



Genesis of Eocene volcanic-hosted copper deposits in the Kuh-e-Jarou Mining District (South Eshtehard): Constraints from geology, mineralization and fluid inclusions

Ebrahim Tale Fazel^{1*} , Mohammad Moradi², Sara Najafi Rashed³

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

² M.Sc., Faculty of Geoscience, Isfahan University, Isfahan, Iran

³ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 20 August 2020
Revised: 29 June 2021
Accepted: 29 August 2021

Keywords

Cu mineralization
Manto-type
Fluid inclusions
Kuh-e-Jarou
Eshtehard

*Corresponding author

Ebrahim Tale Fazel
 tale.fazel@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Saveh-Kashan-Qom copper belt, in the northern part of the Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc (UDMA) consists of two of the oldest (gold and copper) zones in Iran (Samani, 1998; Rajabpour et al., 2017) where Upper Eocene-Oligocene Mard Abad-Bouin Zahra volcanic suite is situated. This volcanic suite hosts several copper deposits including Jarou, Gomosh Dasht, Ghezel Cheshme, Bidestan and Afshar Abad that are known as the "Kuh-e-Jarou Mining District". The Kuh-e-Jarou Mining District has a total potential ore reserve of 2 Mt Cu with an average grade of 3 wt.% (Zar-Azin Gostar Consultant Engineering Co., 2009). Upper Eocene volcanic and pyroclastic rocks of rhyodacite, trachyandesite, andesite, and trachytic tuff with high-K calc-alkaline to shoshonitic affinity consist of the main host rocks for Cu mineralization. These units are primarily intruded by post Eocene intrusive bodies. The geochemistry and genesis of ore bodies have not been fully understood since most previous studies in this area have been focused on petrology of volcanic and intrusive rocks. Moreover, the main purpose of this study is to investigate mineralization style, geometry, and textural-structural features of orebodies, alterations, and fluid inclusions with implication for genesis of Jarou, Gomosh Dasht, Ghezel Cheshme, Bidestan and Afshar Abad copper deposits. In addition, this research provides more insight into understanding geology and mineralization conditions in the study area with an implication for future exploration.

How to cite this article

Tale Fazel, E., Moradi, M. and Najafi Rashed, S., 2022. Genesis of Eocene volcanic-hosted copper deposits in the Kuh-e-Jarou Mining District (South Eshtehard): Constraints from geology, mineralization and fluid inclusions. *Journal of Economic Geology*, 14(1): 67–108. (in Persian with English abstract) <https://dx.doi.org/10.22067/econg.2021.52100.88283>



©2022 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.

Materials and methods

Seventeen thin polished sections from the ores and the host rocks were prepared and they were studied by a transmitted/reflected polarizing microscope in the Iran Mineral Processing Research Center (Karaj, Iran). Five rock powdered samples were also analyzed using X-ray diffraction (XRD) spectrometry (X'pert Philips) in order to identify the mineralogy of clay minerals in the mineralogy laboratory of Salamanca University (Spain). Fluid inclusion microthermometry was performed using a Linkam THMS600 heating-freezing stage (-190 to +600 °C) mounted on a ZEISS Axioplan2 microscope in the fluid inclusion laboratory of the Iranian Mineral Processing Research Center (Karaj, Iran). Salinities (wt.% NaCl eq.), density (g/cm^3) and pressure (bars) were calculated using the FLINCOR v.1.4 (Brown, 1989) and FLUIDS (Bakker, 2012).

Results and discussion

The orebody is controlled by a series of feather-like ruptures and faults and its dominant mineral compositions are chalcopyrite and chalcocite with minor amounts of pyrite, galena, bornite and sphalerite. The gangue minerals are quartz, barite, calcite and chlorite. Four types of hydrothermal alterations including chloritization, sulfidization, silicification and epidotization were recognized. Based on field and

petrographic studies, three mineralization stages were distinguished including (1) the pre-ore mineralization stage characterized by fine-grained disseminated pyrites, (2) the main hydrothermal stage consisting of three substages: I) an early quartz-chalcopyrite \pm bornite vein, II) middle bornite-chalcocite \pm covellite breccia ore, III) late galena and sphalerite inclusions, and (3) late-stage barite and calcite veins.

Based on petrographic studies, five types of aqueous fluid inclusions have been distinguished in the quartz-chalcopyrite \pm bornite and barite veins including two-phase liquid-rich (LV), two-phase vapor-rich (VL), liquid monophasic (L), vapor monophasic (V) and minor halite-bearing liquid-rich fluid inclusions (LVS). The results show that parental fluids with a density of $>1 \text{ g/cm}^3$ and an approximate depth of 400 meters were formed and they were followed by fluid inclusions with a density of $<1 \text{ g/cm}^3$ and a depth of <300 meters due to fluid depressurization, faults. Moreover, introducing low temperature meteoric waters have caused fluid mixing and subsequently copper ore deposition (Henley et al., 2015; Cheng et al., 2019). Considering all geological mineralization styles, textures and structures of the orebody, types of alteration and fluid inclusions in copper deposits of the Kuh-e-Jarou Mining District, it can be suggested that these deposits have similarities with the Manto-type copper deposits in Chile or volcanic red beds in northern America.



تعیین نوع ذخایر مس با سنگ میزبان آتشفشانی در ناحیه معدنی کوه جارو (جنوب اشتهارد) بر اساس شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی و میان‌بارهای سیال

ابراهیم طالع فاضل^{۱*}، محمد مرادی^۲، سارا نجفی راشد^۳

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

^۲ کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

^۳ دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده	اطلاعات مقاله
<p>ناحیه معدنی کوه جارو (ذخیره احتمالی ۲ میلیون تن و عیار متوسط ۳ درصد مس) با راستای شرقی-غربی در دنباله آتشفشانی مردآباد-بویین‌زهر با سن ائوسن بالایی-الیگوسن، قرار دارد. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی با جنس ریوداسیت، تراکی آندزیت، آندزیت و توف تراکیتی، مهم‌ترین میزبان‌های ماده معدنی هستند. کانه‌زایی در سه مرحله شامل: (۱) پیش از کانه‌زایی با حضور پیریت‌های دانه‌ریز افشان، (۲) کانه‌زایی گرمایی اصلی شامل گامه‌های کانه‌زایی رگه‌ای کوارتز-کالکوپیریت±بورنیت (گامه I)، کانه‌زایی برشی بورنیت-کالکوسیت (گامه II) و کانه‌زایی افشان گالن و اسفالریت (گامه III) و (۳) رگه‌های باریت و کلسیت تأخیری رخ داده است. طبق شواهد پتروگرافی، میان‌بارهای سیال در کانسارهای مس کوه جارو شامل دوفازی غنی از مایع (LV)، دوفازی غنی از گاز (VL)، دارای فاز جامد هالیت (LVS) و تک‌فازی‌های مایع (L) و گاز (V)، هستند. تغییرات دمای همگن شدن در این میان‌بارها بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای شوری بین ۲ تا ۳۷ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمده است. میان‌بارهای سیال والد با چگالی بیش از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و عمق تقریبی ۴۰۰ متر تشکیل شدند که پس از آن، میان‌بارهایی با چگالی کمتر از ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و عمق کمتر از ۳۰۰ متر در اثر کاهش فشار ناشی از گسلش و ورود آب‌های جوی کم‌دما، باعث وقوع فرایند اختلاط سیال و رخداد کانسنگ مس در سنگ‌های آتشفشانی منطقه شده‌اند. در مجموع کانسارهای مس کوه جارو قابل مقایسه با ذخایر مس نوع مانتو در شیلی یا مس طبقات سرخ آتشفشانی در شمال امریکا هستند.</p>	<p>تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۷</p> <p>واژه‌های کلیدی کانه‌زایی مس نوع مانتو میان‌بارهای سیال کوه جارو اشتهارد</p> <p>نویسنده مسئول ابراهیم طالع فاضل tale.fazel@gmail.com ✉</p>

استناد به این مقاله

طالع فاضل، ابراهیم؛ مرادی، محمد و نجفی راشد، سارا، ۱۴۰۱. تعیین نوع ذخایر مس با سنگ میزبان آتشفشانی در ناحیه معدنی کوه جارو (جنوب اشتهارد) بر اساس شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی و میان‌بارهای سیال. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۴(۱):۶۷-۱۰۸. <https://dx.doi.org/10.22067/econg.2021.52100.88283>

مقدمه

کانسارهای مس ایران نخستین بار به صورت تخصصی توسط بازین و هونبر (Bazin and Hubner, 1969)، مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن به صورت یک گزارش داخلی در سازمان زمین شناسی ایران منتشر شده است. بر اساس این گزارش، به طور کلی حدود ۲۱۴ اندیس و کانسار مس در ایران معرفی شده است که بخش عمده‌ای از آنها در ۷ ایالت فلزایی مس شامل: (۱) کمرند آتشفشانی اهر- ارسباران (Jamali et al., 2009; Asgharzadehasl et al., 2017)، (۲) کمرند ماگمایی طارم- هشتجین (Mehrabi et al., 2014; Mehrabi et al., 2016; Kouhestani et al., 2018; Kouhestani et al., 2019)، (۳) کمرند مس ساوه- کاشان- قم (Rajabpour et al., 2017; Mohammadiasl et al., 2019)، (۴) کمپلکس فلزایی ناین- انارک (Technoexport, 1981; Tale Fazel et al., 2015)، (۵) کمرند دهج- ساردوئیه یا کمرند مس کرمان (Shafiei et al., 2009; Zarasvandi et al., 2015)، (۶) کمرند ماگمایی ترود- سبزواری (Rezaeihamid et al., 2019; Tale Fazel et al., 2019) و (۷) مجموعه ماگمایی شرق ایران (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2015; Javidi Moghaddam et al., 2019)، تمرکز دارند (شکل ۱).

کمرند مس ساوه- کاشان- قم، بخشی از گستره ایران مرکزی و کمان ماگمایی ارومیه- دختر است که از قدیم به عنوان یک پهنه کانه‌دار طلا و مس شناخته شده است (Samani, 2001; Rajabpour et al., 2017). دنباله آتشفشانی مردآباد- بوین زهرا به سن ائوسن بالایی- الیگوسن در شمال این محدوده قرار دارد. این دنباله آتشفشانی که در جنوب غربی استان البرز و جنوب شهرستان اشتهارد قرار دارد، میزبان اندیس‌ها و معادن متروکه فلزی و غیرفلزی متعددی نظیر کانسارهای مس جارو، گوموش داش، قزل چشمه، بیدستان و افشارآباد، اندیس معدنی مس بوجعفر، یک لنگ، گیلان دره و اندیس باریت چشمه شاهدوست است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994). محدوده کانه‌زایی مورد بررسی که در این پژوهش با عنوان "ناحیه معدنی کوه جارو" بررسی می‌شود، با وسعت تقریبی ۳۵ کیلومتر

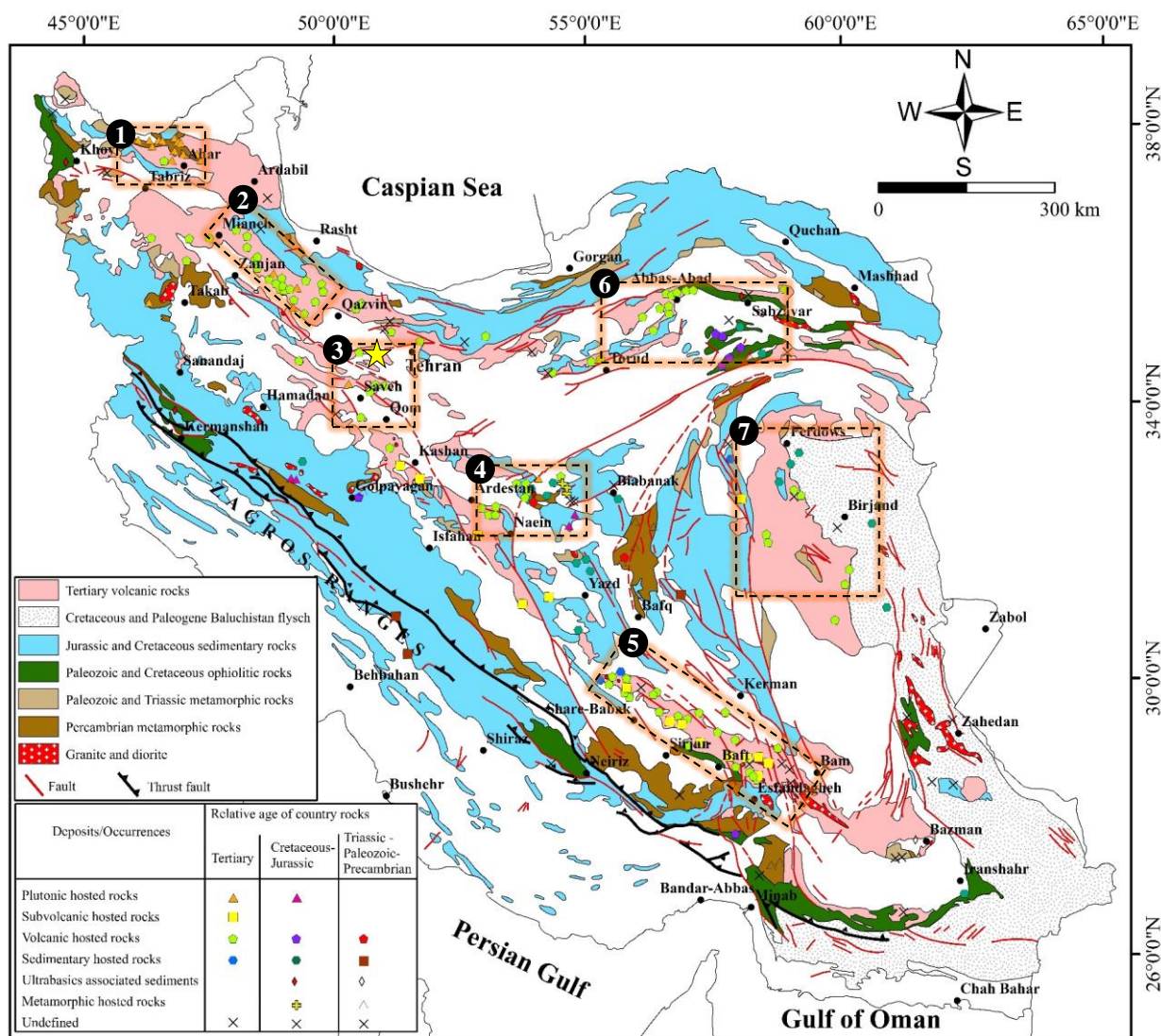
مربع، در مختصات $50^{\circ}33'$ طول شرقی و $35^{\circ}41'$ عرض شمالی، واقع شده است. کانسارهای مس جارو و گوموش داش، قدیمی ترین معادن این ناحیه هستند که از ۵۰ سال گذشته به صورت تونل و دستک‌های کم عمق مورد استخراج قرار گرفته و در حال حاضر به صورت معادن متروکه غیرفعال هستند. بر اساس عملیات اکتشافی انجام شده در مرحله اکتشاف عمومی و نیمه تفصیلی توسط شرکت‌های مهندسی مشاور کانساران (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994) و زرآزین گستر (Zar-Azin Gostar Consultant Engineering Co., 2009)، در منطقه کوه جارو، ذخیره احتمالی ۲ میلیون تن مس با عیار متوسط ۳ درصد، برآورد شده است. اغلب بررسی‌های انجام شده در این ناحیه، نظیر طوطی (Tooti, 1991) و رهگذر (Rahgozar, 1999) از دیدگاه پترولوژی بوده و بررسی‌های زمین شناسی اقتصادی جامعی انجام نشده است؛ لذا هدف از این پژوهش بررسی کانه‌زایی، ژئومتری و بافت و ساخت ماده معدنی، کانی شناسی و دگرسانی، میان بارهای سیال و منشأ کانسارهای مس جارو، گوموش داش، قزل چشمه، بیدستان و افشارآباد است. انجام این پژوهش علاوه بر جنبه‌های علمی، نقشی مهم در افزایش شناخت صحیح از شرایط زمین شناسی، کانه‌زایی و اکتشافات موفقیت آمیز کانسارهای فلزی و غیرفلزی در این منطقه خواهد داشت.

دنباله آتشفشانی مردآباد- بوین زهرا

کمان ماگمایی ارومیه- دختر با درازای تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و پهنای ۱۰۰ کیلومتر، دارای سازوکار مشابه با ماگماتیسم ناحیه آند است که در نتیجه فروانش پوسته اقیانوسی نتوتیس به زیر خرده قاره ایران مرکزی در سنوزوئیک ایجاد شده است (Berberian et al., 1982; Şengör, 2008; Alavi, 1994; Omrani et al., 1987). این کمرند ماگمایی به دو بخش شمالی و جنوبی قابل تفکیک است که ماگماتیسم آتشفشانی مس پورفیری کرمان با سرشت کالک آلکانل و سن الیگوسن- میوسن در بخش جنوبی آن قرار دارد (Asadi et al., 2014; Aghazadeh et al., 2015; Rabiee et al., 2019; Aliyari et al., 2019). طبق این بررسی‌ها، بخش شمالی از دو کمرند ماگماتیسم شامل:

کالک آلکان تا آداکیتی و سن الیگوسن - میوسن (به سمت سندج - سیرجان)، تشکیل شده است.

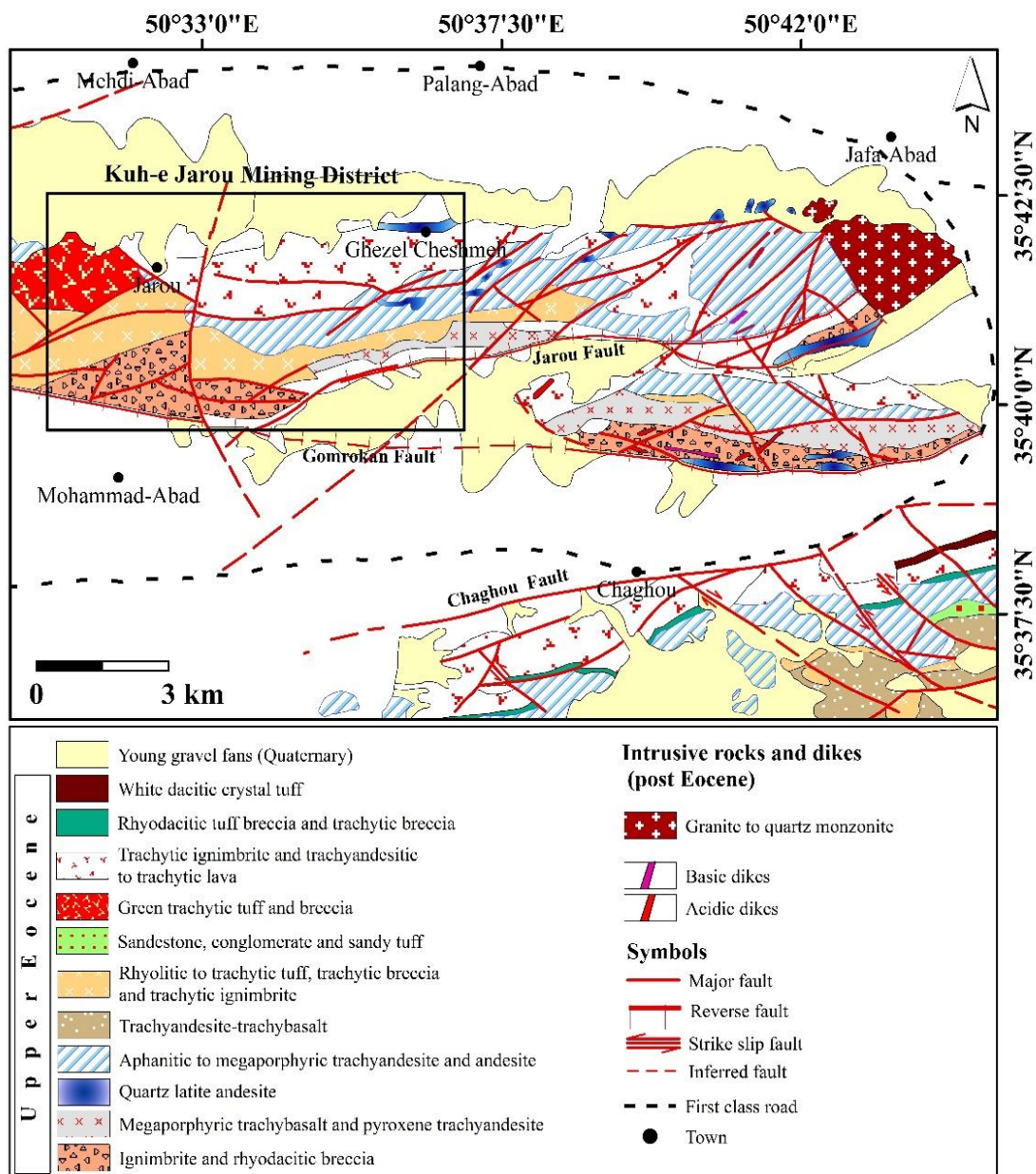
(۱) ماگماتیسم آتشفشانی - نفوذی بستان آباد - انارک با سرشت کالک آلکان تا شوشونیتی و سن ائوسن - الیگوسن (به سمت ایران مرکزی) و (۲) ماگماتیسم آتشفشانی - نفوذی ارومیه - ناین با سرشت



شکل ۱. نقشه ساختاری ایران که موقعیت ۷ ایالت فلززایی مس را نشان می دهد (با تغییرات از بازین و هویر (Bazin and Hubner, 1969))، شامل: (۱) کمربند آتشفشانی اهر - ارسباران، (۲) کمربند ماگمایی طارم - هشتجین، (۳) کمربند مس ساوه - کاشان - قم، (۴) کمپلکس فلززایی ناین - انارک، (۵) کمربند دهج - ساردوئیه یا کمربند مس کرمان، (۶) کمربند ماگمایی تروند - سبزوار و (۷) مجموعه ماگمایی شرق ایران. موقعیت ناحیه معدنی کوه جارو در شکل با علامت ستاره زرد رنگ نشان داده شده است.

Fig. 1. Tectonic map of Iran showing the location of the seven copper metallogenetic province (modified after Bazin and Hubner, 1969) includes: (1) Ahar-Arasbaran volcanic belt, (2) Tarom-Hashtjin magmatic belt, (3) Saveh-Kashan-Qom copper belt, (4) Naein-Anarak metallogenetic complex, (5) Dehaj-Sarduieh belt or Kerman copper belt, (6) Torud-Sabzevar magmatic belt, (7) East Iranian magmatic belt. Situation of the Kuh-e Jarou Mining District is shown by yellow star.

دنبله آتشفشانی مردآباد- بوبین زهرا که ناحیه معدنی کوه جارو در آن واقع شده است، با راستای شرقی- غربی در بخش شمالی کمان ماگمایی ارومیه- دختر قرار داشته و متعلق به ماگماتیسزم آتشفشانی- نفوذی بستان آباد- انارک است (شکل ۲).



شکل ۲. دنبله آتشفشانی مردآباد- بوبین زهرا و موقعیت چهار گوش ناحیه معدنی کوه جارو در آن (با تغییرات از مهدی زاده تهرانی (Mahdizade Tehrani, 1995))

Fig. 2. The Mard Abad-Bouin Zahra magmatic suite and quadrangle position of the Kuh-e Jarou Mining District (modified after Mahdizade Tehrani, 1995)

(مجموعه آندزیت و لاتیت)، ۲) گدازه‌های آتشفشانی (گدازه‌های ریولیتی و آندزیتی) و ۳) سنگ‌های آذرآواری (مجموعه توف و ایگنمریت)، هستند (شکل ۳).

الف) سنگ‌های آتشفشانی نیمه عمیق

این مجموعه، بخش عمده‌ای از ناحیه کوه جارو را پوشش می‌دهند و ترکیب آن از پیروکسن - آمفیبول آندزیت، بازالت آندزیت تا آندزیت پورفیری تغییر می‌کند.

