

Alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion studies in Chah Noghreh Pb-Zn deposit, NW Birjand, Lut Block

Azadeh Malekzadeh Shafaroudi^{1*}, Mohammad Hassan Karimpour¹, Maryam Javidi Moghaddam²

1- Department of Geology and Research Center for Ore Deposits of Eastern Iran, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Keywords: Mineralization, Geochemistry, Fluid inclusion, Chah Noghreh, Lut Block

1-Introduction

The Chah Noghreh area is located west of the Lut Block, in eastern Iran, about 64 Km southwestern of Seh Qaleh city (South Khorasan Province). Extensive Tertiary magmatic activity in the Lut Block is spatially and temporally associated with several types of mineralization events (Karimpour et al., 2012) and the episode of Middle Eocene to Lower Oligocene (42–33 Ma) was significant in terms of magmatism and mineralization (Karimpour et al., 2012).

The prospecting area covers a significant part of the Lut Block that includes numerous cases of vein-type mineralization, such as Cu (Shikasteh Sabz, Howz-e-Dagh, Mir-e-Khash, Rashidi, Shurk, Ghar-e-Kaftar; Javidi Moghaddam et al., 2013, 2014, 2018), Pb-Zn (Sechangi and Hows-e-Rawise; Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013, 2015) and Sb-Pb (Chupan, Gale-Chah, Shurab; Mehrabi et al., 2011, 2019).

Mineralization and geochemistry in the Chah Noghreh district were generally described by Lotfi (1995), Jamiee (2009), and Lotfian (2017). However, no minutiae study regarding economic geology at the Chah Noghreh district has been done. We present and discuss intrusive rocks and their relation with mineralization, alteration, ore petrography, geochemistry, and fluid inclusion microthermometry, which help clarify the ore genesis of the Chah Noghreh area.

2- Material and methods

The present study involved:

- Detailed fieldwork and study of thin sections (20 samples)
- Thin polished sections (12 samples)
- Polished slabs (7 samples) from the igneous rocks and ore samples under the optical microscope

Metal concentrations were analyzed at the Zarazma laboratory of Iran using ICP-OES techniques on 11 samples. Also, nine samples were analyzed for Pb measurement using AAS techniques at the Ferdowsi University of Mashhad, Iran. In addition, doubly polished wafers (150 μm thick) were prepared from eight samples taken from the surface and trenches. Microthermometric measurements were carried out using a Linkam THM 600 heating–freezing stage mounted on an Olympus TH4–200 microscope stage at Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- Results and discussion

Mineralization as vein-type is formed in host rocks of rhyolitic to dacitic tuff breccia, andesitic tuff breccia, and andesite. Hydrothermal alteration includes argillic, silicified, calcite, dolomitization, and propylitic. Argillic is characterized by clay minerals and sericite within wall rocks near the vein mineralization. Silicified occurs in wall rock as a matrix, and the accompanied vein mineralization occurs as quartz–ore veins (generally with open space filling texture). Carbonatization occurs as calcite–ore veins and calcite veinlets. Dolomitization occurs

*Corresponding author: shafaroudi@um.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.32440.2088

Received 2020-01-29

Accepted 2020-08-06

mainly as disseminated, vein and veinlet is the last stage of alteration, mainly open space-filling and cement. With a distance of vein, propylitic alteration is widespread rather than other alterations.

Mineralization with open space-filling, breccia, and replacement textures is formed in fault zones and can be divided into four main stages, including 1) Quartz-sulfide, 2) Barite-sulfide, 3) Calcite-sulfide, and 4) Dolomite-sulfide. Hypogene ore in veins contains sulfide minerals galena, sphalerite, fahlore, together with minor pyrite. Due to the influence of weathering processes on the primary ore, secondary sulfide and oxide mineralization (malachite, covellite, anglesite, cerussite, goethite, and hematite) widely spread. The maximum geochemical anomalies in veins for lead are 15 %, zinc 2.5 %, and copper 1295 ppm.

