درگیر حباب T تنها فاز تشکیل‌دهنده است؛ لذا از این نوع از سیالات نمی‌توان برای اندازه‌گیری میکروترمومتری استفاده کرد. این میان‌بارها فراوانی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد در نمونه‌ها دارند و بیشتر به شکل نامنظم و بیضوی با رنگ تیره و کمتر به رنگ روشن دیده می‌شود. اندازه آنها از ۲ تا ۱۰ میکرون است. این میان‌بار به صورت همزیست با میان‌بارهای دوفازی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده



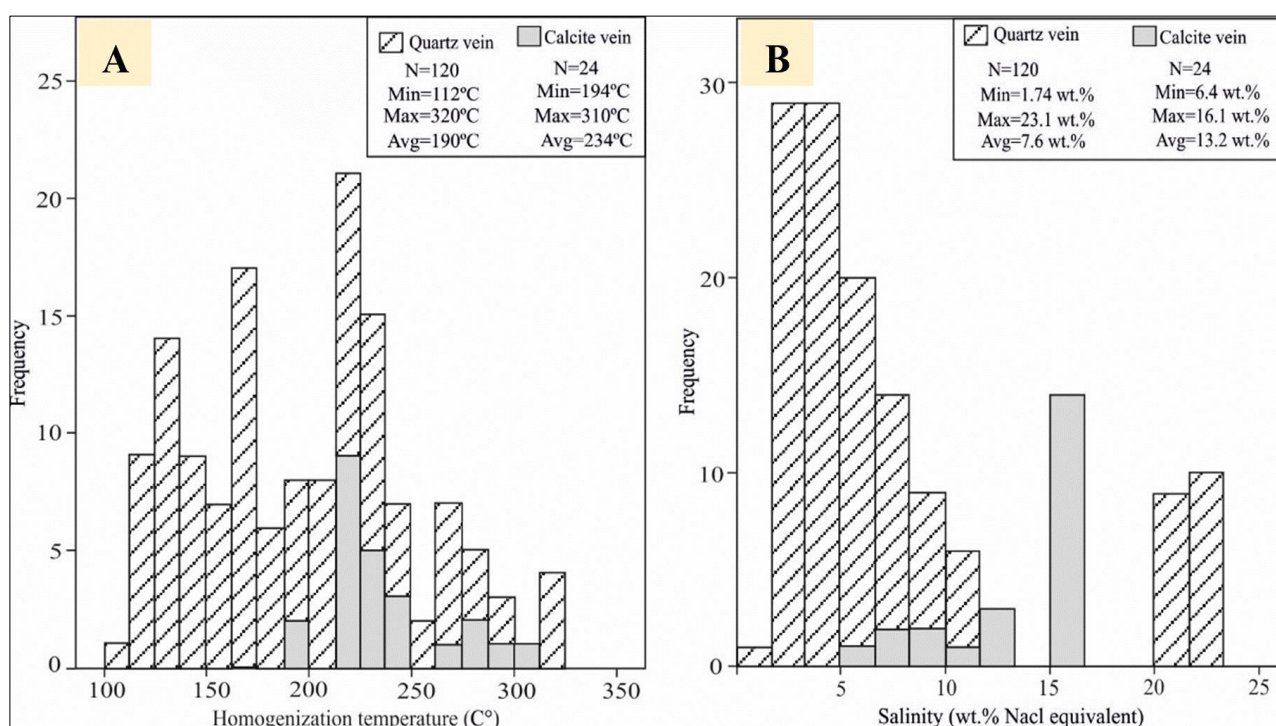
شکل ۸. تصویرهای میکروسکوپی از سیالات درگیر در محدوده اکتشافی کویران A: سه فازی (LVS) در کوآرتز، B: دوفازی غنی از گاز (VL) در کلسیت، C: تک فازی گازی به همراه دوفازی غنی از مایع (LV, V) در کوآرتز و D: دوفازی غنی از مایع (LV) در کوآرتز

Fig. 8. the microscopic images in the Kaviran prospect area A: Three-phase (LVS) in quartz, B: two-phase vapor (VL) in calcite, C: single-phase vapor with liquid (LV, V) in quartz, and D: two-phase liquid (LV) in quartz