آندزیت (واحدهای سنگی E^{pa} و E^a): شامل ردیفی از سنگ‌های آندزیتی با بافت پورفیری و دانه ریز هستند که در سطح هوازه اغلب به رنگ قرمز متمایل به خاکستری دیده می‌شوند. سنگ‌های دانه ریز بدون لایه بندی واضحی بوده و اغلب در اثر عوامل هوازدگی و شدت درزه‌ها خرد شده هستند. این واحد حاوی درشت بلورهایی از پلاژیوکلاز است که در خمیره میکروولیتی تا جریان‌ی قرار گرفته‌اند. همچنین، بافت‌های حفره دار و بادامکی در این واحد مشاهده می‌شود که این حفره‌ها به شکل گرد و بیضوی بوده و اغلب توسط کلسیت‌های ثانویه پر شده‌اند. ضخامتی بیش از ۱۰۰ متر از واحد پیروکسن - آمفیبول آندزیت در جنوب غرب نقشه ناحیه کوه جارو برون زد دارد (شکل ۳). واحدهای آندزیت E^{pa} و E^a به عنوان سنگ میزبان اصلی کانسارهای مس جارو، قزل چشمه و بیدستان هستند.

لاتیت و کوارتز لاتیت (واحدهای سنگی E^{al} ، E^{pr} ، E^{lp} و E^{la}): این سنگ‌ها که اسکلت اصلی کوه جارو را تشکیل می‌دهند (شکل ۴-A) و (شکل ۵-A)، از نظر ترکیب کانی شناسی و سنگ نگاری، کوارتز لاتیت هستند؛ اما در بررسی‌هایی که بیشتر در این منطقه و نواحی مجاور انجام شده است، از آنها به نام تراکیت یا تراکی آندزیت نام برده‌اند (Tooti, 1991). این سنگ‌ها که در سطح هوازه معمولاً قرمز تیره تا صورتی و گاه خاکستری هستند، در مواردی به صورت گدازه و به طور ناچیز به شکل سیل و دایک ظاهر می‌شوند که نازک تا متوسط لایه بوده و همواره با میان لایه‌هایی از توف و ایگنمریت همراه هستند. این سنگ‌ها دارای بافت مگاپورفیری متشکل از درشت بلورهای پلاژیوکلاز و در مواردی ساخت منطقه‌ای هستند.

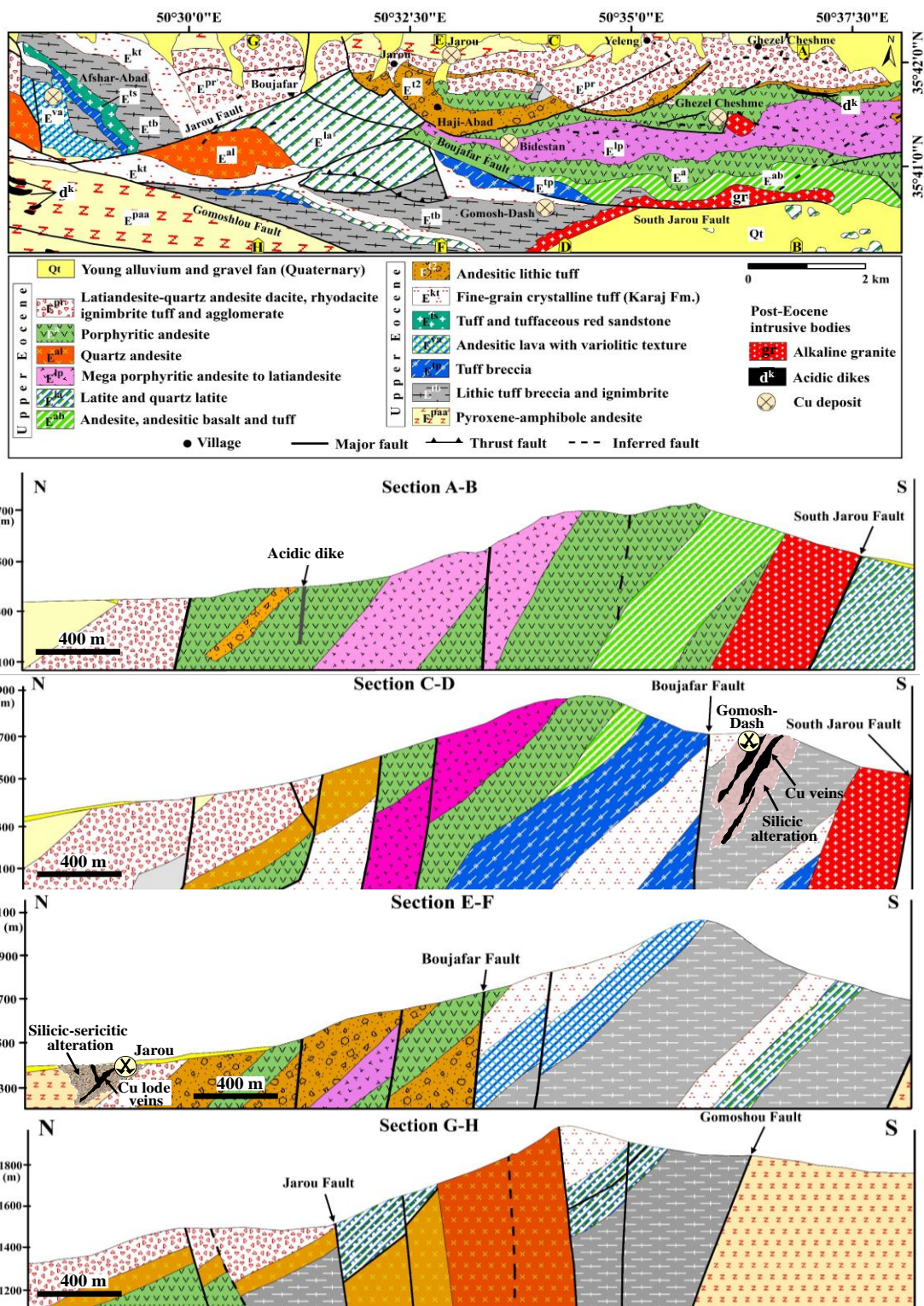
از دیدگاه زمین شناسی، این محدوده در چهار گوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه (Nogole-Sadat and Hushmandzadeh, 1984) و ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج (Mahdizade Tehrani, 1995)، قرار می‌گیرد. بر اساس این نقشه‌ها، مهم ترین واحدهای سنگی منطقه متشکل از سنگ‌های آتشفشانی - آذرآواری، آتشفشانی - رسوبی و آتشفشانی نیمه عمیق با ترکیب اسیدی تا مافیک به سن ائوسن بالایی هستند. این واحدها، توسط توده‌های نفوذی آلکالی گرانیت و کوارتز مونزونیت پس از ائوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های آذرین خروجی به طور کلی از واحدهای ریوداسیت، تراکی آندزیت، آندزیت، توف تراکیتی، توف داسیتی و ایگنمریت، تشکیل شده‌اند. دایک‌های اسیدی و مافیک به طور متعدد واحدهای سنگی آتشفشانی، آذرآواری و نفوذی منطقه را قطع کرده‌اند که به عنوان آخرین فعالیت‌های ماگمایی دنباله آتشفشانی مردآباد - بوین زهرا محسوب می‌شوند. طبق شواهد صحرایی و نقشه‌های زمین شناسی عمومی، دو دسته گسل معکوس به نام‌های گسل جارو و گسل گمرکان با راستای شرقی - غربی در منطقه وجود دارد (شکل ۲). عملکرد این گسل‌ها باعث راندگی واحدهای سنگی جنوب منطقه بر روی واحدهای شمالی شده که به موازات آن گسل‌ها و درزه‌های امتداد لغز متعددی با راستای 30-45NE و شیب به سمت شمال غرب در منطقه شکل گرفته است (شکل ۲).

سنگ شناسی ناحیه معدنی کوه جارو

بر مبنای بررسی‌های صحرایی و نقشه زمین شناسی - معدنی جنوب شرق اشتهارد (منطقه کوه جارو)، دو دسته واحد سنگی اصلی شامل واحدهای آتشفشانی نیمه عمیق و خروجی (به سن ائوسن بالایی)، توده‌های نفوذی و دایک‌های پس از ائوسن، در منطقه رخنمون دارند که نهشته‌های آبرفتی کواترنری بخش‌هایی از این واحدها را پوشانده است (شکل ۳).

سنگ‌های آتشفشانی نیمه عمیق و خروجی

واحدهای سنگی آتشفشانی نیمه عمیق و خروجی فراوان ترین واحدها در ناحیه کوه جارو هستند که بیش از ۷۰ درصد منطقه را پوشش داده‌اند. این واحدها شامل: ۱) سنگ‌های آتشفشانی نیمه عمیق



شکل ۳. نقشه زمین شناسی ساده شده ناحیه معدنی کوه جارو (با تغییرات از شرکت مهندسی مشاور کانساران (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994))

Fig. 3. Simplified geologic map of the Kuh-e Jarou Mining District (modified after Kansaran Consultant Engineering Co., 1994)

ب) گدازه‌های آتشفشانی و توف

این واحد سنگی از تغییرات ترکیب شیمیایی زیادی برخوردار است؛ به طوری که از گدازه‌های آتشفشانی ریولیتی و آندزیتی تا توف‌های قطعه سنگی و توف‌های بلورین تغییر رخساره می‌دهند (شکل ۴-B و C و شکل ۵-B). واحد سنگی E^{va} به صورت گدازه آندزیت بالشی و ساخت واریولیتی (دسته‌های شعاعی گندمی شکل) با ضخامت تقریبی ۵۰ متر در جنوب روستای افشارآباد رخنمون دارد.

گدازه‌های آندزیتی و آندزیت بازالتی واحد سنگی E^{ab} نیز با طول تقریبی ۵ کیلومتر و ضخامت کمتر از ۲۰ متر در شمال شرق کانسار گوموش داش برونزد دارند. از ویژگی‌های ظاهری این سنگ‌ها، رنگ قهوه‌ای متمایل به سیاه در بخش‌های گدازه‌ای است. همچنین واحد داسیت و ریوداسیت (واحد E^d) به صورت برونزدهای محدود و میان‌لایه‌ای همراه با ایگنمبریت و توف برش‌های واحد E^{pf} در شمال کوه جارو برونزد دارند که به دلیل ضخامت ناچیز در نقشه قابل مشاهده نیست.

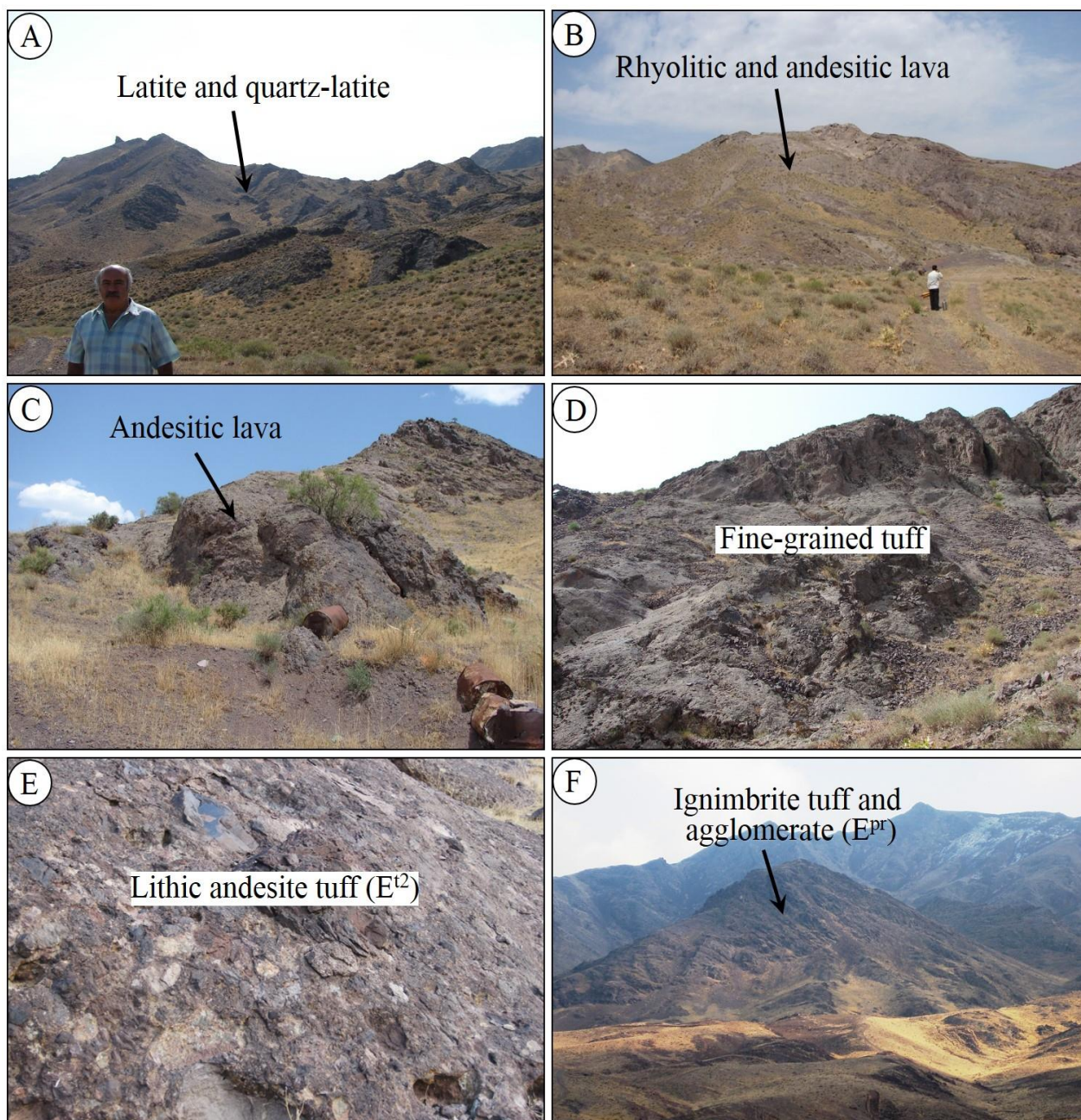
سنگ‌های آذرآواری

این مجموعه دارای انواع مختلفی است که شامل، توف برشی خرده‌سنگی (E^{tb}) با ترکیب اسیدی و ضخامت ۳۵۰ متر، توف دانه‌ریز سبز رنگ (E^{kt}) با لایه‌بندی متوسط تا نازک لایه و ضخامت ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر که اغلب از نوع توف شیشه‌ای، بلورین و کمتر از توف‌های جریان‌ی (ایگنمبریتی و لایلی توف‌های جریان‌ی)، تشکیل شده است (شکل ۴-D و شکل ۵-C). توف‌های برشی اسیدی (E^{tp}) که با ضخامت ۵۰ تا ۷۰ متر بر روی توف‌های قطعه سنگی اسیدی واحد E^{tb} قرار گرفته است، متشکل از توف و گدازه‌های دگرسان شده به رنگ آبی متمایل به سبز کم‌رنگ تا سفید است. توف آندزیتی خرده‌سنگی (E^{l2}) با ضخامت ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر به صورت باریکه‌ای در جنوب غربی روستای یلنگ تا جنوب روستای جارو ادامه دارد که قسمت عمده این واحد را توف قطعه سنگی تا بلورین تشکیل می‌دهد (شکل ۴-E). قطعات سنگی اغلب زاویه‌دار بوده و ترکیب آندزیتی دارند و زمینه این سنگ‌ها دانه‌ریز تا مخفی بلور است که گاه حاوی شیشه نیز هست. این سنگ‌ها در سطح هوازده به رنگ صورتی

متمایل به بنفش کم‌رنگ هستند. توف و توفیت (E^{ts}) شامل مجموعه‌ای از واحدهای آتشفشانی-تخریبی با ترکیب توف دانه‌ریز، توف خرده‌سنگی، ماسه‌سنگ و شیل‌های توفی هستند که در جنوب و جنوب غرب روستای افشارآباد، ضخامتی در حدود ۵۰ تا ۷۰ متر دارند. رنگ آنها در سطح هوازده، قرمز تیره تا متمایل به قهوه‌ای است. توف و آگلومرا ایگنمبریت (E^{pf}) در ابتدا شامل طبقاتی از توف برش و آگلومرا است که خمیره آن از نظر ترکیب شیمیایی در حد داسیت است (شکل ۵-D). در سطح رخنمون‌ها، رنگ هوازده این سنگ‌ها معمولاً خاکستری تا کرم روشن است. در یال شمالی کوه جارو این واحد آذرآواری قابل مشاهده است (شکل ۴-F).

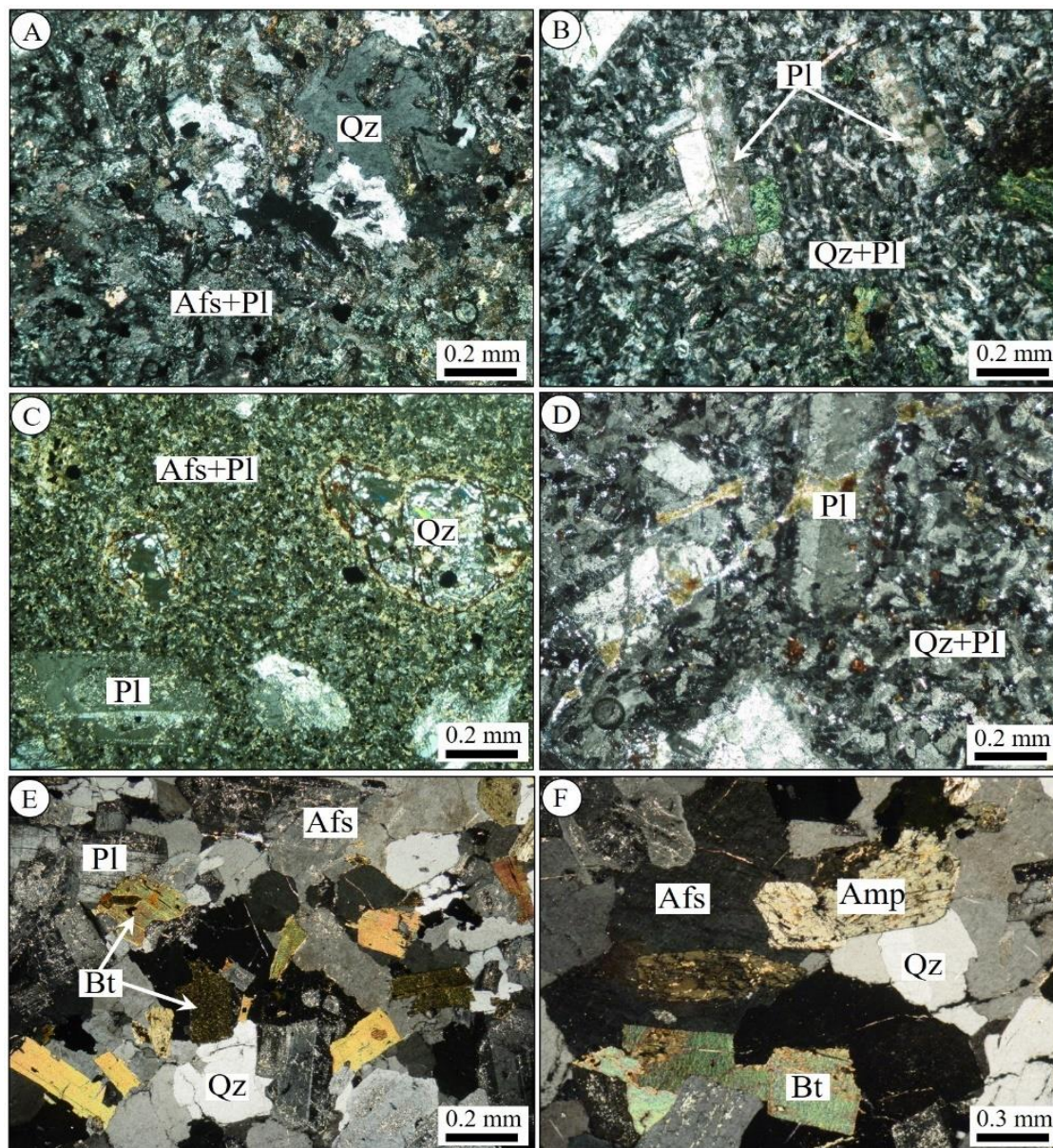
توده‌های نفوذی

در محدوده کوه جارو توده‌های نفوذی متعلق به پس از ائوسن (ائوسن بالایی یا الیگومیوسن؟) هستند که اغلب به شکل سیل، استوک و دایک‌های اسیدی مشاهده می‌شوند (Hosseini, 1996). توده نفوذی آلکالی گرانیت یال جنوبی کوه جارو موسوم به سینوگرانیت گوموش داش (gt) به طول تقریبی ۵ کیلومتر و حداکثر پهنای ۴۰۰ متر در حد فاصل غرب روستای گمرکان تا جنوب غربی کانسار گوموش داش در میان واحدهای گدازه و توف جای گرفته است (شکل ۳). این واحد سنگی از کانی‌های اصلی کوارتز، آلکالی‌فلدسپار، آمفیبول و بیوتیت با بافت گرانولار تشکیل شده است (شکل ۵-E و F). این توده نفوذی می‌تواند آپوفیزی از یک لاکولیت گرانیتی باشد که پس از فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن بالایی، سری‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن را قطع می‌کند. دایک و استوک‌های میکروگرانیت (d^k) در حدفاصل جنوب روستای قشلاق گنگ و جنوب روستای قزل چشمه در میان آندزیت‌های آمفیبول‌دار و دیگر نهشته‌ها جایگزین شده‌اند (شکل ۳). این دایک‌ها دارای ترکیب گرانیتی بوده و در سطح رخنمون‌ها به رنگ کرم لایل به صورتی تا زرد هستند. بافت آنها در نمونه‌های صحرایی اغلب پورفیری ریزبلور تا آفانیتیک بوده و گاه درشت‌بلورهای کوارتز با چشم غیر مسلح در سنگ دیده می‌شود.



شکل ۴. سنگ‌های آتشفشانی ناحیه معدنی کوه جارو. A: رخنمون واحدهای سنگی لاتیت و کوآرتزلاتیت در بخش مرکزی کوه جارو (دید به سمت شمال)، B: رخنمون گدازه‌های ریولیتی و آندزیتی (دید به سمت شمال)، C: گدازه آندزیتی در منطقه افشارآباد (دید به سمت شرق)، D: رخنمون توف‌های ریزدانه در منطقه گوموش داش (دید به سمت غرب)، E: توف آندزیت خرده‌سنگی (E^2) در منطقه جارو و F: واحد آگلومرا و توف ایگنمبریتی (E^{Pr}) در شمال ناحیه معدنی کوه جارو (دید به سمت شمال)

Fig. 4. Volcanic rocks of the Kuh-e Jarou Mining District. A: Outcrops of latite and quartz-latite units in the central part of the Kuh-e Jarou (looking to north), B: Outcrops of rhyolitic and andesitic lava (looking to north), C: Andesitic lava unit at the Afshar Abad area (looking to east), D: Outcrops of fine-grained tuff at the Gomosh Dash area (looking to west), E: Lithic andesite tuff (E^2) at the Jarou area, and F: Agglomeratic and ignimbrite tuff (E^{Pr}) at north of the Kuh-e Jarou Mining District (looking to north)



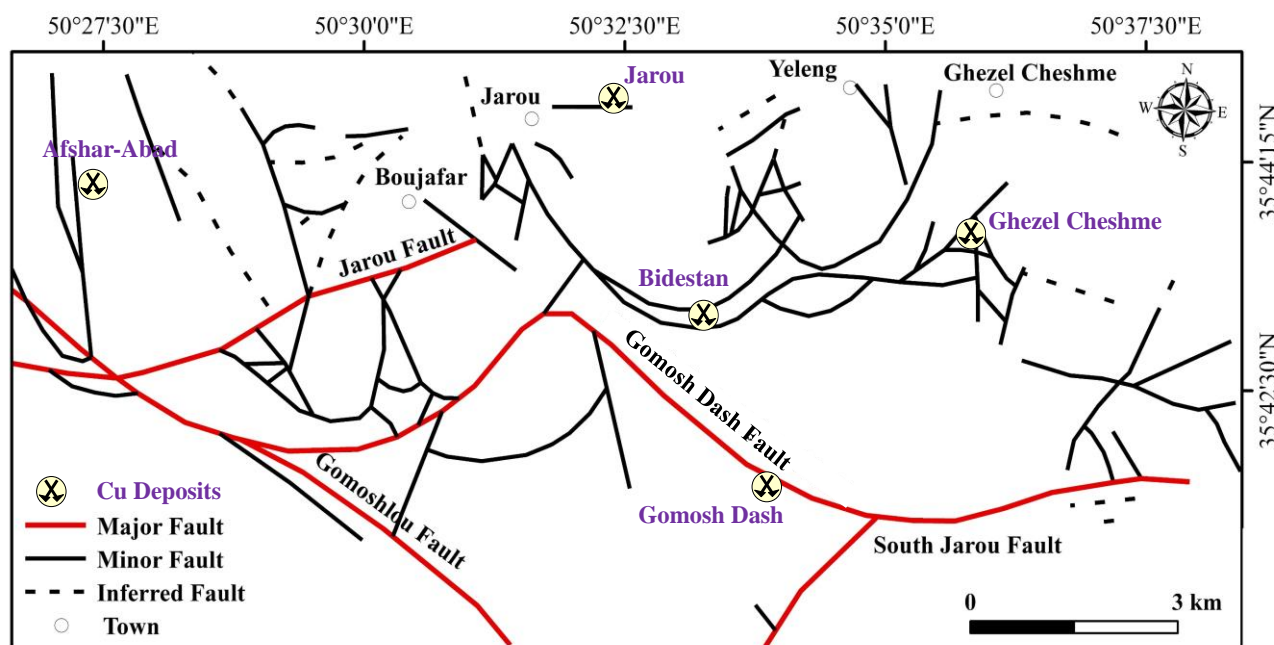
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری متقاطع، XPL) از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی ناحیه معدنی کوه جارو. A: واحد کوارتز لاتیت متشکل از بلورهای کوارتز در زمینه آلکالی فلدسپار و پلاژیو کلاز، B: درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز در خمیره کوارتز و پلاژیو کلاز در گدازه‌های ریولیتی، C: واحد توف بلورین متشکل از کوارتز، آلکالی فلدسپار و پلاژیو کلاز، D: توف داسیتی متشکل از کوارتز و پلاژیو کلاز، E و F: واحد سینوگرانیت گوموش داش متشکل از کانی‌های کوارتز، آلکالی فلدسپار، آمفیبول و بیوتیت. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Afs: آلکالی فلدسپار، Amp: آمفیبول، Bt: بیوتیت، Pl: پلاژیو کلاز، Qz: کوارتز).