Microthermometric measurements on primary fluid inclusions of quartz, barite, and calcite in paragenesis with mineralization show quartz-sulfide, barite-sulfide and calcite-sulfide veins of stage 1, 2 and 3 are formed of fluid with a temperature of 210 to 281°C, 195 to 225°C and 145 to 180°C and salinity of 16.8 to 19.2 NaCl wt. % equivalent, 11.7 to 17.2 NaCl wt. % and 13.4 to 15.8 NaCl wt. % equivalent, respectively. The fluids' homogenization temperature and salinity showed a shifting trend from relatively high in the silicified-argillic zone to relatively low homogenization temperature in the silicified-carbonate zone, which can be due to physicochemical changes in the fluid such as cooling and mixing with meteoric water (Shepherd et al., 1985). According to petrography studies and textural evidence, boiling has also been effective during fluid evolution.

4- Conclusion

Mineralized veins are epigenetic and fill part of the NW– SE striking and almost have a vertical fault/fracture system. Wall rock alteration occurs as narrowly-developed zones around mineralized veins and is composed of clay minerals, sericite, quartz, calcite, dolomite, chlorite, and epidote exhibiting argillic, silicified, calcite, dolomitization and propylitic alterations. The vein mineralization was formed in four stages, including 1) Quartz-sulfide, 2) Barite-sulfide, 3) Calcite-sulfide, and 4) Dolomite-sulfide.

Mineralization in Chah Noghreh formed at shallow epithermal environment by relatively low to medium temperature, medium salinity fluids (about 700 Km). Pb and Zn deposition in the Chah Noghreh have mainly been caused by cooling and mixing, although boiling may have occurred. Base on geology studies, mineralogy, texture and structure, geochemistry, and fluid inclusion data, the Chah Noghreh prospect area can be classified in epithermal-related vein deposits.

Numerous base metal veins are present in the neighboring area (Chupan, Gale-Chah, Shand-e-Mahmoud, Shurab veins). The similarities in ore mineralogy and geochemistry may indicate that all these veins are part of a regional ore system and may therefore, significant economic potential. In addition, numerous small Cu ± Pb ± Zn ± Sb veins are present in the neighboring area (Shikasteh Sabz, Mir-e-Khash, Rashidi, Ghar-e-Kaftar, and Howz-e-Dagh, Chupan, Gale-Chah, Shand-e-Mahmoud, Shurab, Howz-e-Raise, Sechangi veins). Again, the similarities in ore formation (vein epithermal) may point out that all these veins are part of a regional ore system and may, therefore, cause significant economic potential.

Acknowledgments

The Research Foundation of the Ferdowsi University of Mashhad, Iran, supported this study (Project No. 47043). In addition, the authors wish to thank Mr. Hojat Gholami for his assistance during cooperation in the fieldwork.

References

- Jamiee, A.R., 2009. Preliminary mineral exploration project in Chah Noghreh area. Industries and mines organization of South Khorasan province, p. 45.
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Heidariane Shahri, M. R., 2013. Satellite data processing, alteration, mineralization and geochemistry of Mehrkhash area prospect, North West of Birjand. *Journal of Earth Science Researches* 4, 56-69. (In Persian with English abstract).
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Haidarian Shahri, M.R., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu ± Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran. *Acta Geologica Sinica* 92, 1139-1156.
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Heidariane Shahri, M. R., 2014. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of Shekaste Sabz area prospect, North West of Birjand. *Journal of Crystallography and Mineralogy* 22, 507-520. (In Persian with English abstract).

- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C.R., Farmer, L., 2012. Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran. *Journal of Economic Geology* 4, 1-27.
- Lotfi, M., 1995. Geological map of Sarghanj, Scale 1:100,000, Geological Survey of Iran.
- Lotfian, J., 2017. Report of exploration license in Chah Noghreh area, p. 38.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., 2013. Geology, Mineralization and fluid inclusion studies in Howz-e-Raise lead-zinc-copper deposit, Eastern Iran. *Advanced Applied Geology* 91, 1-14 (In Persian with English abstract).
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 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, 1-14.
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E., Nokhbatolfoghahaie, A., 2011. The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences. *Iranian journal of Mineralogy and Crystallography* 19, 121-130.
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E., Yardley, B., 2019. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran. *Chemie der Erde* 79, 307-322.
- Shepherd, T., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies, Blackie, Glasgow, p. 239.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., Javidi Moghaddam, M., 2021. Alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion studies in Chah Noghreh Pb-Zn deposit, NW Birjand, Lut Block. *Adv. Appl. Geol.* 11(2), 298-317.

DOI: 10.22055/AAG.2020.32440.2088

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15865.html?lang=en

دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و مطالعه میانبارهای سیال در کانسار سرب و روی دار چاه‌نقره، شمال غرب بیرجند، بلوک لوت

آزاده ملکزاده شفارودی*

گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمد حسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

مریم جاویدی مقدم

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۶

*shafaroudi@um.ac.ir

چکیده

منطقه چاه نقره بخشی از پهنه آتشفشانی - نفوذی در بلوک لوت بوده و در جنوب غرب شهر سه قلعه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این گستره شامل برونزدهایی از سنگ‌های آتشفشانی (توف برش ریولیتی تا داسیتی، توف برش آندزیتی و آندزیت) با سن ائوسن بوده که واحد نیمه عمیق پیروکسن دیوریت پورفیری در آنها نفوذ نموده است. کانی‌سازی بصورت رگه‌ای (با امتداد شمال غرب - جنوب شرق) با بافت‌های برشی و قشری در چهار مرحله به ترتیب بصورت کوارتز - سولفید، باریت - سولفید، کلسیت - سولفید و دولومیت - سولفید تشکیل شده است. دگرسانی‌های آرژیلیکی، سیلیسی، کلسیتی و دولومیتی با روند خطی در حاشیه رگه‌ها ایجاد شده‌اند. کانی‌های سولفیدی اولیه در رگه‌ها شامل گالن، اسفالریت، فاهلور و پیریت بوده که در اثر اکسیداسیون کانی‌های ثانویه سروزیت، انگلزیت، رودوکروزیت، کوولیت، مالاکیت، همتایت و گوتیت ایجاد شده‌اند. بیشترین بی‌هنجاری‌های ژئوشیمی در رگه‌ها برای سرب 158000 گرم در تن، روی 25507 گرم در تن و مس 1295 گرم در تن است. اندازه‌گیری‌های میکروترمومتری نشان می‌دهد که کانی‌سازی‌های کوارتز - سولفید، باریت - سولفید و کلسیت - سولفید به ترتیب از سیالاتی با دمای 210 تا 281 ، 195 تا 225 و 145 تا 180 درجه سانتی‌گراد و شوری‌های $16/8$ تا $19/2$ ، $11/7$ تا $17/2$ و $13/4$ تا $15/8$ درصد وزنی NaCl تشکیل شده‌اند. کاهش دما، مخلوط شدن بین محلول ماگمایی کانه‌دار گرم و شور و محلول جوی سرد با شوری کم و جوشش می‌تواند باعث ته‌نشینی فلزات شده باشند. کانسار چاه - نقره بر پایه شواهدی چون کنترل ساختاری کانی‌سازی، نوع دگرسانی‌ها و گسترش خطی آنها، کانی‌شناسی ساده ذخیره، عمق تشکیل (700 متر) و داده‌های داماسنجی مشابه کانسارهای اپی‌ترمال سرب - روی است.