دمای همگن‌شدگی میان‌بارهای موجود در رگه‌های کوارتزی بین ۱۱۲ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و در رگه‌های کلسیتی بین ۱۹۴ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند (شکل ۹-۱). میانگین دمای همگن‌شدگی در کلسیت (۲۳۴ درجه سانتی‌گراد) نسبت به کوارتز (۱۹۰ درجه سانتی‌گراد) بیشتر است که می‌تواند بیانگر تشکیل کلسیت در مرحله‌ای گرم‌تر از سامانه گرمابی باشد. همچنین، شوری میان‌بارهای سیال در کوارتز بین ۱/۷۴ تا ۲۳/۱ درصد وزنی معادل NaCl و در کلسیت بین ۶/۴ تا ۱۶/۱ درصد وزنی معادل NaCl متغیر است (شکل ۹-۲). میانگین شوری بیشتر در کلسیت نسبت به کوارتز احتمال حضور سیالات اولیه با سهم ماگمایی بیشتر را مطرح می‌کند (Bodnar et al., 2014; Fulignati et al., 2023).

خلاصه نتایج دماسنجی بر روی سیالات در جدول ۳ آورده شده است. در این بررسی تعداد ۱۶۸ میان‌بار سیال اولیه شامل ۱۲۳ سیال در کوارتز و ۴۵ سیال در کلسیت مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس داده‌های به دست آمده، دمای اولیه ذوب یخ (T_{fm}) اندازه‌گیری‌شده در کوارتزها در محدوده ۱- تا ۲۱/۱- و در کربنات‌ها ۴- تا ۱۹- متغیر است. مقدار شوری سیالات درگیر در کوارتزهای منطقه بین ۱/۷۴ تا ۲۳/۱ درصد وزنی و در کربنات‌ها بین ۶/۴ تا ۱۶/۱ درصد وزنی معادل نمک طعام متغیر است. بر این اساس دمای همگن‌شدن سیالات درگیر در کوارتزها بین ۱۱۲ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد) و در کربنات‌ها ۱۹۴ تا ۳۱۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۳۴ درجه سانتی‌گراد) است.

بررسی نتایج میکروترمومتری میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که

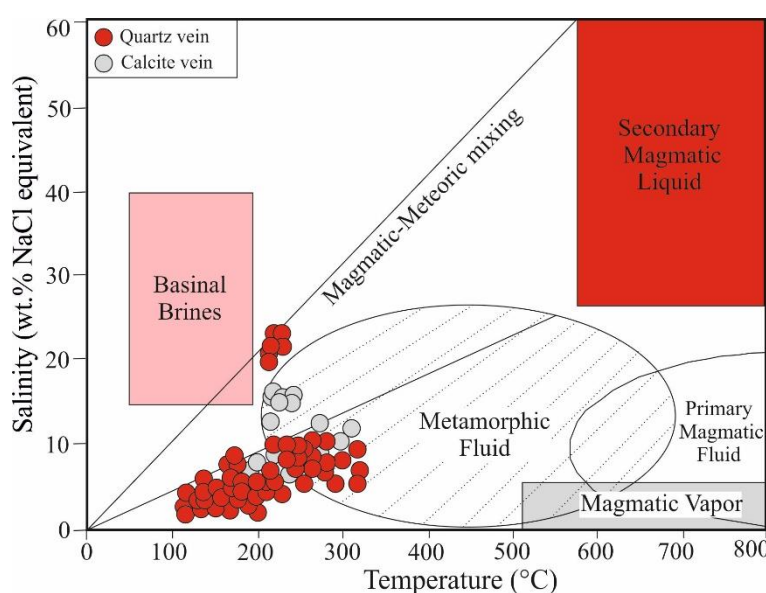


شکل ۹. نمودارهای A: دمای همگن‌شدن و B: شوری میان‌بارهای اولیه در محدوده اکتشافی کویران

Fig. 9. Histogram showing the A: homogenization temperature, and B: salinity (wt.% NaCl equivalent) data of primary fluid inclusions in veins from the Kaviran prospect area

پراکندگی داده‌های دما-شوری میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که بخش عمده داده‌ها در محدوده اختلاط سیالات ماگمایی-جوی قرار دارند (شکل ۱۰). این ویژگی نشان‌دهنده نقش مهم ورود آب‌های جوی در رقیق‌سازی سیالات اولیه و کاهش دما و شوری سامانه است. وجود نمونه‌هایی با شوری به نسبت بالا نیز می‌تواند بازتاب حضور یک مؤلفه اولیه ماگمایی باشد. چنین الگویی معمولاً در سامانه‌های کم‌عمق مشاهده می‌شود که در آن فرایندهای اختلاط سیالات و افت فشار به نهشت کانی‌های رگه‌ای منجر می‌شوند (Rottier et al., 2021; Yasami et al., 2025).