Fig. 5. Photomicrographs (transmitted cross polarized light, XPL) of volcanic rocks in the Kuh-e Jarou Mining District. A: Quartz latite unit composed of quartz set in plagioclase and alkali feldspar groundmass, B: Coarse-grained plagioclase within quartz and plagioclase matrix related to rhyolitic lava unit, C: Crystalline tuff composed of quartz, alkali feldspar and plagioclase, D: Dacitic tuff composed of quartz and plagioclase, E and F: Gomosh-Dash syenogranite unit composed of quartz, alkali feldspar, amphibole and biotite. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Afs: alkali feldspar, Amp: amphibole, Bt: biotite, Pl: plagioclase, Qz: quartz)

زمین‌شناسی ساختاری ناحیه معدنی کوه جارو

ناحیه معدنی کوه جارو به عنوان بخشی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر، متأثر از تاریخچه کوه‌زایی و زمین‌ساختی بسته‌شدن اقیانوس نووتیس و شکل‌گیری کوه‌زاد زاگرس بوده و گسل‌های متعددی در آن ایجاد شده است. این ناحیه همانند یک فزازمین است که مرز شمالی و جنوبی آن به وسیله گسل‌های شرقی-غربی کنترل می‌شود. گسل جنوبی که به گسل جنوب جارو موسوم است، گسلی فشارشی با راستای خمیده شمال‌شرق-جنوب تا جنوب‌غرب و درازای ۳۳ کیلومتر، پهلوئی جنوبی کوه جارو را قطع کرده و شیب آن به سوی شمال است (شکل ۶). در اثر عملکرد این گسل، سنگ‌های ائوسن بالایی بر روی آبرفت‌های کواترنری رانده شده‌اند. از گسل جنوب جارو، دو گسل دیگر به نام گسل گوموش‌داش و گسل قمشلو منشعب شده است (شکل ۶). گسل گوموش‌داش گسلی معکوس با شیب به سوی شمال‌شرقی است که در فاصله دو کیلومتری روستای جارو تغییر جهت داده و با روندی در جهت N50E به سوی غرب ادامه یافته و پیش از رسیدن به گسل قمشلو، روندی شرقی-غربی

دارد. کانه‌زایی مس گوموش‌داش در ارتباط مستقیم با عملکرد این گسل بوده و تونل‌های استخراجی قدیمی در این کانسار در راستای همین گسل‌ها حفر شده است. گسل قمشلو با راستای N120-110E درجه از گسل جنوب جارو جدا شده و از میانه مرز جنوبی ناحیه با همین روند تا مسافتی حدود ۴ کیلومتر ادامه داشته و از آنجا با کمی انحراف به سوی شمال با روند تقریبی N130E از حوالی روستای قشلاق گنگ می‌گذرد. عملکرد این گسله نیز فشارشی بوده و شیب آن به سوی شمال‌شرقی است. گسل جارو از جنوب روستای جارو به سوی جنوب‌غربی تا مسافتی در حدود ۷ کیلومتر با روند تقریبی N70-80E ادامه یافته، سپس با کمی تغییر جهت ابتدا روند شرقی-غربی و سپس با روند تقریبی N100-110E به سوی غرب، شمال‌غرب تا محلی به نام چشمه شاهدوست ادامه یافته است و از آنجا دوباره با روند N70E از مرز غربی محدوده خارج می‌شود. کانه‌زایی پر عیار رگه‌ای (lode-type) مس در کانسار جارو با راستای تقریبی ۱۱۰ درجه و شیب نزدیک به قائم در انشعاب‌های فرعی گسل جارو تشکیل شده است.



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی ساختاری ناحیه معدنی کوه جارو و نمایش کانسارهای مس مختلف در آن (با تغییرات از حسینی (Hosseini, 1996))

Fig. 6. Structural geologic map of the Kuh-e Jarou Mining District and location of various copper deposit (modified after Hosseini, 1996)

±۰/۲ درجه سانتی گراد و ±۰/۶ درجه سانتی گراد است. کالیبراسیون دستگاه در گرمایش با دقت ±۰/۶ درجه سانتی گراد توسط نترات سزیم (نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی گراد) و در مرحله سرمایش با دقت ±۰/۲ درجه سانتی گراد توسط ماده استاندارد ان-هگزان (نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی گراد)، انجام شد. در نهایت، مؤلفه‌های شوری (بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام)، چگالی (گرم بر سانتی متر مکعب) و فشار (بار) به دست آمده از بررسی‌های ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال، با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی FLINCOR (Brown, 1989) و FLUIDS (Bakker, 2012)، محاسبه شدند. طی بررسی‌های ریزدماسنجی، دمای همگن شدن نهایی (Th_v)، دمای انحلال‌هالیت (Tm_H) و دمای نهایی ذوب یخ (Tm_{ice}) در میان‌بارهای دوفازی آبگین و سه‌فازی دارای فاز جامد هالیت، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. محاسبه شوری در میان‌بارهای دوفازی آبگین بدون فاز جامد در سامانه H₂O-NaCl با دمای یوتکتیک بیشتر از ۲۱/۲- درجه سانتی گراد با استفاده از مقادیر Tm_{ice} و معادله هال و همکاران (Hall et al., 1988) شامل $Salinity = 1.78 \times Tm_{ice} - 0.0442 \times Tm_{ice}^2 + 0.000557 \times Tm_{ice}^3$ ، محاسبه شوری در میان‌بارهای سه‌فازی دارای هالیت نیز با استفاده از مقادیر Tm_{NaCl} و استفاده از نرم‌افزار SALTY (Bodnar et al., 1989)، انجام شد. ثبت دمای یوتکتیک (T_e) تنها در میان‌بارهای دوفازی غنی از مایع با ابعاد بزرگ‌تر از ۱۰ میکرون امکان‌پذیر بود.

کانه‌زایی در ناحیه معدنی کوه جارو

طبق شواهد صحرایی و بررسی‌های زمین‌شناسی اقتصادی، کانه‌زایی‌های متعدد فلزات پایه (مس، سرب و روی)، آهن و غیرفلزی (باریت و فلدسپار) در ناحیه معدنی کوه جارو وجود دارد که در این میان کانه‌زایی‌های مس به دلیل تناژ و عیار مناسب از اهمیت اقتصادی بیشتری برخوردارند (Zar-Azin Gostar Consultant Engineering Co., 2009). سنگ‌های آتشفشانی نیمه‌عمیق و خروجی ائوسن بالایی، مهم‌ترین سنگ میزبان ذخایر مس در ناحیه معدنی کوه جارو هستند که از لحاظ بافت و ساخت، ژئومتری ماده معدنی، نوع و وسعت

علاوه بر گسل‌های اصلی اشاره شده، گسل‌های فرعی متعددی نیز در منطقه وجود دارند که شیب و امتداد آنها تا حدی متأثر از گسل‌های اصلی مجاورشان بوده و اغلب کنترل‌کننده مرز واحدهای سنگی منطقه هستند. با توجه به اینکه شیب بیشتر طبقات به سوی شمال-شمال شرقی است، می‌توان تصور کرد که برون‌زدهای سنگی این منطقه متعلق به یال شمالی تاقدیسی بوده که دارای محور شرقی-غربی است. در جنوب، جنوب‌غربی محدوده، نقشه شیب واحدها تغییر کرده و تاقدیس محدودی را ایجاد کرده‌اند.

روش مطالعه

در این پژوهش، پنج کانسار شامل کانسارهای مس جارو، گوموش‌دش، قزل‌چشمه، بیدستان و افشارآباد در ناحیه معدنی کوه جارو به وسعت تقریبی ۳۵ کیلومتر مربع مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، از نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس در مقیاس‌های ۱:۱۰۰۰ (Zar-Azin Gostar Consultant Engineering Co., 2009) و ۱:۲۰۰۰۰ (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994) استفاده شده است. در مجموع، تعداد ۷۰ مقطع نازک، صیقلی و نازک-صیقلی برای انجام بررسی‌های سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری تهیه شده و توسط میکروسکوپ نوری زایس مدل Axioplan2 در بخش کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج)، مورد بررسی قرار گرفته است. برای شناسایی کانی‌های دگرسانی و به ویژه کانی‌های رسی، تعداد ۵ نمونه پودر سنگ (با ابعاد ۷۵ میکرون) توسط طیف‌سنج پراش پرتو ایکس مدل فیلیس X'pert با مدت زمان جریان الکترونی ۳۰ دقیقه، در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه سالامانکا (اسپانیا)، مورد آزمایش قرار گرفت. بررسی‌های پتروگرافی میان‌بارهای سیال با استفاده از تعداد ۱۰ مقطع دوبرصیقل از کانی‌های کوارتز و باریت (ضخامت متوسط ۱۵۰ میکرون)، توسط میکروسکوپ تحقیقاتی زایس (بررسی‌های پتروگرافی) و ریزدماسنجی گرمایش-سرمایش با استفاده از دستگاه مدل لینکام، در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (کرج)، انجام شد. گستره تغییرات دمای در این دستگاه، بین ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی گراد و دقت اندازه‌گیری طی مرحله سرمایش و گرمایش به ترتیب در حدود

دگرسانی‌های سریسیتی، اپیدوتی، کربناتی و کلریتی هستند.

کانسار گوموش داش

کانسار گوموش داش با موقعیت $50^{\circ}34'12''$ طول شرقی و $35^{\circ}40'21''$ عرض شمالی در بخش شرقی رشته کوه جارو و دامنه جنوبی آن واقع شده است (شکل ۳). واحدهای سنگی این منطقه متشکل از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت و ریولیت هستند که سینوگرانیت گوموش داش (واحد gt) به شکل سیل در راستای گسل جنوب کوه جارو نفوذ کرده است (شکل ۳). پهنه معدنی در کانسار گوموش داش با طول ۳۰۰ متر، ضخامت ۲ تا ۱۰ متر، راستای شرقی-غربی و شیب نزدیک به قائم در سنگ میزبان توف بلورین دانه‌ریز با رنگ سفید تا سبز روشن (واحد سنگی E^{kt})، رخ داده است (شکل ۷-C). بر اساس پژوهش حسینی (Hosseini, 1996)، پهنه کانه‌زایی در منطقه گوموش داش به وسیله دو گسل امتدادلغز شمالی-جنوبی و شمال شرقی-جنوب غربی به سه بخش غربی (غنی از مس)، مرکزی (مس \pm آهن) و شرقی (غنی از آهن)، تقسیم شده است. بخش غربی که محل اصلی رخنمون رگه مس است؛ دارای رگه‌ای با ضخامت متغیر ۲ تا ۸ متر و طول رخنمون ۱۲۰ متر است. میزان ذخیره ۳۲۰۰ تن کانسنگ مس با عیار ۲/۷ درصد برای کانسار گوموش داش برآورد شده است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994). بر اساس شواهد کلنه‌نگاری، کلنه‌های این کانسار شامل بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، مس آزاد، مالاکیت، آزوریت و گوتیت به همراه باطله‌های کوارتز، باریت و سریسیت است. دگرسانی سیلیسی، کانسنگ اصلی را دربر گرفته و درون زون کانی‌سازی، بلورهای کوارتز نیز دیده می‌شود. دگرسانی آرژیلیک نیز به طور ناچیز در این کانسار مشاهده شد. بخش مرکزی در حد فاصل دو گسل با راستای NNE-SSE و قرار گرفته که در آن تعداد سه ترانسه اکتشافی حفر شده و بر روی دیواره‌های آن آثار کانی‌سازی برونزاد مالاکیت و آزوریت همراه با گوتیت مشاهده می‌شود. در بخش شرقی کانسار گوموش داش اغلب کانی‌سازی آهن و به طور ناچیز ترکیبات مس دار رخ داده که مهم‌ترین کانه آن هماتیت همراه باطله کوارتز و کلریت است.

هاله‌های دگرسانی و مجموعه کانی‌شناسی درونزاد و برونزاد، دارای شباهت‌های زیادی با یکدیگر هستند. در کلیه کانسارهای مس ناحیه کوه جارو سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی مهم‌ترین کنترل‌کننده ذخیره هستند. در ادامه ویژگی‌های کانه‌زایی هر یک از کانسارهای مس به تفصیل اشاره شده است.

کانسار جارو

این کانسار با موقعیت $50^{\circ}32'59''$ طول شرقی و $35^{\circ}41'47''$ عرض شمالی در یال شمالی رشته کوه جارو و در فاصله یک کیلومتری شرق روستای جارو قرار دارد (شکل ۳). کانی‌سازی در کانسار جارو با وسعت حدود ۲۰۰ متر مربع در سنگ میزبان پیروکسن-آمفیبول آندزیت (واحد سنگی E^{paa}) با بافت آمیگدالوئیدال رخ داده که به صورت موضعی برشی شده است. ماده معدنی به صورت رشته رگه‌های پرعیار مس با ضخامت حدود یک متر و طول تقریبی ۲۰ متر قابل ردیابی است (شکل ۷-A) که راستای تقریبی آنها ۱۱۰ درجه و شیب نزدیک به قائم دارند. کانی‌سازی با بافت و ساخت پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضای خالی درزه‌ها و شکستگی‌ها، مشاهده می‌شود (شکل ۷-B). تا سال ۱۳۴۹ که پایان فعالیت معدنی این کانسار بوده است، میزان تولید ذخیره در آن ۲۷۰۰ تن کانسنگ مس با عیار ۳ تا ۸ درصد برآورد شده است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994). بر اساس بررسی‌های کلنه‌نگاری، مجموعه کلنه‌های سولفیدی درونزاد (بورنیت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت)، سولفیدی مس برونزاد (کالکوسیت و کوولیت)، اکسیدی-هیدروکسیدی مس و آهن (مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لیمونیت) و مس آزاد در کانسار جارو تشخیص داده شد. پیریت‌ها اغلب به صورت افشان ریزپلور در متن سنگ میزبان مشاهده شدند. کانه‌های اکسید و هیدروکسیدی متعلق به فرایند اکسایش سطحی سولفیدهای اولیه است؛ در حالی که کانه‌های سولفیدی کالکوسیت و کوولیت طی فرایند برونزاد در زیر سطح ایستایی و تحت شرایط Eh منفی (بدون اکسیژن) شکل گرفته‌اند. کانی‌های باطله شامل کوارتز، کلسیت، سریسیت، کلریت و باریت هستند. مهم‌ترین دگرسانی‌های منطقه جارو شامل

کانسار قزل چشمه

این کانسار با موقعیت $50^{\circ}36'03''$ طول شرقی و $35^{\circ}41'20''$ عرض شمالی در یال شمالی رشته کوه جارو و فاصله دو کیلومتری جنوب روستای قزل چشمه قرار دارد (شکل ۳). سنگ میزبان کانی سازی در این کانسار، واحد آندزیت پورفیری (واحد سنگی E^a) است که در بخش های جنوب غربی دارای بافت آمیگدالوئیدال و در رخنمون ها ساخت شبه بالشی دارد. لایه بندی عمومی سنگ میزبان در محل کانسار شرقی - غربی با شیب ۴۵ درجه به سمت شمال است. کانی سازی در محل خردشدگی حاصل از یک گسل با روند ENE-WSW رخ داده است (شکل ۷-D). ذخیره زمین شناسی این کانسار، حدود ۲۵۰۰ تن مس با عیار بین ۱ تا ۲ درصد برآورد شده است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994). آثار کانی سازی مس به صورت مالاکیت و آزوریت درون زون شکستگی قابل رؤیت است. بر اساس شواهد کانه نگاری، کانه های این کانسار شامل کالکوسیت، کوولیت، کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت، به همراه باطله های کوارتز، کلسدونی، کلسیت و کلریت است. همچنین دگرسانی های سریسیتی، کلریتی و کربناتی در این کانسار قابل مشاهده است.

کانسار افشارآباد

این کانسار با موقعیت $50^{\circ}28'38''$ طول شرقی و $35^{\circ}41'20''$ عرض شمالی در یال شمالی و بخش غربی رشته کوه جارو، در فاصله ۱/۵ کیلومتری جنوب غرب روستای افشارآباد قرار دارد (شکل ۳). سنگ میزبان کانی سازی در این کانسار شامل گدازه آندزیتی دارای بافت واربولیتی و ساخت بالشی (واحد سنگی E^{va}) است (شکل ۷-E). امتداد عمومی سنگ میزبان N70W و شیب آن 50NE است. پهنه معدنی در کانسار افشارآباد به صورت رگه برشی پرعیار با طول ۱۰۰ متر، ضخامت ۱ تا ۵ متر، راستای N60W و شیب 45SW با عیار مس ۲ درصد برآورد شده است (شکل ۷-F). بر اساس شواهد کانه نگاری، کانه های بورنیت، پیریت، گالن، کالکوپیریت، کوولیت، کالکوسیت، دیژنیت و مالاکیت، به همراه باطله های کوارتز، باریت، کلسیت و سریسیت است. دگرسانی های سیلیسی، کربناتی و کلریتی - سریسیت در این کانسار

مشاهده شد.

کانسار بیدستان

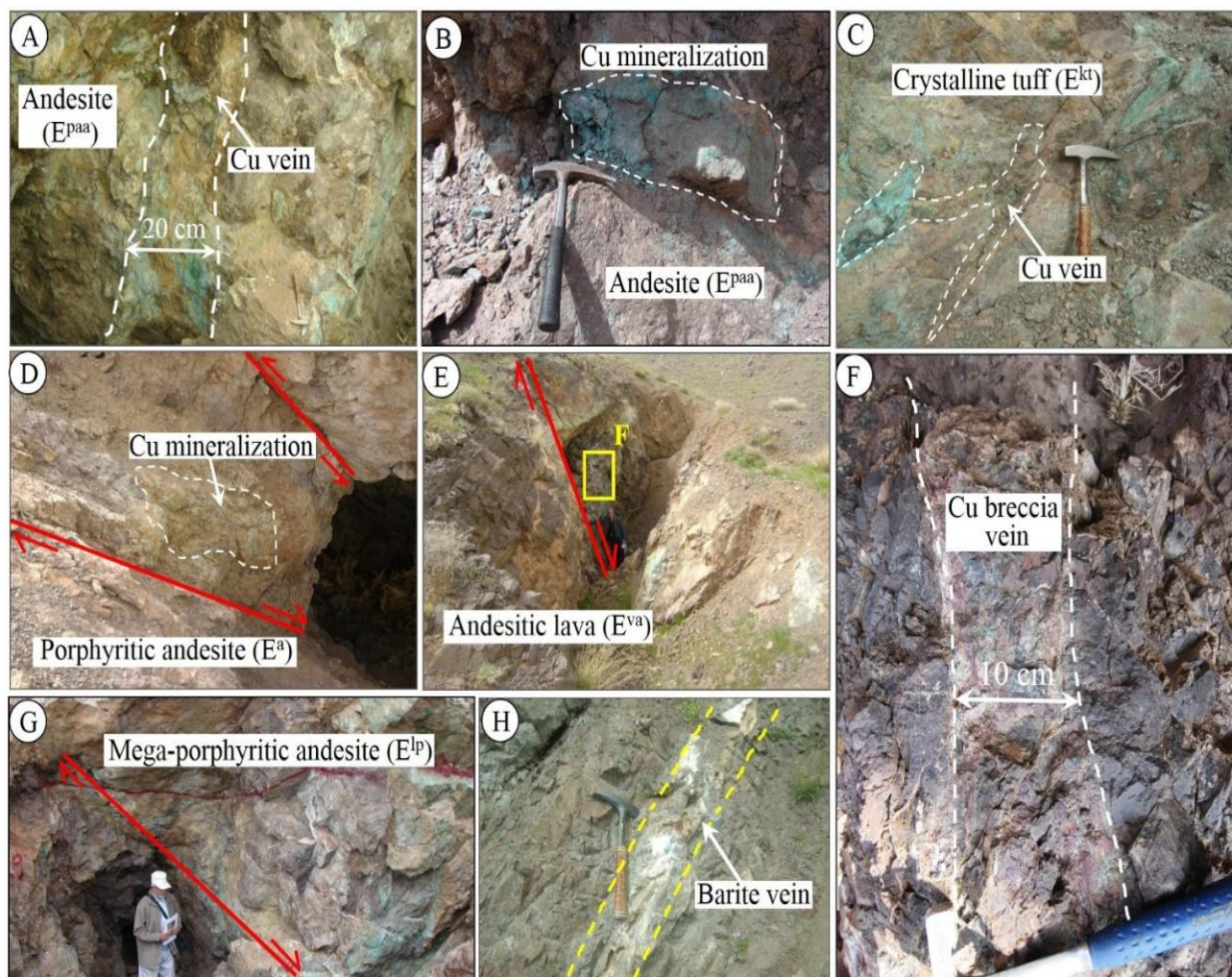
کانسار بیدستان با موقعیت $50^{\circ}33'46''$ طول شرقی و $35^{\circ}41'03''$ عرض شمالی در یال شمالی رشته کوه جارو، در فاصله ۱/۵ کیلومتری جنوب شرق روستای حاجی آباد قرار دارد (شکل ۳). سنگ میزبان این کانسار متشکل از آندزیت مگاپورفیری تالانیت آندزیت (واحد سنگی E^{lp}) با میان لایه های توف داسیتی به رنگ صورتی است (شکل ۷-G). امتداد سنگ میزبان شرقی - غربی و شیب آنها ۳۵ درجه به سمت شمال است. کانی سازی به صورت یک رگه عدسی شکل با طول ۲۰ متر و ضخامت متوسط ۵ متر با راستای N65E و شیب 60SE رخ داده است. عیار مس در این کانسار کمتر از ۲ درصد برآورد شده است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994). کانی های تشکیل دهنده کانسار شامل کوپریت، کالکوسیت، مالاکیت و کالکوپیریت است. کوارتز، باریت، اپیدوت و کلسیت مهم ترین باطله های کانسار هستند. باریت به صورت رگه های سفیدرنگ تأخیری در سنگ میزبان تالانیت آندزیت مشاهده شد (شکل ۷-H). دگرسانی های سیلیسی، آرژیلیک و اپیدوتی در این کانسار مشاهده شد. میزان ذخیره و عیار کانی سازی در کانسار بیدستان از سایر کانسارهای ذکر شده در ناحیه معدنی کوه جارو به نسبت کمتر است.