کلمات کلیدی: کانی‌سازی، ژئوشیمی، میانبارهای سیال، چاه نقره، بلوک لوت

مقدمه

محدوده چاه نقره، در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های جغرافیایی $17^{\circ} 5' 58''$ تا $35^{\circ} 6' 58''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $50^{\circ} 15' 33''$ تا $58^{\circ} 16' 33''$ شمالی و در فاصله 62 کیلومتری جنوب غرب شهر سه قلعه در استان خراسان جنوبی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آخرین تقسیمات ساختمانی - رسوبی ایران (Aghanabati, 2004)، منطقه مورد مطالعه در شرق خرد قاره ایران مرکزی و در غرب بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱).

وجود سرباره‌های فراوان و آثار شدادی نشان‌دهنده حجم وسیع فعالیت‌های معدنکاری قدیمی در منطقه چاه نقره بوده است. نکته قابل توجه حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای متعدد فلزات پایه در اطراف محدوده مورد مطالعه (در غرب بلوک لوت) بوده که بر اهمیت اقتصادی منطقه می‌افزاید. از جمله این کانی‌سازی‌های رگه‌ای می‌توان به نوع مس (شکسته‌سبز، حوض‌دغ، مهرخش، رشیدی، شورک و

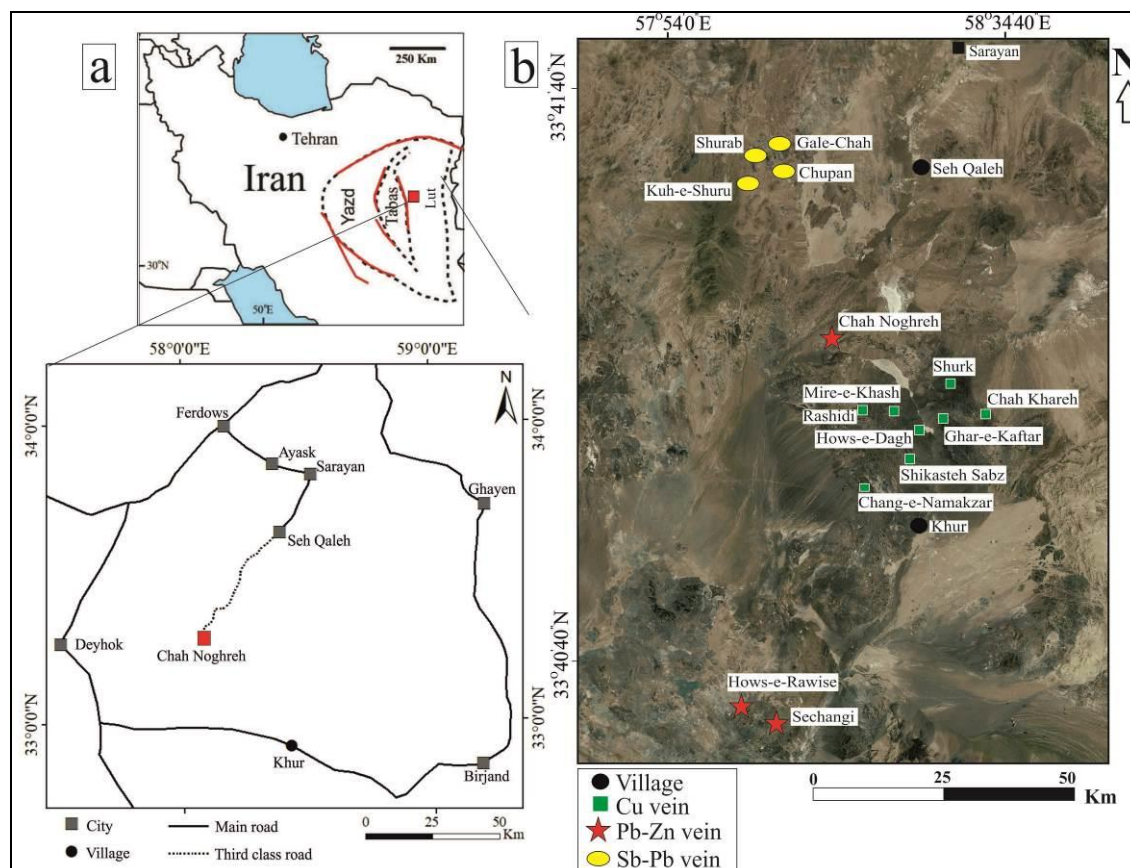
غار کفتری) (Javidi Moghaddam et al., 2013; 2014; Malekzadeh, 2018)، سرب - روی (سه‌چنگی و حوض رئیس) (Shafaroudi and Karimpour, 2013; 2015) و سرب - روی - مس - آنتیموان (شوراب، چوپان، شند محمود و کوه شورو) (Mehrabi et al., 2011; 2019) اشاره نمود. به نظر می‌رسد بررسی دقیق کانی‌سازی در کانسار چاه نقره می‌تواند الگوی اکتشافی مناسبی برای رگه‌های کانه‌دار دیگر در این محدوده فلززایی فراهم نماید.