بر اساس داده‌های سیالات در گیر، شواهدی بر جوشش سیال کانه‌دار در تکامل سامانه کانه‌زایی کانسار کویران دیده می‌شود. یکی از شواهد اصلی جوشش در سیالات در گیر، حضور هم‌زمان سیالات در گیر دوفازی نوع LV و VL در یک مجموعه از سیالات در گیر است (Bodnar et al., 1985; White and Hedenquist, 1995; Moncada et al., 2012). همچنین، حضور میان‌بارهای سیال تک‌فازی بخار در کنار میان‌بارهای غنی از مایع و غنی از بخار، می‌تواند به عنوان یکی از شواهد فرایند جوشش و جدایش فازی سیال کانه‌ساز در نظر گرفته شود (Moncada et al., 2012).

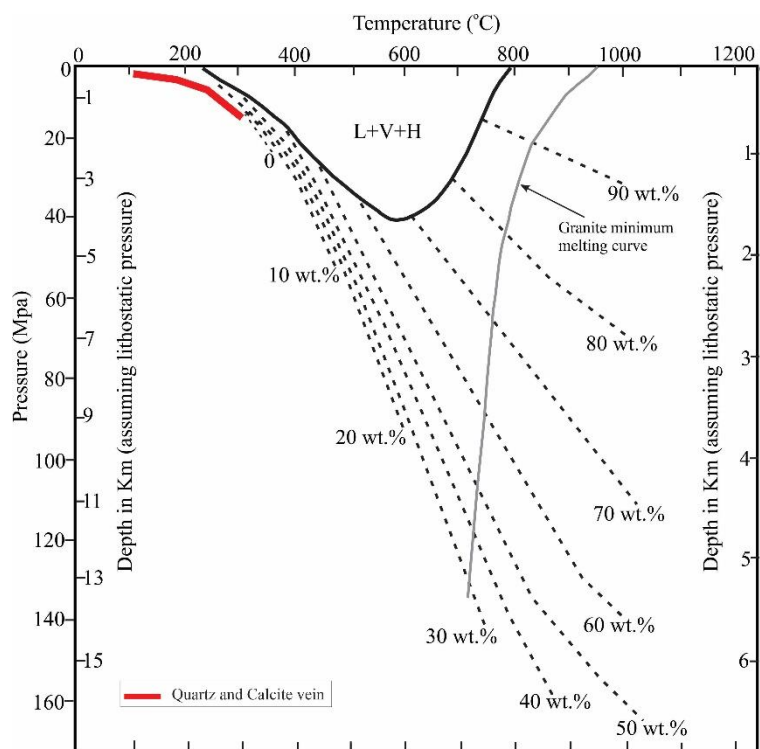


شکل ۱۰. نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری سیالات در گیر در محدوده اکتشافی کویران. محدوده‌های مشخص شده بر اساس بین (Beane, 1983) ترسیم شده‌اند.

Fig. 10. Homogenization temperature versus salinity of fluid inclusions in the Kaviran prospect area (Defined areas are plotted according to Beane (1983).

حرکت سیالات در امتداد شکستگی‌ها و رسوب‌گذاری در شرایط افت فشار و احتمالاً جوشش سیال است (Hedenquist et al., 2000; Bodnar et al., 2014).

بر اساس نمودار فشار-دما-عمق، تشکیل رگه‌های کوارتز-کلسیت در فشارهای پایین (کمتر از حدود ۱۵ MPa) و عمق کم (کمتر از حدود یک کیلومتر) رخ داده است (شکل ۱۱). این شرایط با یک سامانه گرمابی کم‌عمق سازگار بوده و بیانگر



شکل ۱۱. نمودار فشار-حرارت (برای نمونه‌های کویران) نشان‌دهنده رابطه فازی در سامانه $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ در فشار هیدرواستاتیک و لیتواستاتیک (Fournier, 1999). L: مایع، V: بخار، H: نمک. خط‌چین‌ها خطوط هم‌ارزش ثابت درصد وزنی NaCl محلول در شورابه هستند. خط باریک خاکستری منحنی کمترین ذوب گرانیته را مشخص می‌کند. خط ضخیم مشکی مرز سه فاز $L+V+H$ را برای سامانه $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ با Na/K در محلول ثابت‌شده به وسیله آلbite و K-فلدسپار در درجه حرارت‌های مشخص نشان می‌دهد.