دگرسانی

بر اساس بررسی های سنگ نگاری و برداشت های صحرائی، هاله ای از دگرسانی های درجه ضعیف تا متوسط کلیه واحدهای سنگی ناحیه معدنی کوه جارو، به ویژه پهنه های کانه دار را تحت تأثیر قرار داده است. طبق شواهد صحرائی و میکروسکوپی، دگرسانی های کلریتی (شکل ۸-A)، کربناتی (شکل ۸-B)، سیلیسی (شکل ۸-C) و اپیدوتی (شکل ۸-D)، مهم ترین دگرسانی واحدهای سنگی ناحیه معدنی کوه جارو هستند. دگرسانی کلریتی با ضخامت تقریبی ۲ تا ۵ متر همراه کانی های کلریت، روتیل، کلسیت و سریسیت در اطراف زون های کانه دار کانسارهای مس جارو، قزل چشمه و افشارآباد، مشاهده شد.

پایانی کانه‌زایی به ویژه در کانسارهای مس جارو، قزل‌چشمه و افشارآباد، مشاهده شد.

بخش مهمی از کانی‌های فرومنیزیم از قبیل آمفیبول و بیوتیت در توده‌های نفوذی توسط کلریت جانشین شده است. دگرسانی کربناتی با رگه-رگچه‌های کلسیتی و مقادیر ناچیز هیدروکسید آهن در مراحل

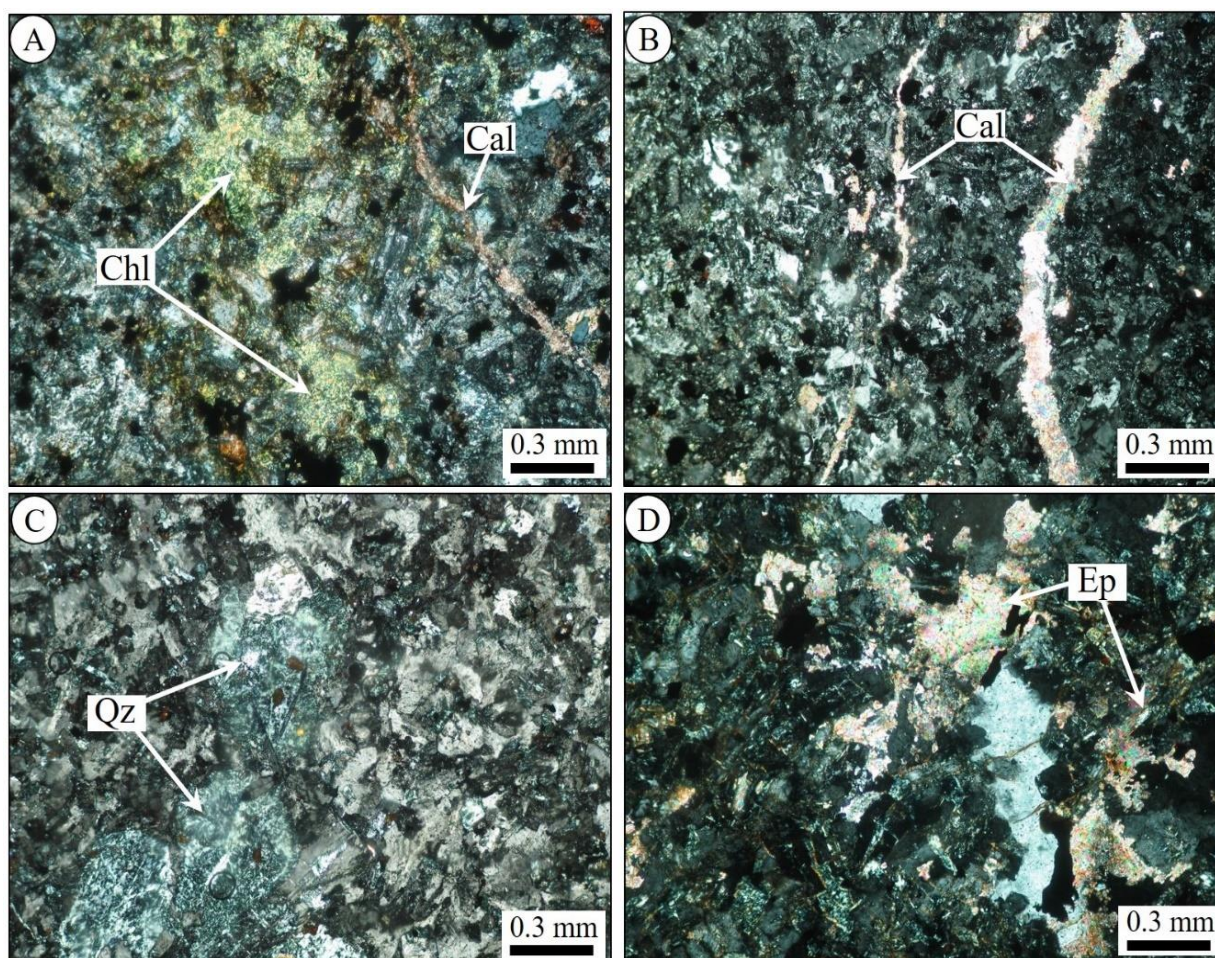


شکل ۷. تصاویر صحرایی رخنمون کانی‌سازی مس در ناحیه معدنی کوه جارو. A و B: کانی‌سازی مس رگه‌ای در سنگ میزبان آندزیت کانسار جارو، C: کانی‌سازی رگه‌ای مس در سنگ میزبان توف بلورین کانسار گوموش داش، D: کانی‌سازی مس مرتبط با گسل با روند ENE-WSW در دهانه تونل استخراجی کانسار قزل‌چشمه، E: ترانشه گسلی بر روی رگه مس با راستای N60W در سنگ میزبان گدازه آندزیت کانسار افشارآباد، F: نمایی نزدیک از کانی‌سازی رگه‌ای برشی مس پرعیار در کانسار افشارآباد، G: تونل گسلی استخراج مس در سنگ میزبان آندزیت مگاپورفیری و H: نمایی از رگه باریت تأخیری در کانسار بیدستان

Fig. 7. Photographs from copper mineralization at the Kuh-e Jarou Mining District. A and B: Vein-type Cu mineralization within andesite host rock of the Jarou deposit, C: Vein-type Cu mineralization within crystalline tuff host rock at Gomosh Dash deposit, D: Cu mineralization related to ENE-WSW-trending fault in extraction tunnel of the Ghezel Cheshme deposit, E: Fault-related trench on N60W-trending Cu vein within andesitic lava at Afshar-Abad deposit, F: Close view from high-grade Cu breccia vein in the Afshar-Abad deposit, G: Extraction tunnel of copper within megaporphyritic andesite host rock, and H: Late stage barite vein at Bidestan deposit.

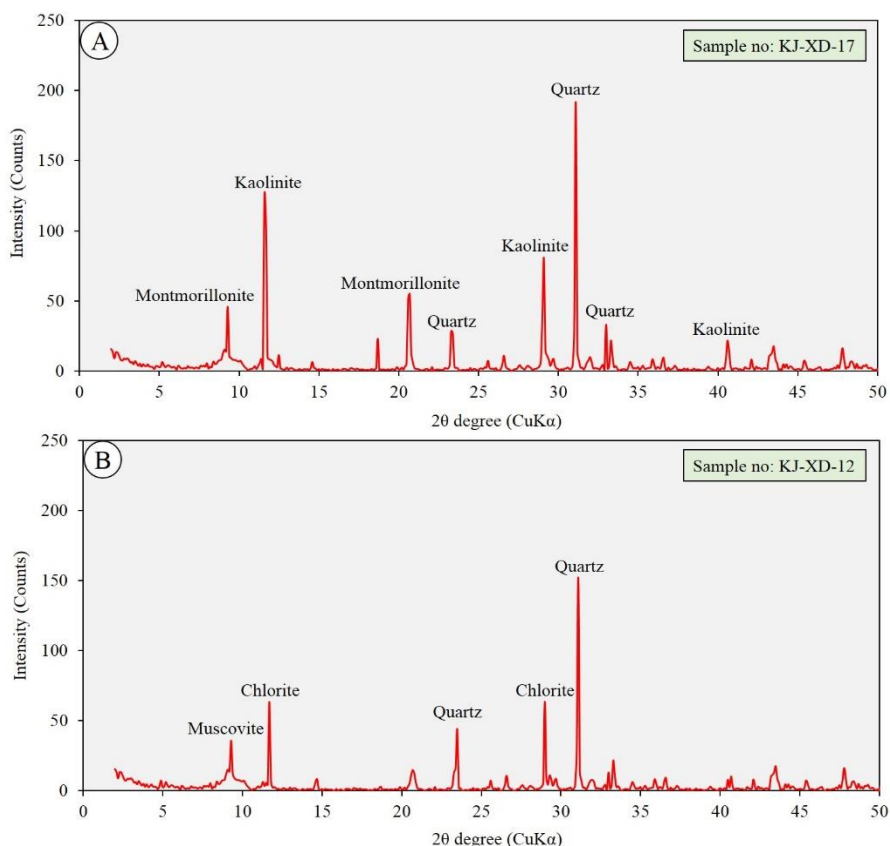
و بی‌دستان، مشاهده شد. علاوه بر دگرسانی‌های یاد شده، دگرسانی‌های آرژیلیک (احتمالاً به صورت برون‌زاد با حضور کاتولینیت و مونت‌موریونیت) (شکل ۹-۱A) و کلریت-سریسیت (تپیریت) (شکل ۹-۱B) به طور محلی در پهنه‌های کانه‌دار ناحیه کوه‌جارو توسط بررسی‌های طیف‌سنج پراش پرتو ایکس مورد شناسایی قرار گرفت.

دگرسانی سیلیسی با کانی شاخص کوارتزهای چندبلوری و در مواردی کلسدونی و ضخامت متغیر ۱ تا ۱۰ متر، تقریباً در اطراف کلیه مناطق کانه‌دار کانسارهای مس ناحیه کوه‌جارو قابل مشاهده است. دگرسانی اپیدوتی با کانی‌های شاخص اپیدوت و کلسیت و مقادیر ناچیز کوارتز و کلریت به ویژه در مناطق کانه‌دار کانسارهای مس جارو



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری متقاطع، XPL) از دگرسانی‌های مختلف در ناحیه معدنی کوه‌جارو. A: دگرسانی کلریتی، B: دگرسانی کربناتی با حضور رگچه‌های کلسیت در سنگ، C: دگرسانی سیلیسی با حضور کوارتزهای پلی‌کریستالین و D: دگرسانی اپیدوتی. علائم اختصاری کانی‌ها از ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Cal: کلسیت، Chl: کلریت، Ep: اپیدوت، Qz: کوارتز).

Fig. 8. Photomicrographs (transmitted cross-polarized light, XPL) of various alterations at the Kuh-e Jarou Mining District. A: Chloritic alteration, B: Carbonatization by occurrence of calcite veinlets within rock, C: Silica alteration by occurrence of polycrystalline quartz, and D: Epidote alteration. Abbreviations after Whitney and Evans (2010) (Cal: calcite, Chl: chlorite, Ep: epidote, Qz: quartz).



شکل ۹. نمودارهای طیف سنج پراش پرتو ایکس از کانی‌های دگرسان ناحیه معدنی کوه جارو. A: دگرسانی آرژیلیک در میزبان توف (نمونه شماره KJ-XD-17) و B: دگرسانی کلریت-سرسیت در گدازه‌های ریولیتی-آندزیتی (نمونه شماره KJ-XD-12)

Fig. 9. X-ray diffraction graphs from alteration minerals of the Kuh-e Jarou Mining District. A: Argillic alteration within tuff host rock (sample no. KJ-XD-17), and B: Chlorite-sericite alteration within rhyolitic-andesitic lava (sample no. KJ-XD-12).

کانه‌نگاری و ساخت و بافت

کلریت مهم‌ترین کانی‌های باطله همراه کانسنگ هستند. پیریت به صورت ذرات افشان بی‌شکل و ابعاد کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر در سنگ میزبان آتشفشانی مشاهده شد (شکل ۱۰-A) که مرتبط با مرحله پیش از کاننه‌زایی اصلی است. بورنیت با رنگ بازتابی صورتی تا ارغوانی به صورت رگه‌ای همراه کالکوپیریت و کوارتز (شکل ۱۰-B و C) و سیمان قطعات سنگ میزبان آتشفشانی برشی، مشاهده شد (شکل ۱۰-D و E). همچنین طی بررسی‌های کاننه‌نگاری، کانی‌سازی کالکوسیت به صورت افشان با رنگ بازتابی سفید مات (شکل ۱۰-F) و جاننشینی با رنگ بازتابی آبی روشن در حاشیه کالکوپیریت و بورنیت (شکل ۱۰-G)، تشخیص داده شد. کالکوپیریت

بر اساس بررسی‌های کاننه‌نگاری، کانی‌های سولفیدی (فراوانی نسبی ۷۰ درصد)، کربناتی (فراوانی نسبی ۲۰ درصد) و اکسید-هیدروکسیدی آهن (فراوانی نسبی ۱۰ درصد) به ترتیب مهم‌ترین فازهای کانی‌شناسی در کنسارهای ناحیه کوه جارو هستند. بر این اساس، مجموعه کانی‌های بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و کالکوپیریت به عنوان فاز اصلی کانی‌سازی و پیریت، اسفالریت، گالن، دیژنیت و مس آزاد به عنوان کانی‌های فرعی وجود دارند. مالاکیت، آزوریت، کوپریت، گوتیت و لیمونیت مهم‌ترین کاننه‌های ثانویه ناشی از اکسایش و فرایند برون‌زاد در کنسارهای ناحیه کوه جارو هستند. کوارتز، کلسیت، باریت، سرسیت و

صورت گرفته است.

پس از تشکیل کانسنگ درون‌زاد، در نتیجه انحلال سولفیدهای دانه پراکنده موجود در سطح یا نزدیک به سطح زمین با آب‌های جوی تحت شرایط اسیدی و نفوذ این آب‌ها از طریق گسل‌ها و شکستگی‌ها به ترازهای عمقی بیشتر تا زیر سطح آب‌های زیرزمینی (محیط احيایی)، فرایند غنی‌سازی ثانویه برون‌زاد شکل گرفته است. بخش زیادی از کانه‌های فلزی درون‌زاد در اثر این فرایند به مجموعه کانه‌های فلزی مس با عیار بالا تبدیل شده‌اند. این مرحله با حضور حجم زیادی از کانه‌های مس پرعیار (۳ تا ۷ درصد مس) نظیر مس آزاد، کالکوسیت، کولیت و دیژنیت مشخص می‌شود که اغلب با بافت‌های جانیشینی جزئی و کامل در حاشیه کالکوپریت و بورنیت یا شکستگی‌های آن تشکیل شده‌اند. طبق شواهد صحرایی و تونل‌های حفر شده در منطقه، یک پوشش اکسیدی-کربناتی آبدار به ضخامت تقریبی ۱۰ تا ۱۵ متر در بخش بالایی کانسنگ سولفیدی قرار گرفته که به طور عمده از مجموعه کانی‌های گوتیت، مالاکیت، کورپیت، آزوریت و لیمونیت، تشکیل شده است (شکل ۱۱-G). مراحل زمانی رخداد کانه‌زایی در ذخایر مس ناحیه معدنی کوه جارو در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

بررسی میان‌بارهای سیال

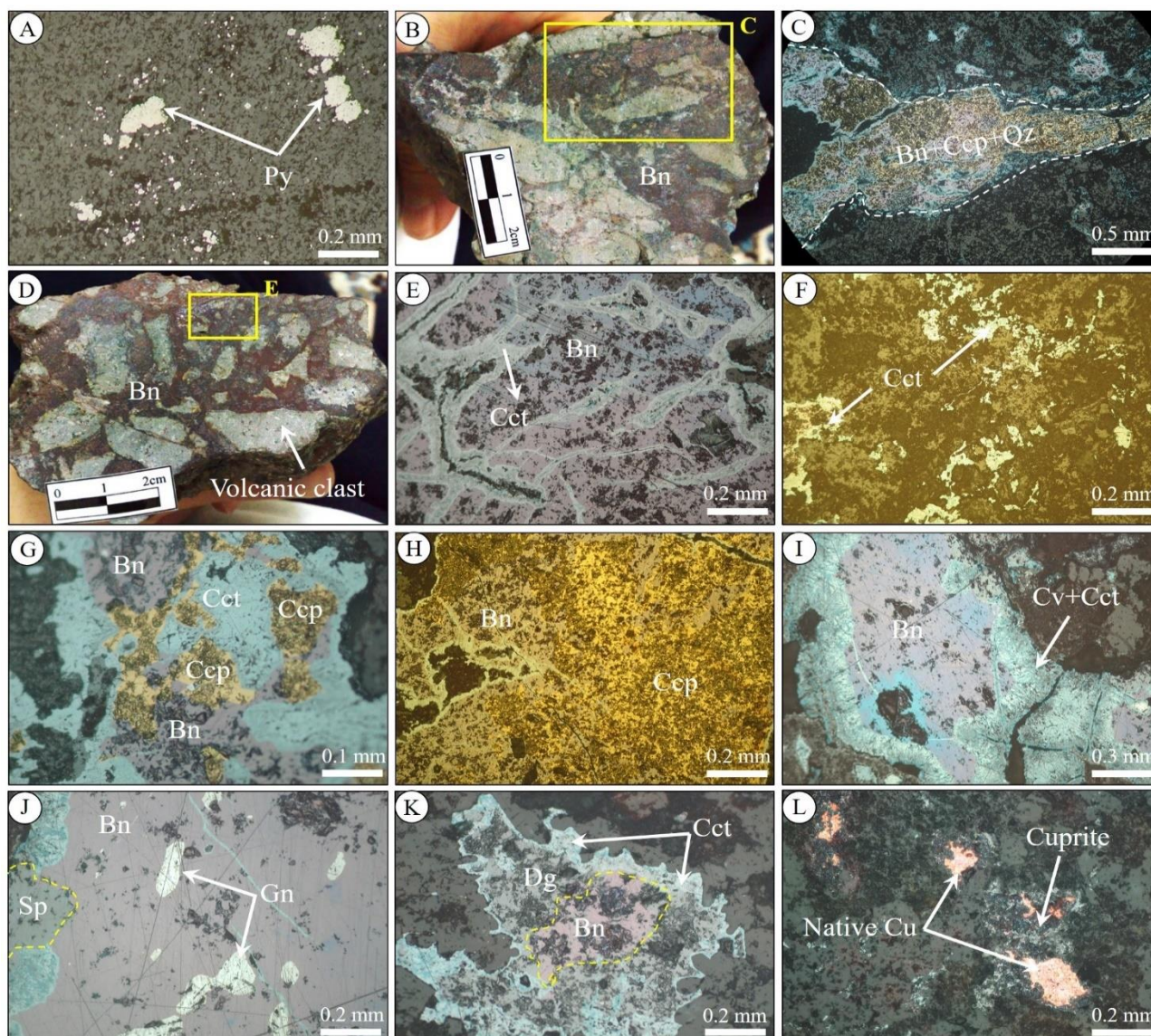
پتروگرافی و توزیع میان‌بارهای سیال

بررسی میان‌بارهای سیال در ناحیه معدنی کوه جارو با هدف تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال کانه‌ساز و تخمین شرایط فشار-دما رخداد ذخیره، انجام شده است. به این منظور، بررسی‌های سنگ‌نگاری و ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال بر روی کوارت‌های مرتبط با کانه‌زایی رگه‌ای کوارتز-کالکوپریت± بورنیت مرحله اول کانه‌زایی و باریت‌های رگه‌ای تأخیری، انجام شد. بررسی میان‌بارهای سیال مراحل کانه‌زایی دیگر با توجه به ابعاد بسیار ریز میان‌بارها یا نبود کانی باطله مناسب میسر نبود. با در نظر گرفتن اصل اجتماع میان‌بارهای سیال که در یک زمان و تحت شرایط مشابه در ساختمان بلور به صورت اولیه به دام افتاده‌اند، میان‌بارهایی با ابعاد ۵ تا ۴۰ میکرون مورد آزمایش ریزدماسنجی قرار گرفتند.

با رنگ بازتابی زرد تیره تا روشن اغلب به صورت درهم‌رشدی با بورنیت، مشاهده شد (شکل ۱۰-H). کولیت با تجمعات بلوری آبی تیره و ناهمسانگردی نارنجی رنگ به صورت درهم‌رشدی با کالکوسیت‌های نسل دوم مشاهده شد. کالکوسیت و کولیت به عنوان فراوان‌ترین کانه‌های سولفیدی برون‌زاد مس با بافت جانیشینی در شکستگی‌های کالکوپریت و بورنیت رگه‌ای تشکیل شده است (شکل ۱۰-I). گالن و اسفالریت به صورت ادخال‌های کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر و رگچه‌ای در میزبان دو نسل بورنیت رگه‌ای و سیمان برشی مشاهده شد (شکل ۱۰-J). دیژنیت با رنگ بازتابی خاکستری-آبی به صورت جانیشینی در حاشیه بورنیت‌های نسل دوم مشاهده شد که خود توسط کالکوسیت جانشین شده است (شکل ۱۰-K). ذرات مس آزاد با رنگ بازتابی قرمز مسی و ابعاد کمتر از ۰/۲ میلی‌متر به صورت افشان مشاهده شد که در حاشیه آن کورپیت‌های خاکستری جانشین شده است (شکل ۱۰-L). محصولات کانی‌سازی برون‌زاد کربناته مس و آهن شامل مالاکیت، آزوریت، گوتیت و لیمونیت با بافت‌های شعاعی، جعبه‌ای، اسفرولیتی و بی‌شکل به صورت جانیشینی در حاشیه سولفیدهای آهن و مس نظیر بورنیت و کالکوپریت مشاهده شد.