Fig. 11. Pressure-temperature diagram (for samples of the Kaviran prospect area) showing phase relationships in the $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}$ system at lithostatic and hydrostatic pressures (Fournier, 1999). L: liquid, V: vapor, H: halite. Thin dashed lines are contours of constant wt percent NaCl dissolved in brine. Filled gray line indicates granite minimum melting curve. Filled dark line shows the three-phase boundary, $L+V+H$, for the system $\text{NaCl}-\text{KCl}-\text{H}_2\text{O}$ with Na/K in solution fixed by equilibration with albite and K-feldspar at the indicated temperatures.

احتمالاً تحت‌تأثیر فرایندهای اختلاط سیال و جوشش رخ داده است؛ شرایطی که با سامانه‌های کانه‌زایی گزارش شده در بلوک لوت همخوانی دارد (Javidi Moghaddam et al., 2018; Yasami et al., 2025).

نوع کانه‌زایی و مدل ژنتیکی

کانسارهای طلا در بخش‌های کم عمق پوسته (معمولاً کمتر از ۱/۵ کیلومتر) و در دماهای به نسبت پایین تا متوسط (حدود ۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) تشکیل می‌شوند و بر اساس ویژگی‌های

در مجموع، داده‌های میان‌بارهای سیال در منطقه کویران نشان‌دهنده تکامل یک سامانه گرمایی کم عمق با منشأ اولیه ماگمایی و تأثیر بعدی آب‌های جوی است. دما و شوری بیشتر میان‌بارهای کلسیتی نسبت به کوارتز ممکن است نشان‌دهنده تشکیل کلسیت در مراحل اولیه‌تر یا تحت‌تأثیر سیالات با سهم ماگمایی بیشتر باشد؛ در حالی که رگه‌های کوارتزی اغلب در مراحل متأخرتر و طی فرایند کاهش دما و رقیق شدن سیال تشکیل شده‌اند. روند اختلاط ماگمایی-جوی، همراه با شرایط فشار پایین و عمق کم، نشان می‌دهد که کانه‌زایی در یک محیط کم عمق و

کانی‌شناسی، نوع دگرسانی، ترکیب سیالات کانه‌ساز و وضعیت سولفیداسیون، به سه گروه اصلی شامل سولفیداسیون پایین (LS)، سولفیداسیون میانی (IS) و سولفیداسیون بالا (HS) تقسیم می‌شوند (Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005; Yasami et al., 2025).

در سامانه‌های سولفیداسیون پایین، سیالات کانه‌ساز معمولاً pH نزدیک به خنثی، شوری کم تا متوسط و منشأ اغلب جوی با سهمی از سیالات ماگمایی دارند. کانی‌های باطله رایج شامل کوارتز، کلسیت، آدولاریا و سریسیت بوده و نهشت فلزهای اغلب در اثر جوشش سیال، افت فشار و گاهی اختلاط با آب‌های جوی رخ می‌دهد. این سامانه‌ها معمولاً دارای بافت‌های فضای باز، رگه‌های کوارتز-کربناته و دماهای همگن‌شدگی حدود ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد هستند (Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005).

در مقابل، سامانه‌های سولفیداسیون بالا تحت تأثیر سیالات اسیدی و اکسیدان با منشأ اغلب ماگمایی شکل می‌گیرند و با دگرسانی آرژلیک پیشرفته، سیلیس حفره‌دار، کانی‌هایی نظیر آلونیت، دی‌کیت، پیروفلیت و سولفیدهایی مانند انارژیت و لوزونیت مشخص می‌شوند. این نوع کانه‌زایی اغلب ارتباط نزدیکی با سامانه‌های پورفیری دارد (Sillitoe and Hedenquist, 2003).

نوع سوم، سولفیداسیون متوسط، از نظر ویژگی‌ها حد واسطه دو گروه پیشین بوده و معمولاً با مجموعه سولفیدی اسفالریت، گالن، کالکوپریت، تتراهدرایت-تنانتیت، همراه با کوارتز و کربنات‌ها شناخته می‌شود. این سامانه‌ها اغلب در ارتباط با سنگ‌های آندزیتی-داسیتی و سامانه‌های انتقالی پورفیری-ابی‌ترمال ایجاد می‌شوند و میان‌بارهای سیال آنها معمولاً دماهای ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۰ تا ۲۳ درصد وزنی معادل NaCl را نشان می‌دهند (Wang et al., 2019; Yasami et al., 2025).

بررسی شواهد صحرایی، الگوی دگرسانی، پراکندگی کانه‌زایی، ویژگی‌های میان‌بارهای سیال و روابط زمین‌شیمیایی عناصر در منطقه کویران نشان می‌دهد که این منطقه به عنوان یک سامانه

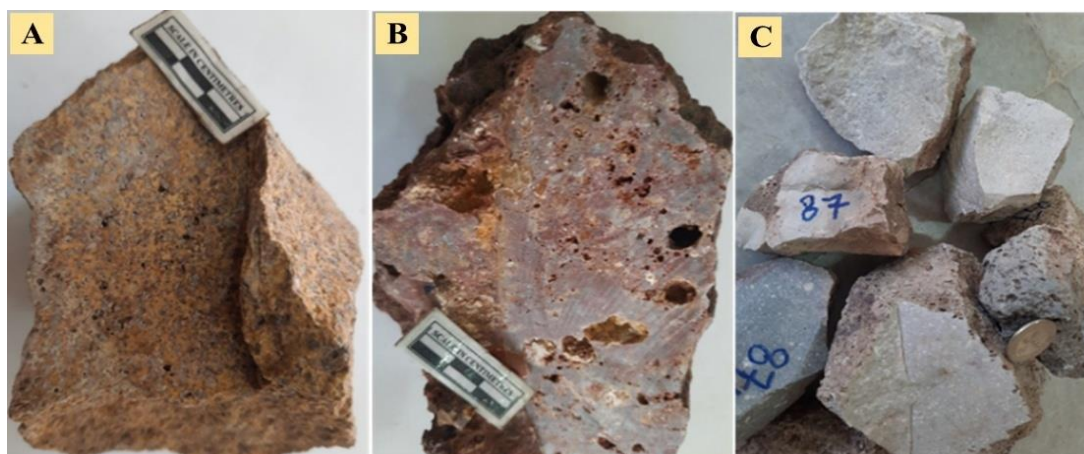
تمایل غالب به سولفیداسیون بالا و ویژگی‌های انتقالی به سولفیداسیون میانی تفسیر می‌شود. حضور گسترده زون‌های سیلیسی‌شدن، دگرسانی آرژلیک پیشرفته، کوارتزهای حفره‌دار (شکل ۱۲- A، B و C)، کانی پیروفلیت و زون‌های پیریتی از مهم‌ترین شاخص‌های سامانه‌های سولفیداسیون بالا محسوب می‌شوند. سامانه‌هایی که معمولاً در اثر تأثیر سیالات اسیدی با منشأ اغلب ماگمایی و در بخش‌های کم‌عمق سامانه‌های ماگمایی-گرمابی تشکیل می‌شوند (Arribas, 1995; Sillitoe, 2010; Sillitoe and Hedenquist, 2003).

نقشه دگرسانی منطقه، زون‌بندی به نسبت مشخصی شامل هسته سیلیسی-آرژلیک پیشرفته و گسترش دگرسانی آرژلیک، سریسیتی-کربناته و پروپیلیتیک را نشان می‌دهد که با الگوی کلاسیک سامانه‌های HS مطابقت دارد. تمرکز آنومالی‌های بالای طلا در ارتباط مستقیم با زون‌های سیلیسی‌شده و پیریتی و همبستگی فضایی آنها با ساختارهای گسلی و رگه‌های سیلیسی، بیانگر نقش کنترل‌کننده ساختارها در صعود و تمرکز سیالات کانه‌ساز است. این ویژگی‌ها نشان می‌دهد که شکستگی‌ها و سامانه‌های گسلی، مسیر اصلی انتقال سیالات گرمابی و تمرکز کانه‌زایی در منطقه بوده‌اند (Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005; Yasami et al., 2025).