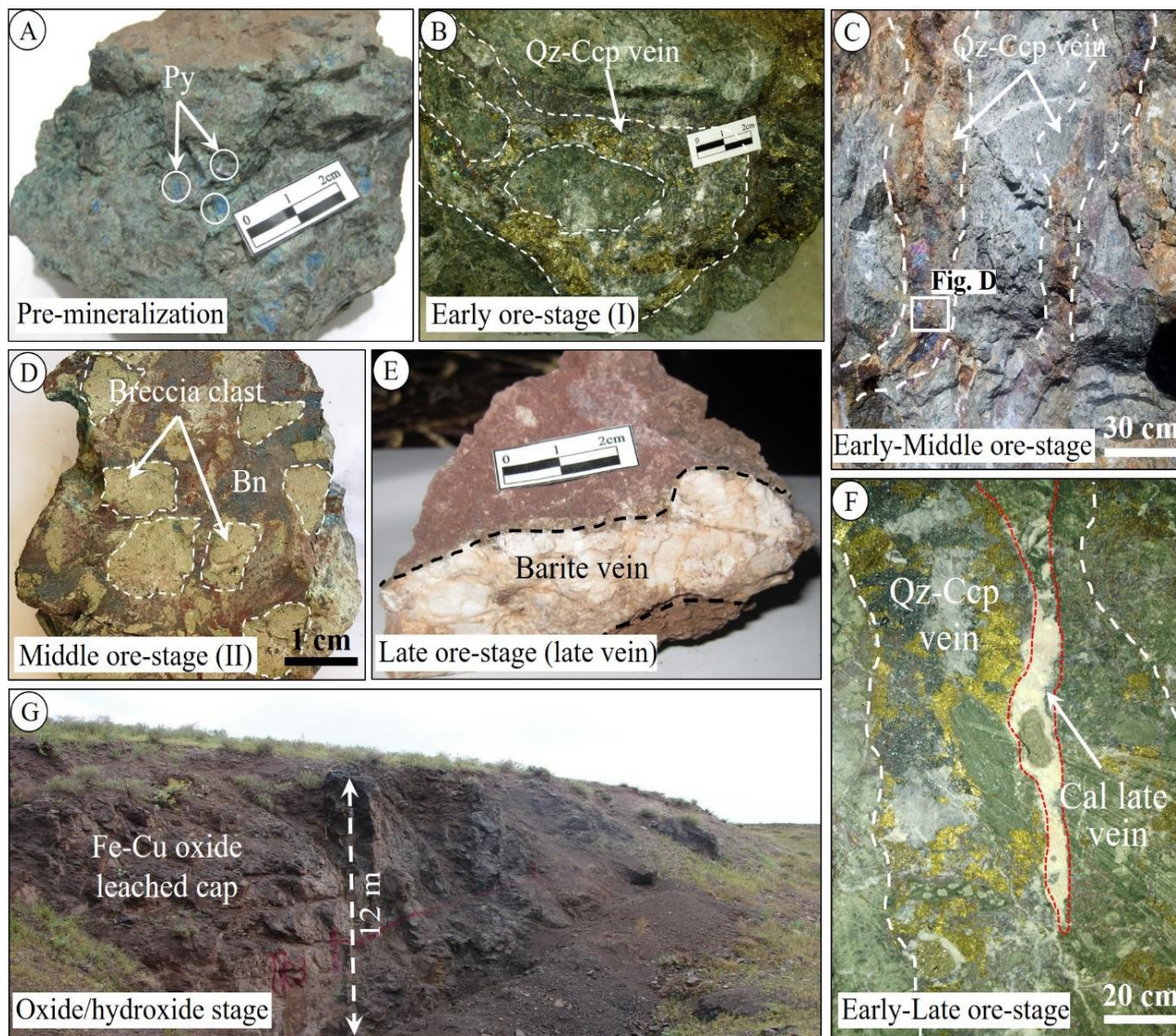
مراحل کانه‌زایی

بر اساس نتایج بررسی‌های زمین‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت و بافت کانه‌زایی، جنس و سن سنگ در برگیرنده، ذخایر مس کوه جارو (شامل کانسارهای جارو، گوموش داش، قزل‌چشمه، افشارآباد و بیدستان)، شباهت‌های زیادی با هم دارند و به نظر می‌رسد از یک سامانه ماگمایی-گرمایی مشترک تکوین یافته‌اند. کانه‌زایی در ناحیه معدنی کوه جارو به ترتیب مراحل تشکیل شامل: ۱) مرحله پیش از کانه‌زایی با حضور پیریت‌های افشان (ابعاد کوچک‌تر از ۰/۱ میلی‌متر) در سنگ میزبان آتشفشانی (شکل ۱۱-A)، ۲) مرحله کانه‌زایی کوارتز-کالکوپریت-بورنیت همراه با مقادیر جزئی گالن و اسفالریت در رگه‌ها و سیمان گرمایی برش‌ها (شکل ۱۱-B، C و D)، ۳) رگه‌های تأخیری باریت و کلسیت با ضخامت متغیر ۱ تا ۳۰ سانتی‌متر (شکل ۱۱-E و F) و ۴) مرحله برون‌زاد و تشکیل کانه‌های کالکوسیت، کولیت و دیژنیت،



شکل ۱۰. تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی (نور بازتابی عادی، PPL) از کانه‌های فلزی در ناحیه معدنی کوه جارو. A: پیریت‌های افشان دانه‌ریز در زمینه سنگ آتشفشانی، B و C: کانی‌سازی رگه‌ای کوارتز- کالکوپیریت- بورتیت، D و E: کانی‌سازی بورتیت± کالکوسیت به صورت سیمان برشی قطعات سنگ میزبان آتشفشانی، F: کالکوسیت افشان، G: جانشینی کالکوسیت در حاشیه کالکوپیریت و بورتیت، H: درهم‌رشدی کانه‌های کالکوپیریت و بورتیت، I: جانشینی کوولیت- کالکوسیت در حاشیه بورتیت، L: ادخال‌های گالن و اسفالریت در میزبان بورتیت، K: رخداد دیژنیت در حاشیه بورتیت و جانشینی آنها توسط کالکوسیت و L: ذرات پراکنده مس آزاد همراه کوپریت‌های برون‌زاد. علائم اختصاری کانی‌ها از ویته و اواتز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Bn: بورتیت، Cct: کالکوسیت، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کوولیت، Dg: دیژنیت، Gn: گالن، Py: پیریت، Qz: کوارتز، Sp: اسفالریت).

Fig. 10. Hand samples and photomicrographs (reflected polarized light, PPL) from ore minerals at the Kuh-e Jarou Mining District. A: Disseminated fine-grain pyrites within volcanic rock, B and C: Vein-type quartz-chalcopyrite-bornite mineralization, D and E: Bornite±chalcoite in cement breccia with volcanic clast, F: Disseminated chalcocite, G: Replacement of chalcocite on rims of chalcopyrite and bornite, H: Intergrown of chalcopyrite and bornite, I: Covellite-chalcoite replacement on bornite, J: Galena and sphalerite inclusions within bornite, K: Occurrence of digenite and chalcoite on bornite, and L: Disseminated native Cu accompanied with supergene cuprite. Abbreviation after Whitney and Evans (2010) (Bn: bornite, Cct: chalcoite, Ccp: chalcopyrite, Cv: covellite, Dg: digenite, Gn: galena, Py: pyrite, Qz: quartz, Sp: sphalerite).



شکل ۱۱. تصاویر صحرایی و نمونه دستی از مراحل کانه‌زایی در ناحیه معدنی کوه جارو. A: مرحله پیش از کانه‌زایی به صورت پیریت‌های افشان در سنگ میزبان آندزیتی ائوسن بالایی، B و C: مرحله کانه‌زایی کوارتز- کالکوپیریت رگه‌ای در سنگ میزبان پیروکسن- آمفیبول آندزیت (واحد سنگی E^{paa})، D: مرحله کانه‌زایی کالکوپیریت- بورنیت در سنگ میزبان توف آندزیت برشی دگرسان، E: مرحله کانه‌زایی تأخیری باریت رگه‌ای در سنگ میزبان لایت آندزیت (واحد سنگی E^p)، F: مرحله کانه‌زایی تأخیری کلسیت رگه‌ای که رگه کوارتز- کالکوپیریت را قطع کرده است و G: رخنمون صحرایی از واحد اکسیدی-هیدروکسیدی برون‌زاد به ضخامت تقریبی ۱۲ متر در کانسار جارو (دید به سمت شرق). علائم اختصاری کانی‌ها از ویتهی و اوآنز (Whitney and Evans, 2010) اقتباس شده است (Bn: بورنیت، Cal: کلسیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Qz: کوارتز).

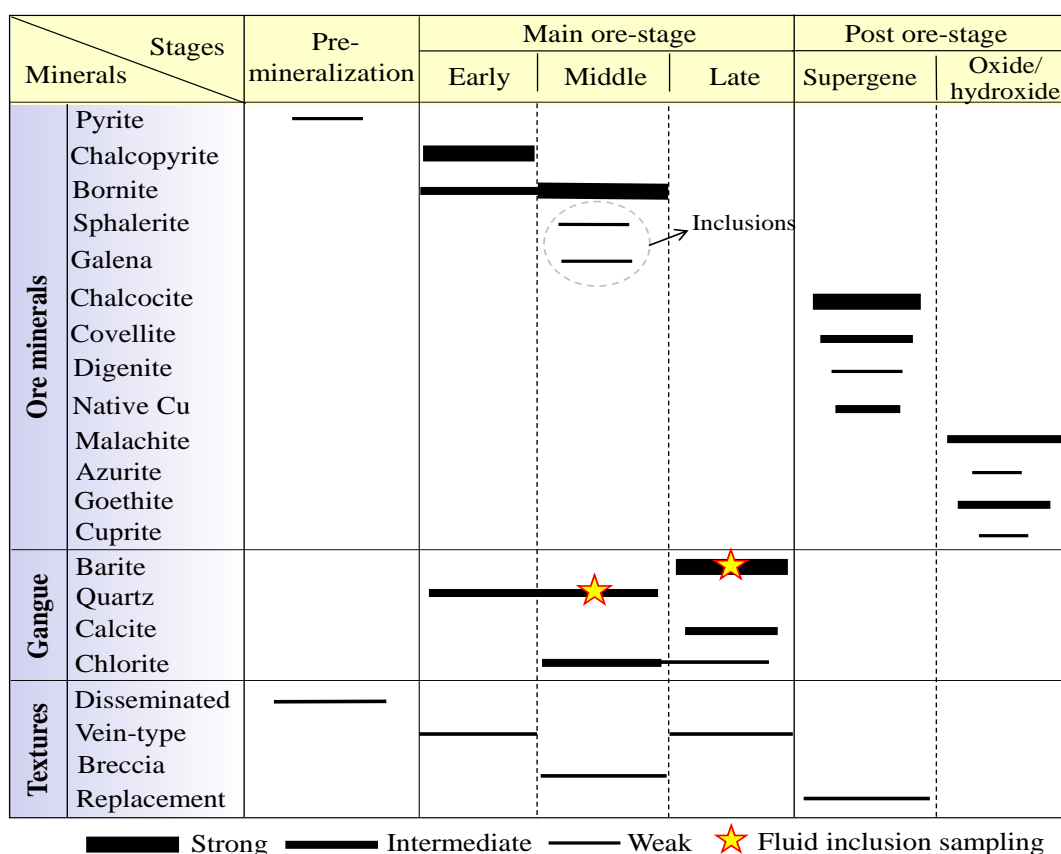
Fig. 11. Field and hand samples photographs from mineralization stages at the Kuh-e Jarou Mining District. A: Pre stage mineralization as disseminated pyrites within Upper Eocene andesite, B and C: Quartz-chalcopyrite mineralization stage within pyroxene-amphibole andesite (E^{paa} unit), D: Chalcopyrite-bornite mineralization stage within altered tuff andesitic breccias, E: Late stage barite vein within latite andesite (E^p unit), F: Quartz-chalcopyrite vein crosscutting by late stage calcite vein, and G: Outcrops from oxide-hydroxide supergene with 12 meter thickness at the Jarou deposit (looking to east). Abbreviation after Whitney and Evans (2010) (Bn: bornite, Cal: calcite, Ccp: chalcopyrite, Py: pyrite, Qz: quartz).

دوفازی غنی از مایع اغلب از لحاظ تجمعی همراه با میان‌بارهای تک فاز مایع مشاهده شدند و میان‌بارهای دوفازی غنی از گاز نیز همراه میان‌بارهای تک‌فاز گاز و در مواردی همراه میان‌بارهای دارای فاز جامد هالیت مشاهده شدند (شکل ۱۳).

بررسی‌های ریزدماسنجی

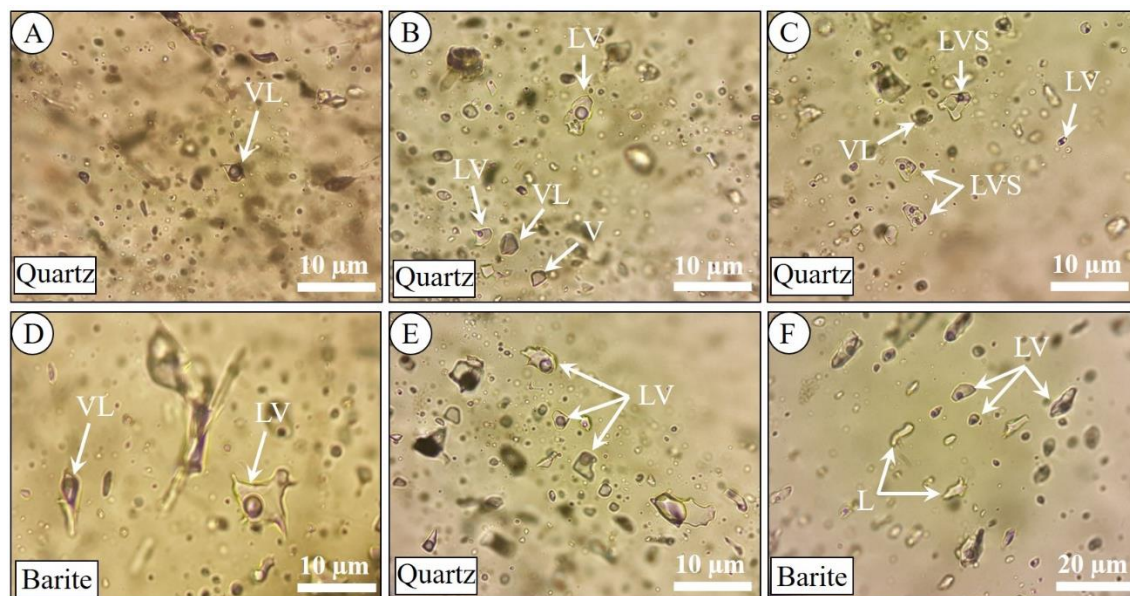
بررسی‌های ریزدماسنجی در کانسارهای مس جارو، گوموش‌دش، قزل‌چشمه، افشارآباد و بیدستان انجام شده و مقادیر دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری میان‌بارهای سیال در جدول ۱ و جدول ۲ و نمودارهای ستونی آنها در شکل ۱۴، شکل ۱۵، شکل ۱۶، شکل ۱۷ و شکل ۱۸ ارائه شده است.

میان‌بارهای مشاهده شده، اغلب دارای شکل‌های دو کی، میله‌ای، بی‌شکل و کروی هستند. میان‌بارهای اولیه در مرکز بلور تشکیل شده و میان‌بارهای ثانویه اغلب مرز بلور را قطع کرده‌اند. همچنین، پدیده‌های باریک‌شدگی و نشست نیز طی بررسی‌های سنگ‌نگاری مشاهده شد که مورد دماسنجی قرار نگرفت. بر پایه رده‌بندی شفرود و همکاران (Shepherd et al., 1988)، میان‌بارهای سیال در کانسارهای ناحیه کوه‌جارو، به ترتیب فراوانی شامل دوفازی غنی از گاز (VL) (شکل ۱۳-A و B)، دوفازی غنی از مایع (LV) (شکل ۱۳-C و D) و تک‌فازی‌های مایع (L) (شکل ۱۳-E و F) و گاز (V)، هستند. علاوه بر این، شواهدی از وجود میان‌بارهای دارای فاز جامد هالیت (LVS) تنها در کانسارهای بیدستان و گوموش‌دش مشاهده شد. از دیدگاه اجتماع میان‌بارهای سیال، میان‌بارهای



شکل ۱۲. توالی هم‌یافتی کانی‌ها و کانه‌ها در کانسارهای مس ناحیه معدنی کوه جارو. ضخامت خطوط نشان‌دهنده فراوانی کانی‌هاست.

Fig. 12. Paragenetic sequence of minerals and ore minerals in Cu deposits of the Kuh-e Jarou Mining District. Thickness of line is representing the frequency of minerals.



شکل ۱۳. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری عادی، PPL) میان‌بارهای سیال در کانسارهای مختلف ناحیه معدنی کوه جارو. A: میان‌بارهای VL در میزبان کوارتزهای کانسار جارو، B: اجتماع میان‌بارهای سیال VL، LV و V در کوارتزهای کانسار قزل‌چشمه، C: اجتماع میان‌بارهای سیال VL، LV و LVS در کوارتزهای کانسار گوموش‌داش، D: حضور میان‌بارهای سیال VL و LV در باریت‌های تأخیری کانسار بیدستان، E: اجتماع میان‌بارهای سیال LV در کوارتزهای کانسار جارو و F: ردیفی از میان‌بارهای LV و L در باریت‌های تأخیری کانسار قزل‌چشمه

Fig. 13. Photomicrographs (transmitted polarized light, PPL) of fluid inclusions at various deposits of the Kuh-e Jarou Mining District. A: VL fluid inclusions hosted by quartz crystals of the Jarou deposit, B: VL, LV and V fluid inclusion assemblages within quartz crystals of the Ghezel Cheshme deposit, C: LV, VL and LVS fluid inclusion assemblages within quartz crystals of the Gomosh Dash deposit, D: VL and LV fluid inclusions within late stage barite of the Bidestan deposit, E: LV fluid inclusion assemblage within quartz crystals of the Jarou deposit, and F: LV and L fluid inclusions within late barite crystals at Ghezel Cheshme deposit

میان‌بارهای سیال کانسار جارو

دو نوع میان‌بار LV و VL در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و دو نوع میان‌بار LV و L در رگه باریت تأخیری در کانسار جارو شناسایی شده است. بر اساس نتایج ریزدماسنجی، مقادیر $T_{m_{ice}}$ و $T_{h_{LV}}$ در میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۷۰ تا ۹۰ درصد) با میزبان کوارتز به ترتیب بین ۱۸۵ تا ۲۴۷ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۱۶ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و ۴/۵- تا ۱۰/۲- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۷/۳- درجه سانتی‌گراد)، به دست آمد. این مقادیر معادل شوری بین ۷/۲ تا ۱۴/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی ۰/۸ تا ۱/۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (شکل ۱۴- A). مقادیر $T_{h_{VL}}$ میان‌بارهای سیال VL (با درجه پرشدگی ۲۰ تا ۴۰ درصد) نیز بین ۲۰۵ تا ۲۸۸ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۴۵ درجه

سانتی‌گراد) به فاز مایع و تغییرات $T_{m_{ice}}$ در آنها بین ۱/۲- تا ۹/۵- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۵/۳- درجه سانتی‌گراد)، معادل شوری ۲/۱ تا ۱۳/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد (جدول ۱). چگالی این میان‌بارها از ۰/۷۷ تا ۰/۹۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، متغیر است. همچنین، مقادیر $T_{m_{ice}}$ و $T_{h_{LV}}$ در میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۸۰ تا ۹۰ درصد) رگه باریت تأخیری به ترتیب بین ۱۵۵ تا ۲۱۲ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۸۳ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و ۰/۸- تا ۷/۵- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۴/۱- درجه سانتی‌گراد)، معادل شوری ۱/۴ تا ۱۱/۱ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد (شکل ۱۴- B). چگالی این میان‌بارها از ۰/۹۳ تا ۱/۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب، متغیر است (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت ذخایر مس ناحیه معدنی کوه جارو

Table 1. Microthermometric measurements of fluid inclusions in quartz-chalcopyrite veins from the copper deposits of the Kuh-e Jarou Mining District

Deposits	Type	n	Te (°C)	Tm _{ice} (°C)	Tm _h (°C)	Th _{LV} (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Density (g/cm ³)
Jarou	LV	3	-22 to -26	-5.5 to -8.3	-----	196-213 (205)	12.0-8.6 (10.3)	0.95
	LV	4	-25 to -28	-6.2 to -10.2	-----	234-247 (240)	9.5-14.2 (11.8)	1.00
	LV	4	-----	-7.5 to -9.6	-----	185-198 (190)	11.1-13.5 (12.3)	0.98
	LV	5	-25 to -29	-4.5 to -8.5	-----	210-235 (222)	7.2-12.3 (9.8)	0.88
	LV	4	-----	-7.7 to -9.0	-----	215-240 (227)	11.3-13.0 (12.2)	0.97
	LV	4	-25 to -28	-5.2 to ?	-----	192-231 (211)	8.1-? (8.1)	0.90
	VL	5	-----	-5.4 to -9.5	-----	205-222 (213)	8.4-13.4 (11.0)	0.85
	VL	6	-----	-1.2 to -3.0	-----	212-236 (224)	2.1-5.0 (3.6)	0.90
	VL	4	-----	-5.7 to ?	-----	259-288 (273)	8.8-? (8.8)	0.92
	VL	6	-----	-3.5 to -5.0	-----	266-280 (273)	5.7-8.0 (6.9)	0.77
Gomosh Dash	LV	3	-21 to -24	-7.2 to -9.6	-----	288-306 (297)	10.7-13.5 (12.1)	0.97
	LV	5	-----	-11.2 to -14.3	-----	268-295 (282)	15.2-18.0 (16.6)	0.91
	LV	5	-----	-13.3 to -16.5	-----	254-285 (270)	17.2-19.8 (18.5)	1.15
	LV	4	-19 to -23	-9.5 to -13.8	-----	290-301 (296)	13.4-17.6 (15.5)	1.01
	VL	3	-21 to -23	-7.3 to -10.4	-----	285-305 (295)	10.9-14.4 (12.7)	0.97
	VL	6	-----	-5.6 to -8.5	-----	275-296 (286)	8.7-12.3 (10.5)	0.84
	VL	7	-----	-9.6 to -12.2	-----	325-346 (335)	13.5-16.2 (14.9)	0.76
	LVS	3	-----	-----	250-265	287-290 (288)	34.7-35.5 (35.1)	1.20
	LVS	6	-----	-----	221-247	285-293 (289)	33.0-34.6 (33.8)	1.00
	LVS	4	-----	-----	254-275	290-301 (296)	35.0-36.5 (35.8)	1.08
LVS	3	-----	-----	236-251	298-310 (304)	33.7-34.7 (34.2)	1.14	

n: number of fluid inclusion analysis, Te: eutectic temperature, Tm_{ice}: final ice melting temperature, Tm_h: halite melting temperature, Th_{LV}: homogenization temperature

ادامه جدول ۱. نتایج ریزدماسنجی میان‌بارهای سیال در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت ذخایر مس ناحیه معدنی کوه جارو

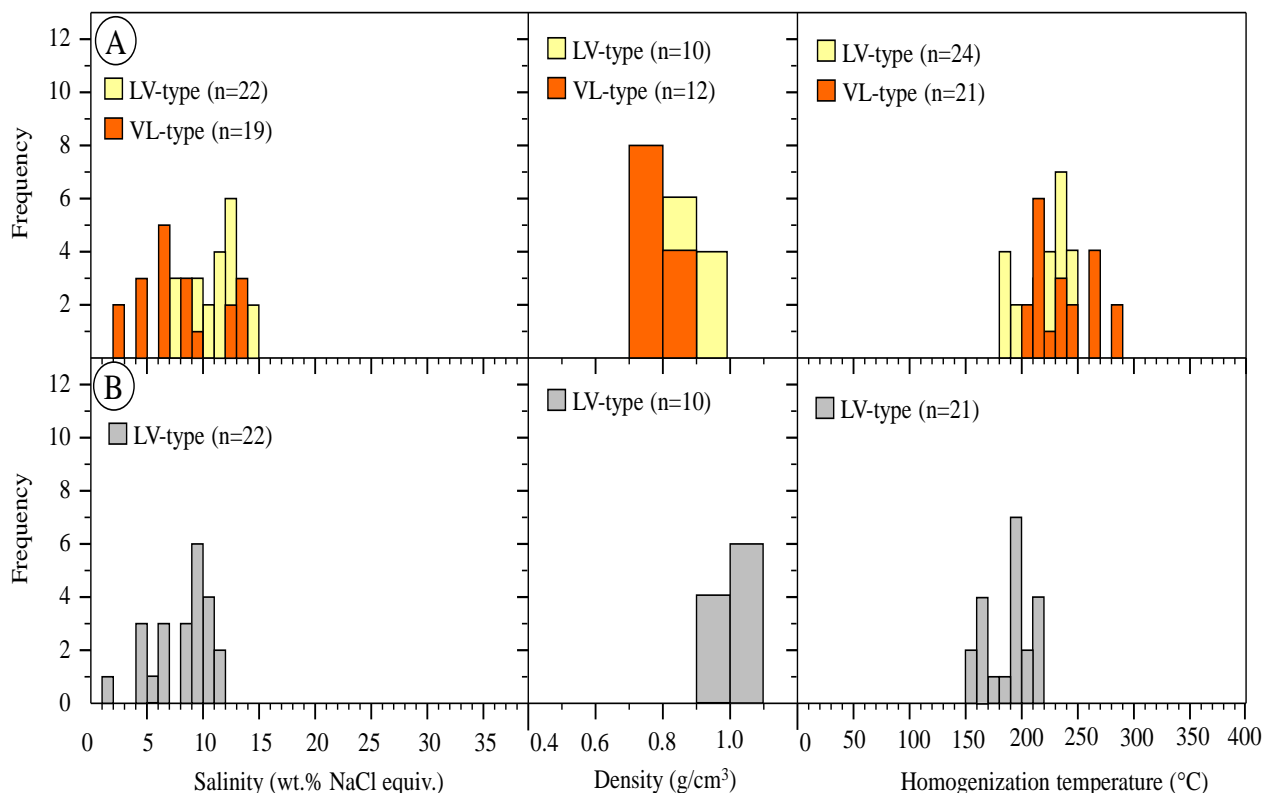
Table 1 (Continued). Microthermometric measurements of fluid inclusions in quartz-chalcopyrite veins from the copper deposits of the Kuh-e Jarou Mining District

Deposits	Type	n	Te (°C)	Tm _{ice} (°C)	Tm _h (°C)	Th _{LV} (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Density (g/cm ³)
Ghezel Cheshme	LV	4	-----	-7.5 to -10.2	----	234-256 (245)	11.1-14.2 (12.7)	1.12
	LV	5	-23 to -27	-10.7 to -13.3	----	193-212 (203)	14.8-17.2 (16.0)	0.99
	LV	5	-----	-5.0 to -9.2	----	188-201 (195)	8.0-13.1 (10.6)	0.89
	LV	7	-22 to -25	-4.1 to -7.5	----	224-243 (234)	6.6-11.1 (8.9)	1.20
	VL	4	-----	-3.7 to -5.6	----	254-267 (261)	6.0-8.7 (7.4)	0.98
	VL	4	-20 to -23	-8.5 to -10.3	----	233-248 (241)	12.3-14.3 (13.3)	1.01
	VL	6	-----	-3.8 to -5.1	----	202-223 (213)	6.2-8.0 (7.1)	0.96
	VL	5	-----	-1.6 to -4.3	----	251-278 (265)	2.7-7.0 (4.9)	0.98
	VL	4	-19 to -22	-4.6 to -7.2	----	211-232 (222)	7.3-10.7 (9.0)	0.87
Afshar-Abad	LV	5	-18 to -22	-4.5 to -6.8	----	201-215 (208)	7.2-10.2 (8.7)	0.92
	LV	4	-----	-1.5 to -3.5	----	195-210 (203)	2.6-5.7 (4.2)	0.90
	LV	4	-----	-8.2 to -10.2	----	221-235 (228)	12.0-14.2 (13.1)	0.88
	LV	5	-19 to -21	-6.7 to -9.1	----	236-243 (240)	10.1-13.0 (11.6)	1.08
	LV	4	-19 to -23	-7.7 to -8.9	----	198-213 (206)	11.3-12.7 (12.0)	0.98
Bidestan	LV	4	-22 to -25	-9.6 to -12.2	----	212-231 (222)	13.5-16.2 (14.9)	1.08
	LV	6	-24 to -27	-8.2 to -10.3	----	221-246 (234)	11.8-14.3 (13.1)	0.84
	LV	6	-----	-14.2 to -16.5	----	263-286 (275)	18.0-19.8 (18.9)	0.92
	LV	4	-17 to -20	-11.5 to -13.3	----	251-270 (261)	15.5-17.2 (16.4)	1.15
	VL	4	-----	-3.7 to -6.2	----	290-303 (297)	6.0-9.5 (7.8)	0.78
	VL	6	-19 to -21	-11.3 to -14.1	----	264-282 (273)	15.3-18.0 (16.7)	0.85
	VL	7	-----	-7.5 to -10.2	----	296-313 (305)	11.1-14.2 (12.7)	0.97
	LVS	5	-----	-----	256- 287	312-332 (322)	35.0-36.9 (36.0)	1.20
	LVS	6	-----	-----	230- 246	317-328 (323)	33.5-34.3 (33.9)	1.15
	LVS	6	-----	-----	260- 277	295-309 (302)	35.3-36.6 (36.0)	1.10

جدول ۲. نتایج ریزدماسنجی میان بارهای سیال در رگه‌های باریت تأخیری ذخایر مس ناحیه معدنی کوه جارو. حروف اختصاری مشابه جدول ۱ است.