بررسی‌های میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که دماهای همگن‌شدگی در رگه‌های کوارتزی و کلسیتی اغلب در بازه ۱۱۲ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند و شوری سیالات از کم تا متوسط متغیر است. پراکندگی داده‌ها در امتداد روند اختلاط ماگمایی-جوی، همراه با فشار پایین و عمق کم تشکیل رگه‌ها، بیانگر تکامل یک سامانه گرمابی کم‌عمق است که طی آن سیالات اولیه ماگمایی در اثر ورود آب‌های جوی رقیق شده‌اند. این فرایند، همراه با افت فشار و احتمال وقوع جوشش موضعی از مهم‌ترین سازوکارهای نهشت طلا و سولفیدها در سامانه‌های کم‌عمق به شمار می‌رود (Bodnar et al., 2014; Rottier et al., 2021; Yasami et al., 2025).

بسیاری از سامانه‌های سولفیداسیون بالا مشاهده می‌شود که طی تکامل سامانه، یک مرحله انتقالی به سولفیداسیون میانی یا کانه‌زایی فلزهای پایه بر سامانه اولیه غالب می‌شود (Sillitoe, 2010; Wang et al., 2019).

نتایج همبستگی عناصر نیز بیانگر چندمرحله‌ای بودن کانه‌زایی است. همبستگی مثبت طلا با Ag، Cu و Mo احتمال وجود یک مؤلفه ماگمایی و ارتباط با سامانه‌های پورفیری زیرین را تقویت می‌کند؛ در حالی که همبستگی قوی Pb-Zn-Cu می‌تواند بیانگر یک مرحله متأخرتر کانه‌زایی فلزهای پایه باشد. چنین الگویی در



شکل ۱۲. تصاویرهای نشان‌دهنده بافت کوارتزهای حفره‌دار در محدوده اکتشافی کویران. A، B و C: تصاویرهای صحرایی از بافت‌های متخلخل و حفره‌دار کوارتز مرتبط با زون‌های سیلیسی شدن

Fig. 12. Representative photographs of vuggy quartz textures in the Kaviran prospect area. A, B and C: Field photographs showing porous and cavity-rich quartz textures associated with silicification zones

جوشش سیالات گرمایی سبب تشکیل رگه‌های کوارتز-کلسیت و تمرکز طلا در امتداد ساختارهای گسلی شده‌اند. حضور میان‌بارهای غنی از مایع، غنی از گاز و تک‌فازی گازی، شواهدی از وقوع جوشش در سامانه کانه‌ساز را ارائه می‌دهد.

گسترش زون‌های سیلیسی، واگی کوارتز، آرژلیک پیشرفته و زون‌های پیریتی نشان‌دهنده تأثیر سیالات اسیدی با منشأ اغلب ماگمایی است. از سوی دیگر، وجود رگه‌های کوارتز-کلسیت، شوری به نسبت پایین تا متوسط و شواهد اختلاط سیالات، بیانگر نقش مؤثر آب‌های جوی در مراحل تکاملی سامانه است.

بر این اساس، کانه‌زایی کویران حاصل فعالیت یک سامانه سولفیداسیون بالا کم عمق با ویژگی‌های غالب سولفیداسیون بالا و ارتباط احتمالی با یک سامانه پورفیری در عمق است که در آن

فعالیت ماگمایی اثوسن و نفوذ توده‌های دیوریتی تا کوارتز مونزودیوریتی پورفیری، منبع اصلی حرارت و سیالات کانه‌ساز در محدوده کویران بوده است. صعود سیالات ماگمایی از طریق سامانه‌های گسلی و شکستگی‌های منطقه‌ای سبب توسعه دگرسانی‌های گسترده پروپلیتیک، سرپیتی-کربناته، آرژلیک و آرژلیک پیشرفته شده است. در مراحل اولیه، در بخش‌های عمیق‌تر سامانه، کانه‌زایی به صورت پراکنده همراه با پیریت، کالکوپیریت و بورنیت در ارتباط با توده‌های پورفیری شکل گرفته است.