Table 2. Microthermometric measurements of fluid inclusions in late stage barite veins from the copper deposits of the Kuh-e Jarou Mining District. Symbols is similar to the Table 1.

Deposits	Type	n	Te (°C)	Tm _{ice} (°C)	Th _{LV} (°C)	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Density (g/cm ³)
Jarou	LV	4	-21 to -24	-4.5 to -6.0	201-210 (206)	7.2-9.2 (8.2)	0.98
	LV	4	?	-5.3 to ?	161-175 (168)	8.3-? (8.3)	0.93
	LV	4	?	-0.8 to -2.1	155-168 (162)	1.4-3.6 (2.5)	1.00
	LV	4	-22 to -26	-5.1 to -7.5	167-193 (180)	8.0-11.1 (9.6)	1.00
	LV	3	?	-3.3 to -5.9	196-212 (204)	5.4-9.1 (7.2)	1.02
Gomosh Dash	LV	4	-----	-7.4 to -9.1	201-212 (207)	11.0-13.0 (12)	0.94
	LV	5	-17 to -19	-5.2 to -7.3	185-197 (191)	8.1-11.0 (9.6)	0.87
	LV	6	-----	-10.5 to -13.5	203-213 (208)	14.5-17.3 (16.0)	0.84
	LV	4	-18 to -21	-9.7 to -11.7	220-232 (226)	13.6-15.7 (14.7)	1.01
	LV	3	-18 to -21	-6.3 to -8.4	198-205 (202)	9.6-12.2 (11.0)	0.95
Ghezel Cheshme	LV	4	-18 to -21	-3.1 to ?	186-190 (188)	5.1-? (5.1)	0.90
	LV	4	-----	-1.1 to -3.2	156-172 (164)	1.9-5.3 (3.6)	0.92
	LV	4	-----	-4.0 to -6.1	162-178 (170)	6.5-9.3 (8.0)	0.84
	LV	3	-19 to -22	-2.5 to ?	184-193 (189)	4.2-? (4.2)	0.87
	VL	4	-18 to -20	-3.3 to -5.0	160-174 (167)	5.4-8.0 (6.7)	0.95
Afshar-Abad	LV	3	-----	-----	185-205 (195)	-----	-----
	LV	4	-----	-----	175-195 (185)	-----	-----
	LV	5	-----	-----	212-225 (219)	-----	-----
	LV	4	-----	-----	210-220 (215)	-----	-----
Bidestan	LV	4	-21 to -23	-4.7 to -5.8	189-196 (193)	7.5-9.0 (8.3)	1.00
	LV	5	-----	-3.0 to -4.2	190-206 (198)	5.0-6.7 (5.9)	0.84
	LV	5	-----	-5.3 to -6.8	223-236 (230)	8.3-10.2 (9.3)	0.95
	LV	6	-18 to -22	-7.1 to -9.5	234-245 (240)	10.6-13.4 (12.0)	1.02
	LV	3	-----	-8.1 to -9.5	208-213 (211)	11.8-13.4 (12.6)	0.94



شکل ۱۴. نمودارهای ستونی دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری در میان‌بارهای سیال کانسار مس جارو. A: رگه کوارتز- کالکوپیریت و B: رگه باریت تأخیری

Fig. 14. Histogram diagrams of homogenization temperature, density and salinity in fluid inclusions of the Jarou copper deposit. A: quartz-chalcopyrite vein, and B: Late stage barite vein

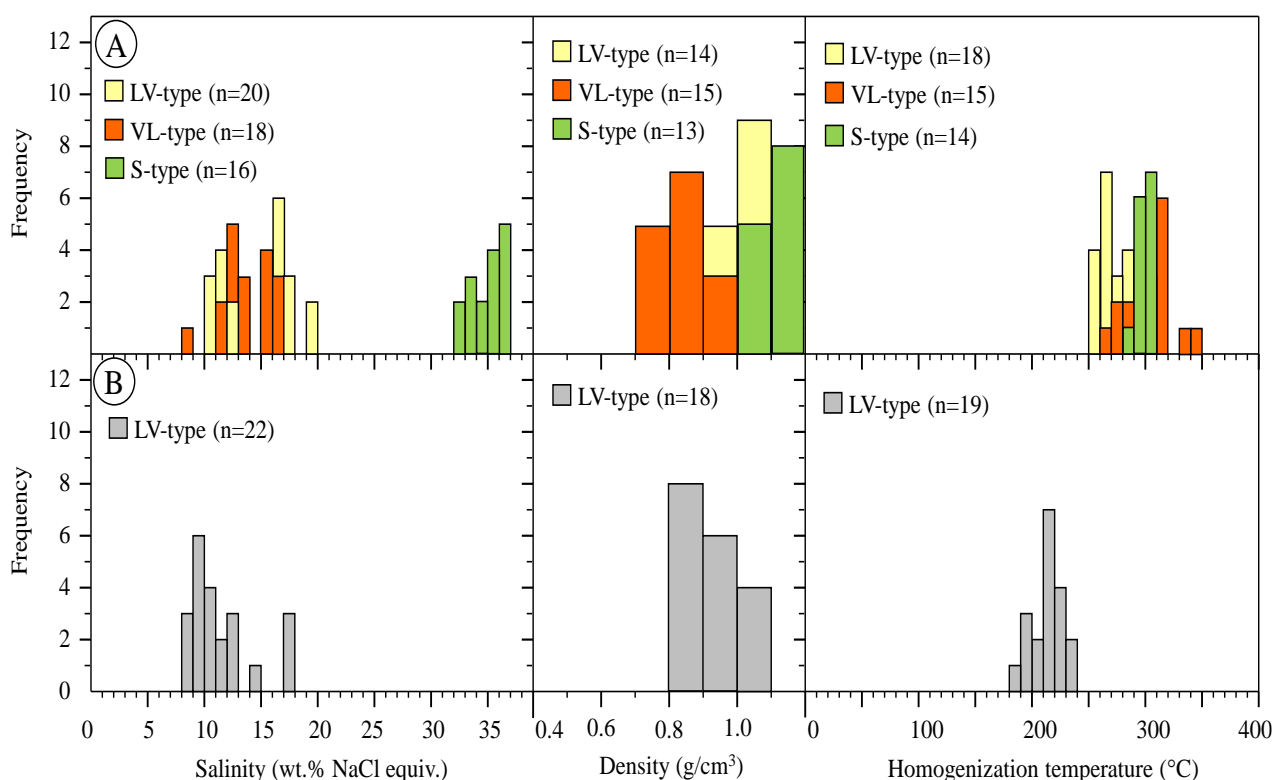
درصد) در میزبان کوارتز نیز بین ۲۷۵ تا ۳۴۶ درجه سانتی گراد (متوسط ۳۱۰ درجه سانتی گراد) به فاز مایع و تغییرات $T_{m_{ice}}$ در آنها بین ۵/۶- تا ۱۲/۲- درجه سانتی گراد (متوسط ۹/۰- درجه سانتی گراد) معادل شوری ۸۷ تا ۱۶/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد (جدول ۱). چگالی این میان‌بارها نیز بین ۰/۷۶ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی متر مکعب، متغیر است. میان‌بارهای LVS با حجم حباب گاز کمتر از ۳۰ درصد، طی بررسی‌های ریزدماسنجی تنها از طریق محو شدن فاز حباب به فاز مایع همگن شدند. تغییرات T_{m_h} در این میان‌بارها بین ۲۲۱ تا ۲۷۵ درجه سانتی گراد (متوسط ۲۵۰ درجه سانتی گراد) ثبت شد که شوری محاسبه شده بر مبنای آن بین ۳۳/۰ تا ۳۶/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد. دمای همگن شدن فاز حباب گاز ($T_{h_{LV}}$) نیز در آنها بین

میان‌بارهای سیال کانسار گوموش داش

طبق بررسی‌های پتروگرافی، به ترتیب فراوانی سه نوع میان‌بار LV، VL و LVS در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و یک نوع میان‌بار LV در رگه‌های باریت تأخیری در کانسار گوموش داش، تشخیص داده شد. بر اساس نتایج ریزدماسنجی، تغییرات $T_{m_{ice}}$ و $T_{h_{LV}}$ میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۶۰ تا ۸۰ درصد) با میزبان کوارتز به ترتیب بین ۲۵۴ تا ۳۰۶ درجه سانتی گراد (متوسط ۲۸۰ درجه سانتی گراد) به فاز مایع و ۷/۲- تا ۱۶/۵- درجه سانتی گراد (متوسط ۱۲- درجه سانتی گراد)، به دست آمد. این مقادیر معادل شوری ۱۰/۷ تا ۱۹/۸ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۹۱ تا ۱/۱۵ گرم بر سانتی متر مکعب است (شکل ۱۵- A). مقادیر $T_{h_{LV}}$ میان‌بارهای سیال VL (با درجه پرشدگی ۲۰ تا ۵۰

۱۸۵ تا ۲۳۲ درجه سانتی گراد (متوسط ۲۰۸ درجه سانتی گراد) به فاز مایع و تغییرات $T_{m_{ice}}$ در آنها بین ۵/۲- تا ۱۳/۵- درجه سانتی گراد (متوسط ۹/۳- درجه سانتی گراد)، به دست آمد (شکل ۱۵-B). شوری محاسبه شده بر مبنای $T_{m_{ice}}$ بین ۸/۱ تا ۱۷/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۴ تا ۱/۰۱ گرم بر سانتی متر مکعب، به دست آمد (جدول ۲).

۲۸۵ تا ۳۱۰ درجه سانتی گراد ثبت شد (جدول ۱). با توجه به نزدیک بودن دمای همگن شدن نهایی میان بارهای LV، VL و LVS در رگه کوارتز- کالکوپیریت (شکل ۱۵)، چگالی میان بارهای LVS در کانسار گوموش داش بین ۱/۰ تا ۱/۲ گرم بر سانتی متر مکعب، به دست آمد. طبق شواهد ریزدماسنجی، مقادیر Th_{LV} میان بارهای LV (با درجه پرشدگی ۷۰ تا ۹۰ درصد) در میزبان باریت‌های تأخیری کانسار گوموش داش بین



شکل ۱۵. نمودارهای ستونی دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری در میان بارهای سیال کانسار مس گوموش داش. A: رگه کوارتز- کالکوپیریت و B: رگه باریت تأخیری

Fig. 15. Histogram diagrams of homogenization temperature, density and salinity in fluid inclusions of the Gomosh Dash copper deposit. A: quartz-chalcopyrite vein, and B: late barite vein

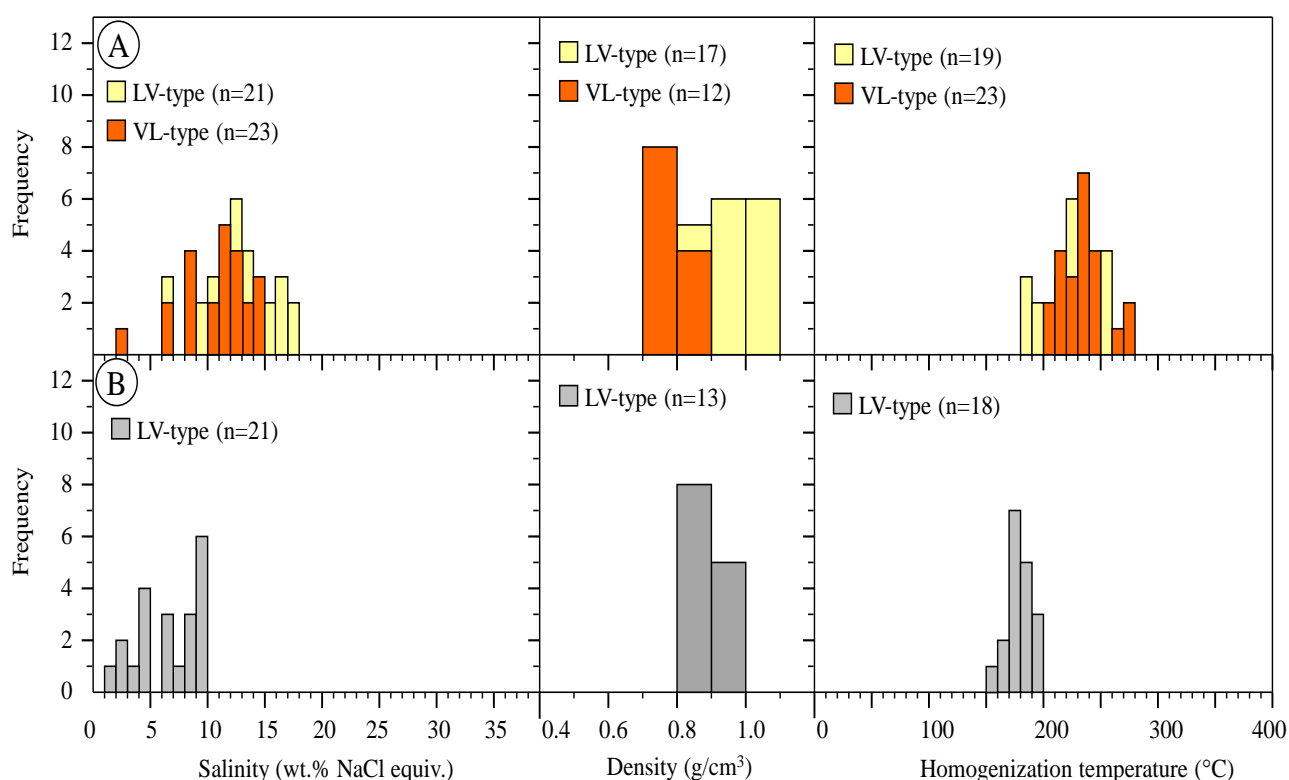
ریزدماسنجی، تغییرات $T_{m_{ice}}$ و Th_{LV} میان بارهای LV (با درجه پرشدگی ۶۵ تا ۸۵ درصد) با میزبان کوارتز به ترتیب بین ۱۸۸ تا ۲۵۶ درجه سانتی گراد (متوسط ۲۲۰ درجه سانتی گراد) به فاز مایع و ۴/۱- تا ۱۳/۳- درجه سانتی گراد (متوسط ۸/۵- درجه سانتی گراد)، به دست

میان بارهای سیال کانسار قزل چشمه

به ترتیب فراوانی سه نوع میان بار LV، VL و V در رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و دو نوع میان بار LV و L در رگه‌های باریت تأخیری در کانسار قزل چشمه تشخیص داده شد. بر اساس نتایج بررسی‌های

مکعب متغیر است. مقادیر Th_{LV} میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۵۰ تا ۸۰ درصد) در میزبان باریت‌های تأخیری کانسار قزل‌چشمه بین ۱۵۶ تا ۱۹۳ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و تغییرات Tm_{ice} در آنها بین ۱/۱- تا ۶/۱- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۳/۶- درجه سانتی‌گراد)، به دست آمد (شکل ۱۶-B). شوری محاسبه‌شده بین ۱/۹ تا ۹/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۴ تا ۰/۹۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد (جدول ۲).

آمد. این مقادیر معادل شوری ۶/۶ تا ۱۷/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۹ تا ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (شکل ۱۶-A). مقادیر Th_{VL} میان‌بارهای VL (با درجه پرشدگی ۱۰ تا ۲۰ درصد) در میزبان کوارتز نیز بین ۲۰۲ تا ۲۷۸ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۴۰ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و تغییرات Tm_{ice} در آنها بین ۱/۶- تا ۱۰/۳- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۶/۱۵- درجه سانتی‌گراد) معادل شوری ۲/۷ تا ۱۴/۳ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد (جدول ۱). چگالی این میان‌بارها نیز بین ۰/۷۸ تا ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر



شکل ۱۶. نمودارهای ستونی دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری در میان‌بارهای سیال کانسار مس قزل‌چشمه. A: رگه کوارتز- کالکوپیریت و B: رگه باریت تأخیری

Fig. 16. Histogram diagrams of homogenization temperature, density and salinity in fluid inclusions of the Ghezal Cheshme copper deposit. A: quartz-chalcopyrite vein, and B: Late barite vein

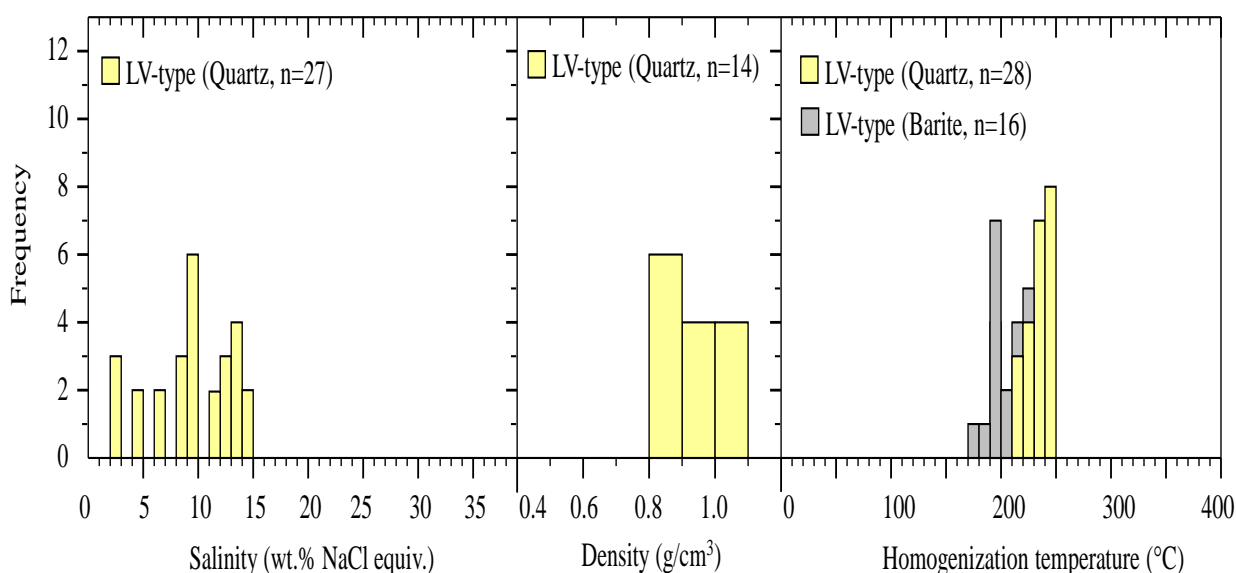
رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و یک نوع میان‌بار LV در رگه‌های باریت تأخیری در کانسار افشارآباد، شناسایی شد. بر اساس نتایج

میان‌بارهای سیال کانسار افشارآباد

طبق شواهد پتروگرافی، به ترتیب فراوانی دو نوع میان‌بار LV و L در

پرشدگی ۷۰ تا ۹۰ درصد) در میزبان باریت‌های تأخیری کانسار افشارآباد بین ۱۷۵ تا ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۹۷ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و تغییرات T_{mice} در آنها به دلیل ریز بودن میان‌بارها (ابعاد کمتر از ۳ میکرون)، قابل اندازه‌گیری نبود. بنابراین، مقادیر شوری و چگالی در میان‌بارهای موجود در باریت‌های رگه‌ای کانسار افشارآباد ثبت نشد.

ریزدماسنجی، مقدار Th_{LV} میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۶۰ تا ۸۰ درصد) در میزبان کوارتز بین ۱۹۵ تا ۲۴۳ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع، به دست آمد. همچنین، تغییرات T_{mice} در این میان‌بارها بین ۱/۵- تا ۱۰/۲- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۵/۸- درجه سانتی‌گراد)، معادل شوری بین ۲/۶ تا ۱۴/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۸ تا ۱/۰۸ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد (شکل ۱۷). مقادیر Th_{LV} میان‌بارهای LV (با درجه



شکل ۱۷. نمودارهای ستونی دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری در میان‌بارهای سیال رگه‌های کوارتز- کالکوپریت و باریت تأخیری کانسار مس افشارآباد

Fig. 17. Histogram diagrams of homogenization temperature, density and salinity in fluid inclusions of the quartz-chalcopyrite and late stage barite vein at the Afshar Abad copper deposit.