با ادامه صعود سیالات به سمت بخش‌های کم عمق‌تر، کاهش فشار، افت دما و ورود آب‌های جوی موجب اختلاط سیالات و ناپایداری کمپلکس‌های فلزی شده است. این فرایندها همراه با

فرایندهای جوشش، اختلاط سیالات و افت فشار مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده نهشت طلا محسوب می‌شوند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانه‌نگاری، زمین‌شیمی، XRD و میان‌بارهای سیال در محدوده اکتشافی کویران نشان می‌دهد که کانه‌زایی طلا در ارتباط با فعالیت یک سامانه ماگمایی - گرمابی وابسته به ماگماتیسیم ائوسن در بخش مرکزی بلوک لوت شکل گرفته است. مهم‌ترین نتایج این پژوهش عبارتند از:

۱) سنگ‌های میزبان کانه‌زایی شامل واحدهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن و توده‌های نیمه‌عمیق دیوریتی تا کوارتز مونزودیوریتی پورفیری هستند و کانه‌زایی اغلب به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، استوک‌ورکی و افشان رخ داده است.

۲) دگرسانی‌های سیلیسی، آرژلیک پیشرفته، آرژلیک، سریسیتی - کریناو و پروپلیتیک در منطقه گسترش دارند. وجود زون‌های واگی سیلیکا و شناسایی پیروفلیت در نتایج XRD، همراه با سیلیسی‌شدگی شدید و پیریتی‌شدن گسترده از مهم‌ترین شواهد دگرسانی اسیدی و سامانه‌های سولفیداسیون بالا به شمار می‌روند.

۳) بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که طلا با ناهنجاری‌های مس، مولیدن، نقره و آرسنیک همراه است. این ویژگی بیانگر نقش مهم سیالات ماگمایی در انتقال و تمرکز فلزها و ارتباط احتمالی کانه‌زایی با یک سامانه پورفیری در عمق است.

۴) نتایج بررسی‌های میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که سیال کانه‌ساز دارای دمای همگن‌شدگی ۱۱۲ تا ۳۲۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۷۴/۱ تا ۱/۲۳ درصد وزنی معادل NaCl بوده است. حضور هم‌زمان میان‌بارهای غنی از مایع، غنی از بخار و تک‌فازی گازی بیانگر وقوع جوشش سیال در هنگام کانه‌زایی است.

۵) روند تغییرات دما و شوری میان‌بارهای سیال نشان می‌دهد که اختلاط سیالات ماگمایی و جوی نقش مهمی در تکامل سامانه گرمابی داشته است. افت فشار، جوشش و اختلاط سیالات مهم‌ترین عوامل مؤثر در نهشت طلا و تشکیل رگه‌های کانه‌دار بوده‌اند.

۶) مجموعه شواهد حاصل از دگرسانی آرژلیک پیشرفته، حضور پیروفلیت و واگی سیلیکا، کانه‌زایی طلا همراه با پیریت، داده‌های میان‌بارهای سیال و همراهی ناهنجاری‌های Cu-Mo نشان می‌دهد که محدوده کویران یک سامانه سولفیداسیون بالا (HS) است که احتمالاً با یک سامانه پورفیری مدفون در عمق ارتباط ژنتیکی دارد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

قدردانی

این طرح پژوهشی مربوط به طرح شماره ۵۷۶۳۸/۳ مصوب ۱۴۰۱/۳/۲۱ معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد است.

1. V-type inclusions
2. Low-Sulfidation
3. boiling
4. High-Sulfidation
5. vuggy silica
6. Intermediate-Sulfidation
7. disseminate