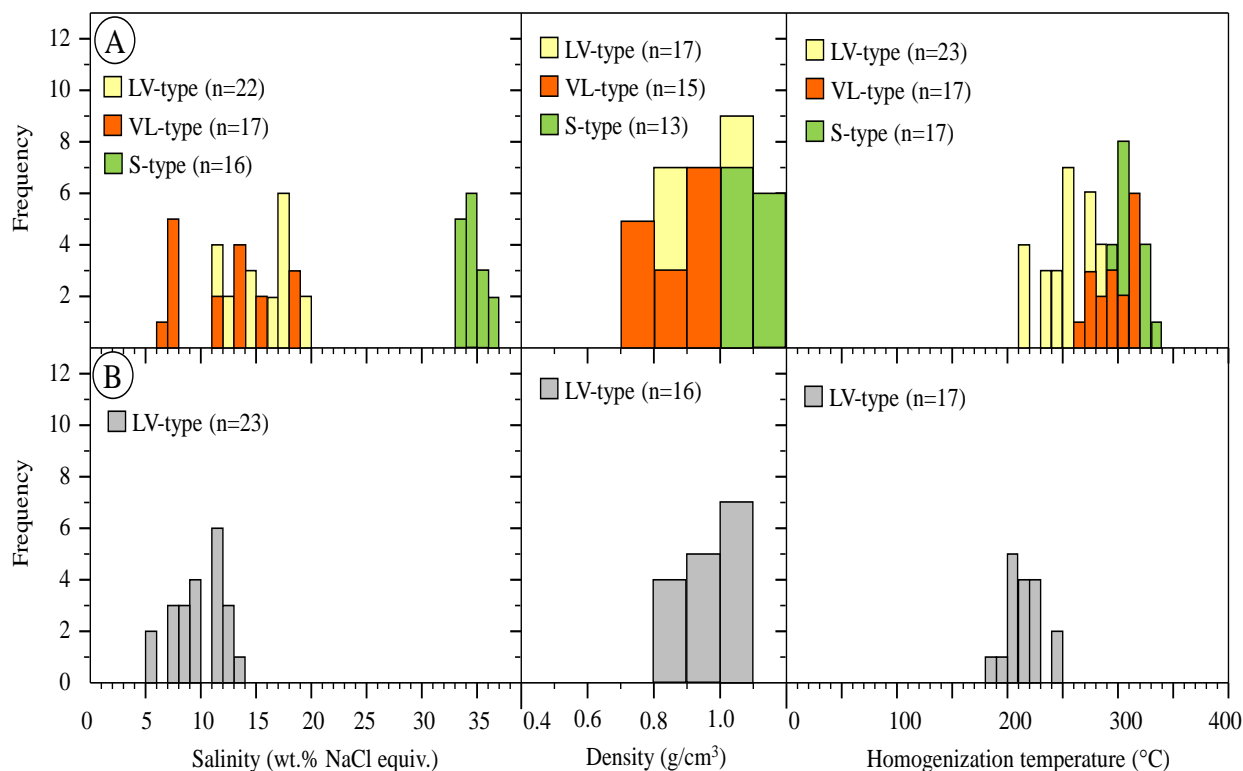
سانتی‌گراد (متوسط ۱۲/۳- درجه سانتی‌گراد)، به دست آمد. این مقادیر معادل شوری ۱۱/۸ تا ۱۹/۸ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۴ تا ۱/۱۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب است (شکل ۱۸- A). مقادیر Th_{VL} میان‌بارهای سیال VL (با درجه پرشدگی ۱۰ تا ۳۰ درصد) در میزبان کوارتز نیز بین ۲۶۴ تا ۳۱۳ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۸۸ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و تغییرات T_{mice} در آنها بین ۳/۷- تا ۱۴/۱- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۹/۰- درجه سانتی‌گراد) معادل شوری ۶/۰ تا

میان‌بارهای سیال کانسار بیدستان

به ترتیب فراوانی سه نوع میان‌بار LV، VL و LVS در رگه‌های کوارتز- کالکوپریت و دو نوع میان‌بار LV و VL در رگه‌های باریت تأخیری در کانسار بیدستان، مشاهده شد. بر اساس نتایج ریزدماسنجی، تغییرات Th_{LV} و T_{mice} میان‌بارهای LV- (با درجه پرشدگی ۷۰ تا ۸۰ درصد) با میزبان کوارتز به ترتیب بین ۲۱۲ تا ۲۸۶ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد) به فاز مایع و ۸/۲- تا ۱۶/۵- درجه

ریزدماسنجی، مقادیر Th_{LV} میان‌بارهای LV (با درجه پرشدگی ۷۰ تا ۹۰ درصد) در میزبان باریت‌های تأخیری کانسار بیدستان بین ۱۸۹ تا ۲۴۵ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۱۷ درجه سانتی‌گراد) و تغییرات Tm_{ice} در آنها بین ۳/۰- تا ۹/۵- درجه سانتی‌گراد (متوسط ۶/۳- درجه سانتی‌گراد)، به دست آمد (شکل ۱۸-B). شوری محاسبه‌شده بر مبنای Tm_{ice} بین ۵/۰ تا ۱۳/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام و چگالی بین ۰/۸۴ تا ۱/۰۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد (جدول ۲). به دلیل ریز بودن میان‌بارهای VL (ابعاد کمتر از ۳ میکرون و درجه پرشدگی کمتر از ۱۰ درصد) در باریت‌های تأخیری کانسار بیدستان، ثبت تغییرات Th_{LV} و Tm_{ice} و محاسبه مقادیر شوری و چگالی در این نوع میان‌بارها میسر نشد.

۱۷۰ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد (شکل ۱۸). چگالی این میان‌بارها نیز بین ۰/۷۸ تا ۰/۹۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است. میان‌بارهای LVS با حجم حباب گاز ۳۰ تا ۵۰ درصد، مشابه میان‌بارهای LVS کانسار گوموش داش طی بررسی‌های ریزدماسنجی از طریق محو شدن فاز گاز به فاز مایع همگن شدند. تغییرات Tm_h در این میان‌بارها بین ۲۳۰ تا ۲۸۷ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد) ثبت شد که شوری محاسبه‌شده بر مبنای آن بین ۳۳/۵ تا ۳۷/۰ درصد وزنی معادل نمک طعام، به دست آمد. دمای همگن شدن فاز گاز (Th_{LV}) نیز در آنها بین ۲۹۵ تا ۳۳۲ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۳۱۳ درجه سانتی‌گراد)، ثبت شد (جدول ۱) و چگالی میان‌بارهای LVS بین ۱/۱ تا ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب به دست آمد. طبق نتایج بررسی‌های



شکل ۱۸. نمودارهای ستونی دمای همگن شدن نهایی، چگالی و شوری در میان‌بارهای سیال کانسار مس بیدستان. A: رگه کوارتز- کالکوپیریت و B: رگه باریت تأخیری. دمای همگن شدن، چگالی و شوری در میان‌بارهای VL باریت به دلیل ریز بودن قابل اندازه‌گیری نبود.

Fig. 18. Histogram diagrams of homogenization temperature, density and salinity in fluid inclusions of the Bidestan copper deposit. A: quartz-chalcopyrite vein, and B: Late stage barite vein. Homogenization temperature, density and salinity could not be measured in VL fluid inclusions of barite crystals due to their fineness.

بحث

عوامل کنترل کننده کانه‌زایی

بر اساس شواهد صحرایی، زمین‌شناسی ساختاری - کانه‌زایی، دگرسانی و میان‌بارهای سیال انجام شده در این پژوهش، به نظر می‌رسد تمرکز مس در کانسارهای ناحیه جارو در ارتباط با عوامل کلیدی زیر رخ داده است:

الف) عناصر ساختاری: طبق شواهد ساختاری به نظر می‌رسد که فعالیت‌های گرمایی در ناحیه معدنی کوه جارو در ارتباط مستقیم با سیستم‌های گسلی کششی در منطقه است (Hosseini, 1996). در محیط‌های کششی شکننا، جابه‌جایی گسل‌ها سبب ایجاد شکستگی‌ها و فضاهای خالی شده و معبر مناسبی را برای جای‌گیری ماگما و سیالات گرمایی آزاد شده از آنها، ایجاد می‌کند (Chi and Xue, 2011) که به ویژه در خصوص ذخایر مس نوع مانتو نظیر Manto Verde گزارش شده است (Pollard, 2006). در چنین شرایطی، سیال کانه‌ساز از راه شکستگی‌ها به سرعت از بخش‌های با فشار بالا به بخش‌های با فشار پایین مهاجرت کرده و در اثر فرایندهایی نظیر جوشش و یا آمیختگی با سیالات دیگر سبب رخداد کانی‌سازی و ته‌نشست فلزات می‌شود (Corbett and Leach, 1998; Al Hakim et al., 2018). چنان‌که اشاره شد، کانی‌سازی در کانسارهای مس کوه جارو اغلب در شکستگی‌های فرعی منشعب از گسل‌های اصلی منطقه شکل گرفته است. شواهد صحرایی گویای آن است که کانی‌سازی مس در چند مرحله انجام شده و تزریق رگه‌ها به صورت برش گسلی، شکستگی‌های مرتبط با گسل‌ها و همچنین در درزه‌های کششی رخ داده است (شکل ۷).

از میان انواع رگه‌ها، مواردی که در ارتباط با شکستگی‌ها هستند، از اهمیت و تولدایی ویژه‌ای برخوردارند؛ به طوری که قرارگیری این رگه‌ها رگچه‌ها اغلب در گسیختگی‌های پُر مانند^۱ و درزه‌های مرتبط با پهنه‌های گسلی اصلی یافت می‌شوند (Cai et al., 2016; Al Hakim et al., 2018; Cheng et al., 2019). طبق این شواهد به نظر می‌رسد، گسترش برش‌ها و گسل‌ها در ناحیه کوه جارو سبب ایجاد فضاهای مناسب برای انتقال حجم کافی سیال کانه‌ساز از توده‌های نفوذی عمیق‌تر

و در نهایت کانی‌سازی رگه - رگچه‌ای در بخش‌های کم‌عمق (عمق کمتر از ۵۰۰ متر) شده است. طبق شواهد به نظر می‌رسد شکل‌گیری کانی‌سازی در ناحیه کوه جارو محدود به افق سنگی ائوسن بالایی بوده (کنترل کننده لیتولوژیک) و عناصر ساختاری و شکستگی‌ها اغلب نقش گسترش دگرسانی و توسعه سامانه کانه‌سازی برون‌زاد را موجب شده‌اند.

ب) پتروفاوریک سنگ میزبان: در ذخایر فلزی با سنگ میزبان ماگمایی نظیر کانسارهای مس نوع مانتو، پتروفاوریک سنگ میزبان اغلب از دیدگاه نفوذپذیری و ارتباط آن با گسترش بخش‌های کانه‌دار اهمیت زیادی دارد (Cox et al., 1979; Cai et al., 2016). در صورتی که سنگ میزبان کانی‌زایی از سنگ‌های دانه‌ریز و بدون تخلخل آتشفشانی - رسوبی نظیر توف شیلی یا مارنی باشد؛ این سنگ‌ها به دلیل نفوذپذیری پایین مانع جریان سیال گرمایی، گسترش آن و در نهایت کاهش عیار کانی‌زایی در مناطق نفوذناپذیر می‌شوند (Chi and Xue, 2011; Henley et al., 2015).

از آنجا که سنگ میزبان اصلی در کانسارهای ناحیه کوه جارو سنگ‌های آتشفشانی و آذرآورای حدواسط تا اسیدی با بافت‌های بادامی شکل و حفره‌دار با ترکیب آندزیت پورفیری، آندزیت بازالتی، لایت آندزیت و ریوداسیت با سن ائوسن بالایی هستند، آثار کانی‌سازی مس در این سنگ‌ها همراه با دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی و سریستی قابل مشاهده است. بنابراین نفوذپذیری بالای سنگ میزبان آتشفشانی منطقه سبب حرکت سیال در جهت‌های مختلف و گسترش ماده معدنی شده و سیال کانه‌دار با رسیدن به سنگ‌های نفوذپذیر و متخلخل آتشفشانی نزدیک سطح زمین، دگرسانی‌های کم‌دمایی را ایجاد کرده که آثار آن در منطقه قابل ردیابی است. در این محل، ته‌نشست کوارتز در دیواره رگه‌ها (دگرسانی سیلیسی) سبب بسته‌شدن رگه‌ها و ایجاد یک معبر غیرفعال برای انتقال محلول‌های کانه‌دار و کاهش نرخ جریان سیال می‌شود (Zhong et al., 2013). مسدود شدن معبرها و افزایش فشار هیدرواستاتیک سیال در ناحیه کوه جارو سبب برشی شدن، باز شدن رگه‌ها و ایجاد معبرهای جدید برای ته‌نشست کانه‌های مس با عیار بیشتر (مرحله

می‌رسد که کاهش تدریجی دمای سیال ناشی از اختلاط با آب‌های جوی، نقش مؤثری در شکل‌گیری رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و پس از آن رخداد باریت‌های رگه‌ای تأخیری در کانسارهای مس ناحیه جارو دارند (شکل ۱۹). طبق نمودار دمای همگن‌شدن در مقابل شوری، به نظر می‌رسد بخش مهمی از کانه‌زایی مس در این ناحیه در نتیجه کاهش فشار ناشی از رخداد گسلش و در پی آن، رقیق‌شدگی با آب‌های جوی، شکل گرفته باشند (شکل ۱۹).

با توجه به سرگذشت زمین‌ساختی ناحیه معدنی و رخداد رشته رگه‌های پر عیار مس با راستای تقریبی ۱۱۰ درجه در انشعابات فرعی گسل جارو با راستای تقریبی N70-80E، وقوع پدیده اختلاط سیال در ارتباط با گسلش در این ناحیه دور از انتظار نیست. همچنین، با توجه به نمودار دمای همگن‌شدن در مقابل شوری و رسم منحنی‌های چگالی با استفاده از معادله ژانگ و فرانتز (Zhang and Frantz, 1987) و منحنی‌های ایزوبار توسط دریزنر و هنریچ (Driesner and Heinrich, 2007)، میان‌بارهای سیال والد در چگالی بین ۱ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب و فشار ۵۰ تا ۱۵۰ بار (متوسط عمق ۴۰۰ متر) تشکیل شده‌اند (شکل ۱۹). پس از آن، در اثر کاهش فشار منطقه ناشی از گسلش و ورود آب‌های جوی کم‌دما، بخش عمده‌ای از میان‌بارهای سیال در اثر کاهش چگالی (بین ۰/۸ تا ۱/۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و فشار (بین ۱۰ تا ۱۷۰ بار)، در کانسارهای مس ناحیه معدنی کوه جارو شکل گرفته‌اند.

نوع کانه‌زایی

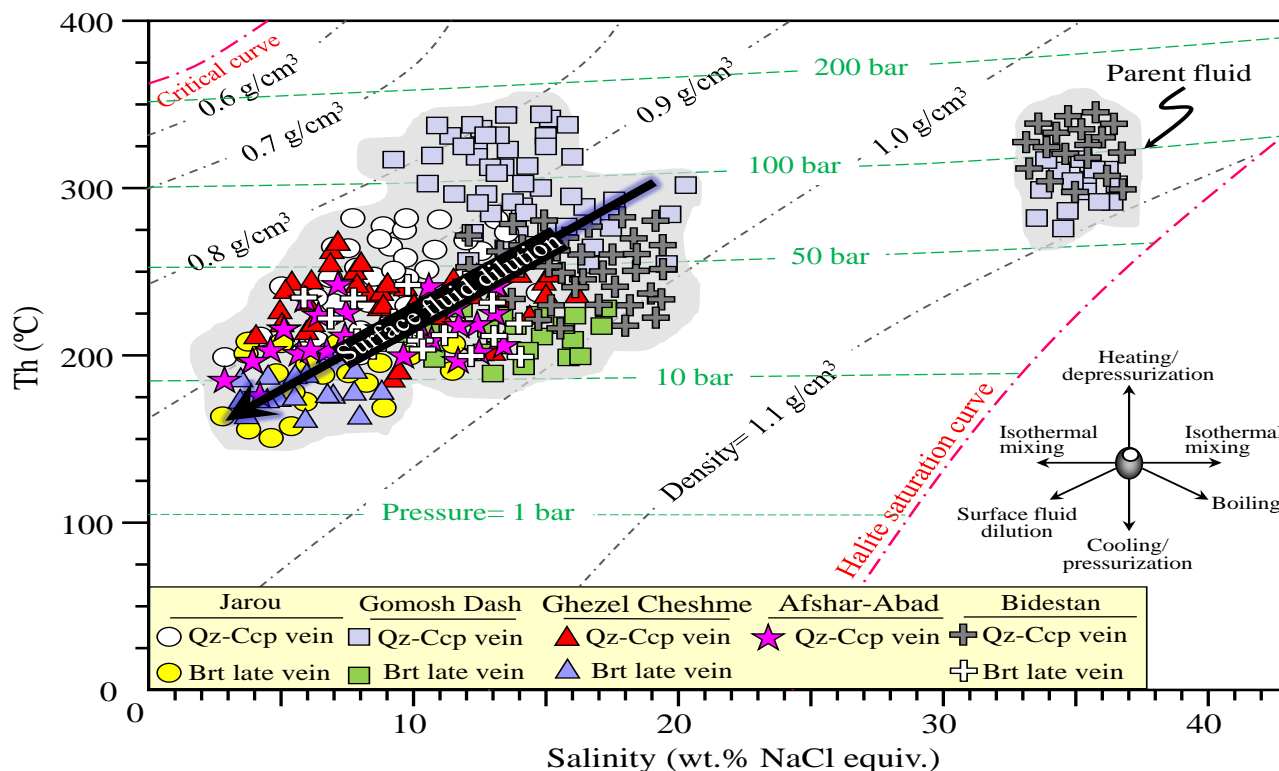
توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه در کمربند کردیلرای شیلی (شمال سانتیاگو) نخستین بار توسط رویز و همکاران (Ruiz et al., 1971) به عنوان میزبان ذخایر مس چینه‌کران معرفی شده که بعدها توسط ساتو (Sato, 1984) به عنوان کانسارهای مس نوع مانتو نام‌گذاری شد. نمونه‌های مشابهی از این ذخایر بعدها در امریکای شمالی، شمال غرب کانادا و شمال میشیگان به عنوان کانسارهای مس **طبقات سرخ آتشفشانی**^۱، معرفی شد (Kirkham, 1996; Cabral and Beaudoin, 2007).

کانه‌زایی برشی متوسط عیار بورنیت- کالکوسیت \pm کوولیت، شده است. تشکیل رگه‌های مس با عیار بالا همراه با بافت برشی از ویژگی‌های بارز در ذخایر مس نوع مانتو بوده که به ویژه در کانسارهای مس شیلی گزارش شده است (Klohn et al., 1990; Wilson et al., 2003).

ج) نقش فشار-دما: رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت در کانسارهای مس ناحیه معدنی کوه جارو که مورد بررسی ریزدماسنجی قرار گرفتند، محصول نهشت سیلیس از محلول‌های آبگین گرم هستند که اغلب درون شکستگی‌ها و فضاهای خالی سنگ شکل گرفته‌اند. با افزایش دما و فشار، قابلیت حلالیت آب به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد و می‌تواند مقادیر زیادی از کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ را حل کند. این شرایط، سیلیس حل‌شده در آب با ترکیب H_4SiO_4 ، یکی از اجزای بارز محلول‌های گرمابی و بیانگر حضور معمول کوارتز در رگه‌هاست. علاوه بر این، عوامل دیگری علاوه بر فشار و دما، نظیر pH و شوری در حلالیت سیلیس نقش مهمی بازی می‌کنند (Heinrich and Candela, 2014).

آب علاوه بر سیلیس، می‌تواند بسیاری از عناصر اصلی دیگر از جمله فلزات قلیایی (نظیر Na^+ ، K^+ و Ca^{2+})، را در خود حل کند. در یک سیستم گرمابی در حال تکوین، دامنه تفکیک بین مذاب و سیال متغیر بوده و به طور کامل در کنترل غلظت Cl^- و سایر لیگاندها در سیال است (Liebscher and Heinrich, 2007).

طبق پژوهش بویرون و همکاران (Boiron et al., 2010)، رخداد فرایندهای اختلاط و کاهش دمای ناشی از رقیق‌شدگی سیال، کاهش ناگهانی فشار (ناشی از ورود سیال به مناطق کم‌فشار از جمله مناطق گسلش و افق‌های بالاتر)، شرایط مناسبی را برای ناپایداری کمپلکس‌های فلزی به ویژه کلریدهای سرب، مس و اورانیوم فراهم می‌کند که در نتیجه آن ته‌نشینی عناصر فلزی مختلف بستگی به محتوای فلزی و حضور بنیان سولفور (HS⁻ و S²⁻) در محیط دارد. با استفاده از نمودار دمای همگن‌شدن نهایی در مقابل شوری و مقایسه آن با روندهای مختلف تحول سیال توسط ویلکینسون (Wilkinson, 2001)، چنین به نظر



شکل ۱۹. نمودار دوتایی دمای همگن شدن در مقابل شوری و نمایش موقعیت میان‌بارهای سیال رگه‌های کوارتز- کالکوپیریت و باریت‌های رگه‌های تأخیری در کانسارهای مس جارو، گوموش داش، قزل‌چشمه، افشارآباد و بیدستان. منحنی‌های چگالی با استفاده از معادله ژانگ و فرانتر (Zhang and Frantz, 1987) و منحنی‌های ایزوبار از دریزنر و هنریچ (Driesner and Heinrich, 2007)، اقتباس شده است. روندهای مختلف تحول سیال نیز با استفاده از نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001)، رسم شده است.

Fig. 19. Binary diagram of homogenization temperature versus salinity and presentation of fluid inclusion assemblage data from quartz-chalcopyrite and late barite veins at the Jarou, Gomosh Dash, Ghezal Cheshme, Afshar Abad and Bidestan copper deposits. The density and isobar curves plotted by Zhang and Frantz (1987) and Driesner and Heinrich (2007), respectively. Various fluid evolution trends adopted by Wilkinson (2001).

سن ائوسن- الیگوسن هستند (Khoei et al., 1999). تشکیل سنگ میزبان این ذخایر مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی واقع در خشکی (کانسارهای غیرهمزاد با ارتباط آذرین نامعلوم) با ترکیب حدواسط تا اسیدی است که از دیدگاه تکتونوماگمایی، اغلب به موازات زون‌های فرورانش حاشیه قاره‌ها شکل گرفته‌اند و ذخایر مس نوع مانتو از مهم‌ترین ذخایر تشکیل شده در این محیط‌ها هستند (Lefebvre and Church, 1996; Cabral and Beaudoin, 2007).

تاکنون مثال‌های متعددی از ذخایر مس نوع مانتو یا طبقات سرخ آتشفشانی در ایران معرفی شده است که از جمله آنها می‌توان به

کانسارهای مس نوع مانتو به دلیل عیار فلزی بالا (بیش از ۸ درصد مس)، عمق کم کانه‌زایی (کمتر از ۱ کیلومتر)، همراهی با فلزات گران‌بها به ویژه نقره و توزیع فضایی در سنگ میزبان آتشفشانی- رسوبی کراتاسه- ترشیری از دیدگاه پی‌جویی همواره از اهمیت بالایی برخوردار هستند (Rosúa et al., 2014).

در گستره وسیعی از دنباله آتشفشانی مردآباد- بوبین زهرا، کانسارها و اندیس‌های متعدد مس نظیر اپیک، چاقو، قمشلو و بوجعفر همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری پرونزد دارند که این کانسارها اغلب از نوع ذخایر مس رگه‌ای با سنگ میزبان آتشفشانی آندزیتی و بازالتی به

مجموع، با در نظر گرفتن کلیه شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، بافت و ساخت، جنس سنگ میزبان، نوع دگرسانی و میان‌بارهای سیال، در مجموعه کانسارهای مس ناحیه معدنی کوه جارو، می‌توان گفت که این ذخایر دارای بیشترین شباهت با ذخایر نوع ماتو در شیلی یا مس طبقات سرخ آتشفشانی در شمال امریکا، هستند. از آنجایی که ویژگی‌های ذخایر مس نوع ماتو در شیلی دارای وجه اشتراک‌هایی با دیگر کانسارهای مس نظیر طبقات سرخ آتشفشانی و میشیگان یا کونیاوی است، ویژگی‌های این ذخایر با کانسارهای ناحیه کوه جارو در جدول ۳ مقایسه شده است.

نتیجه‌گیری

کمر بند مس ساوه- کاشان- قم، در بخش شمالی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر به عنوان یکی از قدیمی‌ترین پهنه‌های کانه‌سازی طلا و مس در ایران است که دنباله آتشفشانی مردآباد- بوین زهر با سن ائوسن بالایی- الیگوسن در شمال آن واقع شده است. در این دنباله آتشفشانی کانسارهای مس جارو، گوموش داش، قزل‌چشمه، یدستان و افشارآباد شناسایی شده است که با عنوان "ناحیه معدنی کوه جارو" شناخته می‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن بالایی به عنوان سنگ میزبان اصلی کانسارهای مس ناحیه کوه جارو به شمار می‌روند که اغلب توسط توده‌های نفوذی پس از ائوسن قطع شده‌اند. از آنجا که سنگ میزبان اصلی در کانسارهای ناحیه کوه جارو سنگ‌های آتشفشانی و آذرآرایی حدواسط تا اسیدی با بافت‌های بادامی شکل و حفره‌دار هستند، آثار کانی‌سازی مس در این سنگ‌ها همراه با دگرسانی‌های سیلیسی، کلریتی و سریسیتی قابل مشاهده است. طبق شواهد، کاهش تدریجی دمای سیال ناشی از اختلاط با آب‌های جوی، نقش مؤثری در شکل‌گیری رگه‌های کوارتز- کالکوپریت و پس از آن رخداد باریت‌های رگه‌ای تأخیری در کانسارهای مس ناحیه جارو داشته است. با در نظر گرفتن کلیه شواهد زمین‌شناسی، کانه‌زایی، بافت و ساخت ماده معدنی، نوع سنگ میزبان، دگرسانی و میان‌بارهای سیال در مجموعه کانسارهای مس ناحیه معدنی کوه جارو، می‌توان گفت این ذخایر قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع ماتو در شیلی یا مس طبقات سرخ آتشفشانی در شمال امریکا، هستند.