References

- Akrami, M.A. and Naderi Mighan, N., 1384. Geological map of Dehsalm, scale 1:100,000. Geological Survey of Iran, Tehran.
- Arribas, A., 1995. Characteristics of high-sulfidation epithermal deposits, and their relation to magmatic fluids. In: J.F.H. Thompson (Editor), *Magmas, Fluids, and Ore Deposits*. Mineralogical Association of Canada Short Course Series, 23: 419–454.
- Beane, R.E., 1983. The Magmatic–Meteoritic Transition. Geothermal Resources Council, Special Report No. 13, pp. 245–253. Retrieved August 19, 2026 from <https://publications.mygeoenergynow.org/grc/1005457.pdf>
- Bodnar, R.J., Burnham, C.W. and Sterner, S.M., 1985. Synthetic fluid inclusions in natural quartz. III. Determination of phase equilibrium properties in the system H₂O–NaCl to 1000 °C and 1500 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49(9): 1861–1873. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(85\)90081-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90081-X)
- Bodnar, R.J., Lecumberri-Sanchez, P., Moncada, D. and Steele-MacInnis, M., 2014. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. In: H.D. Holland and K.K. Turekian, (Editors), *Treatise on Geochemistry*, Elsevier, Oxford, 13: 119–142. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01105-0>
- Fournier, R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Economic Geology*, 94(8): 1193–1212. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.94.8.1193>
- Fulignati, P., Mulas, M., Villalta Echeverria, M.D.P., Fornasaro, S., Larreta, E., Mendoza Arteaga, P.L., Menoscal Menoscal, M.A., Romero-Crespo, P. and Gioncada, A., 2023. The propylitic alteration in the Ponce Enriquez Gold Mining district, Azuay province, Ecuador: genetic constraints from a mineral chemistry and fluid inclusions study. *Frontiers in Earth Science*, 11: 1255712. <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1255712>
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. and Gonzalez-Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. In: S.G. Hagemann and P.E. Brown (Editors), *Gold in 2000. Reviews in Economic Geology*, V. 13. Society of Economic Geologists, pp. 245–277. <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Haidarian Shahri, M.R. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu ± Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 92(3): 1139–1156. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.13596>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R. and Farmer, L., 2012. Petrogenesis of Granitoids, U–Pb zircon geochronology, Sr–Nd isotopic characteristic and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, Eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1–27. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13391>
- 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>
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D. and Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114: 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>
- Van den Kerkhof, A.M. and Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1–4): 27–47. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2)
- Richards, J.P., 2015. Tectonic, magmatic, and metallogenic evolution of the Tethyan orogen: From subduction to collision. *Ore Geology Reviews*, 70: 323–345. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2014.11.009>
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. In: P.E. Ribbe (Editor), *Reviews in Mineralogy 12*. Mineralogy Society of America, Washington, D.C., 644 pp. <http://www.minsocam.org/msa/rim/rim12.html>
- Rottier, B., Kouzmanov, K., Casanova, V., Bouvier, A.-S., Baumgartner, L.P., Wälle, M. and Fontboté,

- L., 2021. Tracking fluid mixing in epithermal deposits – Insights from in-situ $\delta^{18}\text{O}$ and trace element composition of hydrothermal quartz from the giant Cerro de Pasco polymetallic deposit, Peru. *Chemical Geology*, 576: 120277. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120277>
- Shafaii Moghadam, H., Li, X.-H., Ling, X.-X., Santos, J.F., Stern, R.J., Li, Q.L. and Ghorbani, G., 2015. Eocene Kashmar granitoids (NE Iran): Petrogenetic constraints from U–Pb zircon geochronology and isotope geochemistry. *Lithos*, 216–217, 118–135. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2014.12.012>
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies*. Blackie, Glasgow and London, 239 pp. Retrieved August 12, 2026 from https://books.google.com/books/about/A_Practical_Guide_to_Fluid_Inclusion_Stu.html?id=CVSGAAAAIAAJ
- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1): 3–41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003. 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*, V. 10. Society of Economic Geologists Special Publication, pp. 315–343. <https://doi.org/10.5382/SP.10.16>
- Simmons, S.F., White, N.C., and John, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: J.W. Hedenquist, J.F.H. Thompson, R.J. Goldfarb and J.P. Richards (Editors), *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, pp. 485–522. <https://doi.org/10.5382/AV100.16>
- Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P. and Bodnar, R.J., 2012. HOKIEFLINCS-H₂O-NACL: a Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl. *Computers & Geosciences*, 49: 334–337. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022>
- Wang, L., Qin, K.-Z., Song, G.-X. and Li, G.-M., 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107: 434–456. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>
- White, N.C. and Hedenquist, J.W., 1995. Epithermal gold deposits: Styles, characteristics and exploration. *SEG Newsletters*, (23): 1–13. <https://doi.org/10.5382/SEGnews.1995-23.fea>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Yasami, N., Mousavi Motlagh, S.H. and Ghaderi, M., 2025. Stable isotope, fluid inclusion, and petrological-mineralogical features of epithermal deposits in the structural zones of Iran: A review. *Ore Geology Reviews*, 186: 106851. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2025.106851>