کانسارهای بهاریه (Rezaeihamid et al., 2019)، ورزگ- قاین (Alizadeh et al., 2013)، معدن بزرگ یا عباس‌آباد (Salehi et al., 2016)، چشمه‌گزر (Mahvashi and Malekzadeh, 2016)، شافارودی (Shafaroudi, 2016)، ماری (Maghfouri et al., 2016) و کشت مهکی (Boveiri et al., 2013)، اشاره کرد. همچنین، بیش از ۳۰ ذخیره و اندیس مس نوع ماتو در شیلی گزارش شده که دارای محدوده سنی ژوراسیک تا اوایل ترشیری هستند (Sato, 1984). ذخایر مس نوع ماتو دارای چهار ویژگی اصلی هستند که عبارتند از: ۱) سنگ میزبان آتشفشانی قاره‌ای و دریایی با سن ژوراسیک تا ائوسن؛ ۲) رخداد ماده معدنی به صورت سیمان سنگ‌های برشی یا پرکننده حفره‌های گدازه‌ها؛ ۳) مجموعه کانی‌شناسی کالکوسیت، بورنیت، مس آزاد و کوولیت همراه با کالکوپریت و پیریت؛ و ۴) وجود دگرسانی‌های کم دما نظیر سیلیسی، سریسیتی، کربناتی و کلریتی. عیار مس در ذخایر نوع ماتو بین ۱/۵ تا ۳ درصد وزنی و تناژ بین ۵۰ هزار تن تا ۴۳ میلیون تن است که محتوای نقره در آنها بین ۵ تا ۲۰ گرم در تن و اغلب بدون طلا گزارش شده است (Sato, 1984; Boric et al., 2002). در منطقه کوه جارو ذخیره احتمالی ۲ میلیون تن مس با عیار متوسط ۳ درصد وزنی، گزارش شده است (Kansaran Consultant Engineering Co., 1994).

سنگ میزبان اغلب ذخایر نوع ماتو شامل سنگ‌های آتشفشانی آندزیت تا بازالت با سرشت کالک‌آلکالین پتاسیم بالا تا شوشونیتی است که در محیط‌های فرورانش مشابه منطقه آند یا حوضه‌های پشت‌کمانی تشکیل شده‌اند (Oliveros et al., 2008). بافت‌های پورفیری، آفانتیک، بادامکی و برشی شاخص‌ترین بافت‌های سنگ میزبان هستند که ماده معدنی اغلب در فضا‌های خالی و متخلخل سنگ نهشته می‌شود. تغییرات دمای همگن شدن بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای شوری بین ۲ تا ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام در میان‌بارهای سیال ذخایر نوع ماتو گزارش شده است (Ramirez et al., 2006; Kojima et al., 2008). همچنین، تغییرات دمای همگن شدن بین ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و محتوای شوری بین ۲ تا ۳۷ درصد وزنی معادل نمک طعام در میان‌بارهای سیال ذخایر مس ناحیه کوه جارو به دست آمده است. در

جدول ۳. ویژگی‌های مختلف کانسارهای مس ناحیه کوه جارو با نوع کانسارهای مشابه (نظیر کانسارهای نوع میشیگان، مانتو و طبقات سرخ آتشفشانی)

Table 3. The main characteristics of the Kuh-e Jarou Mining District copper deposits compared with the similar deposit types (including Michigan, Manto-type, and volcanic red-beds).

Characteristic	Chilean Manto-type	Michigan or Keweenawan	Volcanic redbeds	Kuh-e Jarou Mining District
Host rock	Amygdaloidal andesite flow, basaltic lava, coarse volcanoclastics beds, volcanic tuffs	Toleitic flow basalts with sandstone and conglomerate	Amygdaloidal basaltic flow, pyroclastic rocks with tuff, siltstone and sandstone	Amygdaloidal rhyodacite and trachyandesite, volcanic and volcanoclastics tuff
Magmatic series	Calc-alkaline	Tholeiitic	-----	Calc-alkaline to shoshonitic
Tectonic setting	Back-arc basins, island-arc, continental-arc	Semi continental rift	Continental rift and marginal plates	Continental-arc subduction zone
Mineral assemblage	Chalcocite, bornite, chalcopyrite, pyrite, hematite, Cu-native	Cu- and Ag-native, chalcocite, digenite, malachite and azurite	Cu- and Ag-native, chalcocite, bornite, dejurlite, digenite, pyrite	Bornite, chalcocite, digenite, Cu-native, pyrite, chalcopyrite, and minor galena and sphalerite
Ore texture	Vein-veinlets, strata-bound (restricted to particular units)	Disseminated, open-space filling, massive	Disseminated, open-space filling, vein- and veinlets	Vein and veinlet, breccia, replacement and disseminated
Gangue minerals	Calcite, quartz, epidote, hematite, chlorite and zeolite	Quartz, chlorite, epidote, calcite, and minor zeolite	Calcite, epidote, quartz, chlorite, zeolite	Quartz, calcite, barite, chlorite
Alteration	Silicification, sericitization, propylitic and carbonates	Mostly without distinct alteration related to mineralization	Mostly without distinct alteration related to mineralization	Chloritic, sericitic and argillic
Age	Jurassic to lower Cretaceous	Precambrian	Proterozoic to tertiary	Upper Eocene
References	Kirkham (1984), Wilson (2000) Wilson and Zentilli (2006), Kojima et al. (2008)	Brown (1971), Larson et al. (2003), Rosemeyer (2011)	Lefebure and Church (1996), Cabral and Beaudoin (2007)	This study

قدردانی

نویسندگان از مدیریت سازمان صنایع و معادن استان تهران و شرکت مهندسين مشاور زرآدين گستر به دليل ارائه رهنمودها و همكاري‌هاي

اثربخش كمال سپاس را دارند. همچنين از داوران محترم نشریه زمین‌شناسی اقتصادی و سردبیر نشریه برای ارائه نظرهای مفید و سازنده صمیمانه قدردانی می‌شود.

1. Feather-like ruptures
2. Cu-volcanic redbeds

References

- Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z., Hou, Z. and Zhou, L.M., 2015. Temporal-spatial distribution and tectonic setting of porphyry copper deposits in Iran: Constraints from zircon U-Pb and molybdenite Re-Os geochronology. *Ore Geology Reviews*, 70(4): 385–406.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2015.03.003>
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(2): 211–38.
[https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Aliyari, F., Afzal, P., Harati, H. and Zengqian, H., 2019. Geology, mineralogy, ore fluid characteristics, and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of the Kahang Cu-(Mo) porphyry deposit, Urumieh Dokhtar Magmatic Arc, Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 116: 103238.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103238>
- Alizadeh, V., Momenzadeh, M. and Emami, M.H., 2013. Petrography, geochemistry, mineralogy, fluid inclusions and mineralization study of Vorezg-Qayen copper deposit. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 22(86): 47–58 (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22071/GSJ.2012.54056>
- Al Hakim, A.Y., Melcher, F., Prochaska, W., Bakker, R. and Rantitsch, G., 2018. Formation of epizonal gold mineralization within the Latimojong Metamorphic Complex, Sulawesi, Indonesia: Evidence from mineralogy, fluid inclusions and Raman spectroscopy. *Ore Geology Reviews*, 97(2): 88–108.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.05.001>
- Asadi, S., Moore, F. and Zarasvandi, A., 2014. Discriminating productive and barren porphyry copper deposits in the southeastern part of the central Iranian volcano-plutonic belt, Kerman region, Iran: A review. *Earth-Science Reviews*, 138(5): 25–46.
<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.001>
- Asgharzadehasl, H., Mehrabi, B. and Tale Fazel, E., 2017. Mineralogy, occurrence of mineralization and temperature-pressure conditions of the Agh-Daragh polymetallic deposit in the Ahar-Arasbaran metallogenic area. *Journal of Economic Geology*, 9(1): 1–23 (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/econg.v9i1.44244>
- Bakker, R., 2012. Package FLUIDS. Part 4: Thermodynamic modeling and purely empirical equations for H₂O-NaCl-KCl solutions. *Mineralogy and Petrology*, 105(6): 1–29.
<https://doi.org/10.1007/s00710-012-0192-z>
- Bazin, D. and Hubner, H., 1969. Copper deposits in Iran. Geological survey of Iran, Tehran, Report 13, 232 pp.
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J. and Berberian, M., 1982. Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of Geological Society of London*, 139(2): 605–14.
<https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>
- Bodnar, R.J., Sterner, S.M. and Hall, D.L., 1989. SALTY: a FORTRAN program to calculate compositions of fluid inclusions in the system NaCl–KCl–H₂O. *Computer & Geoscience*, 15(1): 19–41.
[https://doi.org/10.1016/0098-3004\(89\)90053-8](https://doi.org/10.1016/0098-3004(89)90053-8)
- Boiron, M.C., Cathelineau, M. and Richard, A., 2010. Fluid flows and metal deposition near basement/cover unconformity: Lessons and analogies from Pb–Zn–F–Ba systems for the understanding of Proterozoic U deposits. *Geofluids*, 10(6): 270–292.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-8123.2010.00289.x>
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2002. The Geology of the El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In: T.M. Porter (Editors), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective*. Porter GeoConsultancy, Adelaide, pp. 163–184.
- Brown, A.C., 1971. Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonagon County, Michigan. *Economic Geology*, 66(4): 543–573.
[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(89\)90022-3](https://doi.org/10.1016/0009-2541(89)90022-3)
- Brown, P.E., 1989. Flincor: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, 74(11–12): 1390–1393.
<https://pubs.geoscienceworld.org/msa/ammin/article-abstract/74/11-12/1390/42220/FLINCOR-a-microcomputer-program-for-the-reduction?redirectedFrom=fulltext>
- Boveiri, M., Rstad, E., Kojima, S. and Rashidnejad, N., 2013. Volcanic redbed-type copper mineralization in the Lower Cretaceous volcano-sedimentary sequence of the Keshtmahaki deposit, southern Sanandaj-Sirjan Zone, Iran. *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen*, 27(5): 107–121.
<https://doi.org/10.1127/0077-7757/2013/0236>
- Cabral, A.R. and Beaudoin, G., 2007. Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, 42(3): 901–912.
<https://doi.org/10.1007/s00126-007-0141-7>
- Cai, Y.T., Ni, P., Wang, G.G., Pana, J.Y., Zhu, Z.T., Chena, H. and Ding, J-Y., 2016. Fluid inclusion and H–O–S–

- Pb isotopic evidence for the Dongxiang Manto-type copper deposit, South China. *Journal of Geochemical Exploration* 171(2): 71–82.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.01.019>
- Cheng, X., Yang, F., Zhang, R. and Yang, C., 2019. Hydrothermal evolution and ore genesis of the Hongshi copper deposit in the East Tianshan Orogenic Belt, Xinjiang, NW China: Constraints from ore geology, fluid inclusion geochemistry and H-O-S-He-Ar isotopes. *Ore Geology Reviews*, 109(5): 79–100.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.03.035>
- Chi, G. and Xue, Ch., 2011. An overview of hydrodynamic studies of mineralization. *Geosciences Frontiers*, 2(3): 423–438.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2011.05.001>
- Corbett, G. and Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: Structure, alteration, and mineralization. Society of Economic Geologists, United State of American, 237 pp.
- Cox, K.G., Bell, J.D. and Pankhursts, R.J., 1979. The interpretation of igneous rocks. Springer, London, 450 pp.
- Driesner, T. and Heinrich, C.A., 2007. The system H₂O–NaCl. Part I: Correlation formulae for phase relations in temperature–pressure–composition space from 0 to 1000 °C, 0 to 5000 bar, and 0 to 1 XNaCl. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71(5): 4880–4901.
<https://doi.org/10.1016/j.gca.2006.01.033>
- Hall, D.L., Sterner, S.M. and Bodnar, R.J., 1988. Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions. *Economic Geology*, 83(3): 197–202.
<https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.83.1.197>
- Heinrich, C.A. and Candela. P.A., 2014. Fluids and Ore Formation in the Earth's Crust. *Treatise on Geochemistry*, 2(1): 1–28.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.01101-3>
- Henley, R.W., King, P.L., Wykes, J.L., Renggli, C.J., Brink, F.J., Clark, D.A. and Troitzsch, U., 2015. Porphyry copper deposit formation by sub-volcanic sulphur dioxide flux and chemisorption. *Nature Geoscience*, 8(3): 210–215.
<https://doi.org/10.1038/ngeo2367>
- Hosseini, M., 1996. Economic geology of the southeast Eshtehard. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 478 pp.
- Jamali, H., Dilek, Y., Daliran, F., Yaghubpur, A.M. and Mehrabi, B., 2009. Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar-Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *International Geology Review*, 52(7): 608–630.
<https://doi.org/10.1080/00206810903416323>
- Javidi Moghaddam, M., Hassan Karimpour, M., Malekzadeh Shafaroudi, A., Francisco Santos, J. and Helena Mendes, M., 2019. Geochemistry, Sr-Nd isotopes and zircon U-Pb geochronology of intrusive rocks: Constraint on the genesis of the Cheshmeh Khuri Cu mineralization and its link with granitoids in the Lut Block, Eastern Iran. *Journal of Geochemical Exploration*, 202(3): 59–76.
<https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.04.001>
- Kansaran Consultant Engineering Co., 1994. Geology and mineral deposits of the southeast Eshtehard (Jarou). Ministry of industrial and mines, 300 pp.
- Khoei, N., Ghorbani, M. and Tajbakhsh, P., 1999. Copper deposits in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 421 pp.
- Kirkham, R.V., 1984. Volcanic red bed copper. Geological Survey of Canada, Canada, Report 36, 37 pp.
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic redbed copper. In: O.R. Eckstrand, W.D. Sinclair and R.I. Thorpe (Editors), *Geology of Canadian mineral deposit types*. Geological Survey of Canada, Canada, pp. 241–252.
- Klohn, E., Holmgren, C., Ruge, H., 1990. El Soldado, a strata-bound copper deposit associated with alkaline volcanism in the Central Chilean Coastal Range. In: L. Fontboté, G.C. Amstutz, M. Cardozo, E. Cedillo and J. Frutos (Editors), *Strata-bound ore deposits in the Andes*. Springer, Berlin, pp. 435–448.
- Kojima, S., Trista-Aguilera, D. and Hayashi, K., 2008. Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits. *Resource Geology*, 59(3): 87–98.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00081.x>
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Chang, Z. and Johnson, C.A., 2018. Intermediate sulfidation type base metal mineralization at Aliabad-Khanchy, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 93(5): 1–18.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.12.012>
- Kouhestani, H., Mokhtari, M.A.A., Qin, K.Z. and Zhao, J.X., 2019. Fluid inclusion and stable isotope constraints on ore genesis of the Zajkan epithermal base metal deposit, Tarom-Hashtjin metallogenic belt, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 109(3): 564–584.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.05.014>
- Larson, P.B., Maher, K., Ramos, F.C., Chang, Z., Gaspar, M. and Meinert, L.D., 2003. Copper isotope ratios in magmatic and hydrothermal ore-forming environments. *Chemical Geology*, 201(3): 337–350.
<https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2003.08.006>
- Lefebure, D.V. and Church, B.N., 1996. Volcanic Redbed

- Cu, in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles. In: D.V. Lefebure, and T. Höy (Editors), *Metallic Deposits*. Ministry of Employment and Investment, British Columbia, pp. 5–7.
- Liebscher, A. and Heinrich, C.A., 2007. Fluid-fluid interactions in the Earth's Lithosphere. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 65(1): 1–13.
<https://doi.org/10.2138/rmg.2007.65.1>
- Mahdizade Tehrani, S., 1995. Geological map of Karaj, Scale 1:100,000. Geological Survey of Iran.
- Mahvashi, M. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2016. Cheshme Gaz (Nasim) copper deposit (NW Bardeskan): Mineralogy, alteration, geochemistry and model. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 23(3): 419–434.
- Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2015. Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead-zinc (copper) deposit, Eastern Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 107(1): 1–14.
<https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.03.015>
- Maghfouri, S., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., Movahednia, M. and Choulet, F., 2016. Geology, mineralization and sulfur isotopes geochemistry of the Mari Cu (Ag) Manto-type deposit, northern Zanjan, Iran. *Ore Geology Reviews*, 81(5): 10–22.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.10.025>
- Mehrabi, B., Ghasemi Siani, M., Goldfarb, R., Azizi, H., Ganerod, M. and Marsh, E.E., 2016. Mineral assemblages, fluid evolution and genesis of polymetallic epithermal veins, Gulojeh district, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 78(4): 41–57.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.03.016>
- Mehrabi, B., Chaghaneh, N. and Tale Fazel., 2014. The intermediate-sulfidation epithermal of the IV prospect of Golojeh deposit (N. Zanjan): Mineralography, alteration and ore-forming fluid geochemistry evidences. *Journal of Economic Geology*, 6(1): 1–22. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/econg.v6i1.38302>
- Mohammadiasl, Z., Saidi A., Arian, M., Solgi A. and Farhadinejad, T., 2019. Veshnoveh Cu mine located in Kahak South-east geodynamic place (South of Qom). *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 29(114): 175–184. (in Persian with English abstract)
<http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2018.95329.1226>
- Nogole-Sadat, M.A.A. and Hushmandzadeh, A., 1984. Geological map of Saveh, Scale 1:250,000. Geological Survey of Iran.
- Oliveros, V., Féraud, G., Aguirre, L., Ramírez, L., Fornari, M., Palacios, C. and Parada, M., 2008. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile. *Mineralium Deposita*, 43(2): 281–293.
<http://dx.doi.org/10.1007/s00126-007-0146-2>
- Omrani, J., Agard, P., Whitechurch, H., Benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros Mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos*, 106(3): 380–398.
<https://doi.org/10.1016/j.lithos.2008.09.008>
- Pollard, P.J., 2006. An intrusion-related origin for Cu–Au mineralization in iron oxide–copper–gold (IOCG) provinces. *Mineralium Deposita*, 41(2): 179–187.
<https://doi.org/10.1007/s00126-006-0054-x>
- Rabiee, A., Rossetti, F., Tecce, F., Asahara, Y., Azizi, H., Glodny, J., Lucci, F., Nozaem, R., Opitz, J. and Selby, D., 2019. Multiphase magma intrusion, ore-enhancement and hydrothermal carbonatisation in the Siah-Kamar porphyry Mo deposit, Urumieh-Dokhtar magmatic zone, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 110(3): 102930.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.05.016>
- Rahgozar, Sh., 1999. Genesis of the Gomosh Dash polymetallic mine at Kuh-e Jarou area. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 238 pp.
- Rajabpour, S., Behzadi, M., Jiang, S-Y., Rasa, I., Lehmann, B. and Ma, Y., 2017. Sulfide chemistry and sulfur isotope characteristics of the Cenozoic volcanic-hosted Kuh-Pang copper deposit, Saveh county, northwestern Central Iran. *Ore Geology Reviews*, 86(7): 563–583.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.03.001>
- Ramirez, L.E., Palacios, C., Townley, B., Parada, M.A., Sial, A.N., Fernandez-Turiel, J.L., Gimeno, D., Garcia-Valles, M. and Lehmann, B., 2006. The Mantos Blancos copper deposit: An upper Jurassic breccia-style hydrothermal system in the coastal range of northern Chile. *Mineralium Deposita*, 41(3): 246–258.
<https://doi.org/10.1007/s00126-006-0055-9>
- Rezaeihamid, R., Tale Fazel, E. and Niroomand, Sh., 2019. Mineralization and genesis of the Baharieh Cu deposit (NE Kashmir) based on mineralography, geochemistry and fluid inclusion evidences. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 28(112): 43–58. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/GSJ.2018.104610.1306>
- Rosúa, J., Boyce, A., Morales-Ruano, S., Morata, D., Roberts, S., Munizaga, F. and Rodríguez, V., 2014. Extremely negative and inhomogeneous sulfur isotope signatures in Cretaceous Chilean manto-type Cu–(Ag)

- deposits, Coastal Range of central Chile. *Ore Geology Reviews*, 56(4): 13–24.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2013.06.013>
- Rosemeyer, T., 2011. News from the Keweenaw, Recent Mineral Finds in Michigan's Copper Country. *Rocks and Minerals*, 73(3): 182–195.
<https://doi.org/10.1080/00357529809603034>
- Ruiz, C., Aguilar, A., Egert, E., Espinoza, W., Peebles, F., Quezada, R. and Serrano, M., 1971. Strata-bound copper sulphide deposits of Chile. *Society of Mining Geology of Japan*, 39(2): 252–260.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-88282-1>
- Salehi, L., Rasa, I., Alirezaei, S. and Kazemi Mehrnia, A., 2016. The Madan Bozorg, volcanic-hosted copper deposit, East Shahroud; a example of Manto type copper deposits in Iran. *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, 25(98): 93–104. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22071/GSJ.2016.41166>
- Samani, B., 2001. Metallogeny of Manto-type Deposits in Iran. 6th Symposium of Iranian Geosciences, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.
- Samani, B., 1998. Distribution, setting and metallogenesis of copper deposits in Iran. In: T.M. Porter (Editor), *Porphyry and Hydrothermal Copper & Gold Deposits: A Global Perspective*. PGC Publishing, Adelaide, pp. 151–174.
- Sato, T., 1984. Manto type copper deposits in Chile: A review. *Bulltein of Geological Survey of Japan*, 35(3): 565–582.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-3928.2008.00081.x>
- Şengör, A.M.C., 1987. Tectonics of the Tethysides: orogenic collage development in a collisional setting. *Earth and Planetary Science Letters*, 15(3): 213–244.
<https://doi.org/10.1146/annurev.earth.15.050187.001241>
- Shafiei, B., Haschke, M. and Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(5): 265–283.
<https://doi.org/10.1007/s00126-008-0216-0>
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Glasgow Blackie and Sons, Glasgow, 239 pp.
- Tale Fazel, E., Mehrabi, B. and Shabani, Tabbakh, A.A., 2015. Kuh-e Dom Fe–Cu–Au prospect, Anarak Metallogenic Complex, Central Iran: a geological, mineralogical and fluid inclusion study. *Mineralogy and Petrology*, 109(5): 115–141.
<https://doi.org/10.1007/s00710-014-0354-2>
- Tale Fazel, E., Mehrabi, B. and Ghasemi Siani, M., 2019. Epithermal systems of the Torud-Chah Shirin district, northern Iran: Ore fluid evolution and geodynamic setting. *Ore Geology Reviews*, 109(3): 253–275.
<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.014>
- Technoexport, 1981. Detail geology prospecting in the Anarak Area Central Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 9, 120 pp.
- Tooti, F., 1991. Petrology of volcanic rocks of the Kuh-e Jarou area (southeast Eshtehard). M.Sc. Thesis, University of Tehran, Tehran, Iran, 131 pp.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(3): 185–187.
<https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos*, 55(3): 229–272.
[https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5)
- Wilson, N.S.F., 2000. Organic petrology, chemical composition, and reflectance of pyrobitumen from the El Soldado Cu deposit, Chile. *International Journal of Coal Geology*, 43(3): 53–82.
[https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(99\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(99)00054-3)
- Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2006. Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile. *International Journal of Coal Geology*, 65(4): 158–169.
<https://doi.org/10.1016/j.coal.2005.04.012>
- Wilson, N.S.F., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003. A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado Manto-Type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum. *Economic Geology*, 98(1): 163–174.
<https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.1.163>
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Raith, J., Lentz, D.R., Azimzadeh, A.M. and Pourkaseb, H., 2015. Geochemistry and fluid characteristics of the Dalli porphyry Cu-Au deposit, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111(2): 175–191.
<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.07.029>
- Zar-Azin Gostar Consultant Engineering Co., 2009. General exploration report of the copper deposits at Jarou-Eshtehard area. Iranian Mines and Mineral Industries Development and Renovation Organization, Tehran, Report 1, 222 pp.
- Zhang, Y.-G. and Frantz, J.D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology*, 64(4): 335–350.

[https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90012-X](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90012-X)

Zhong, R., Li, W., Chen, Y., Yue, D. and Yang, Y., 2013. P-T-X conditions, origin, and evolution of Cu-bearing fluids of the shear zone-hosted Huogeqi Cu-(Pb-Zn-

Fe) deposit, northern China. *Ore Geology Reviews*, 50(2): 83–97.

<https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.10.003>