کانی‌سازی‌های رگه‌ای مس عمدتاً هم‌روند با روند شمال غرب - جنوب شرق هستند. با توجه به نفوذ پذیری سنگ میزبان (توف برش آندزیتی و آندزیت)، دگرسانی‌ها عمود بر روند رگه‌ها، زون‌بندی نشان می‌دهند. این دگرسانی‌ها شامل آرژیلیک، سیلیسی، کربناته و پروپلیتیک می‌باشند. کانه‌های هایپوزن در کانی‌سازی رگه‌ای دارای

ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای از منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است (Jamiee, 2009). همچنین Lotfian (۲۰۱۷) به منظور دریافت پروانه اکتشاف، اقدام به حفر ترانشه و مطالعات مختصر بر روی کانی‌شناسی و ژئوشیمی در منطقه مورد مطالعه نموده است. هدف از این پژوهش بررسی نحوه رخداد کانی‌سازی در منطقه چاه نقره بوده که برای رسیدن به آن، مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

کالکوسیت، بورنیت، تنانتیت، سولفوسالت و اسفالریت می‌باشد. فرایندهای رقیق شدگی توسط آب‌های جوی و جوشش طی تحول سیالات هیدروترمال و در نهایت شکل‌گیری رگه‌ها موثر بوده است (Javidi Moghaddam et al., 2018).

در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سارغنج، منطقه چاه نقره به عنوان یک اندیس سرب-آنتیموان معرفی شده است (Lotfi, 1995). همچنین پروژه اکتشاف مقدماتی مواد معدنی در منطقه چاه نقره مربوط به سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی توسط شرکت ایتوک در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. در این پروژه اطلاعاتی درباره



شکل ۱- (a) موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه ایران و راه‌های دسترسی به آن و (b) موقعیت رگه‌های فلزات پایه (مس، سرب - روی و آنتیموان - سرب) در غرب بلوک لوت.

Fig. 1. (a) Locations of study area in map of Iran and access routes and (b) location of base metals veins (copper, lead-zinc and antimony-lead) in western of the Lut Block.

نور عبوری و انعکاسی مطالعه شدند. در نهایت نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ در نرم افزار ArcGIS تهیه گردید. ۱۱ نمونه ژئوشیمیایی به روش خردسنگی از محل رگه‌ها (ترانشه‌ها) برداشت گردید که همه نمونه‌ها به روش ICP-OES در آزمایشگاه زرآزما مورد تجزیه قرار گرفت. به دلیل بالاتر بودن میزان سرب از حد بالایی تشخیص در آنالیز ICP-OES در ۹ نمونه ژئوشیمیایی، آنالیز این عنصر به روش جذب اتمی (AAS) در دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد (جدول ۲). برای تفسیر

روش پژوهش

برای دستیابی به اهداف مورد نظر در این پژوهش، برداشت اطلاعات صحرایی (ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها) و نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و رگه‌های کانی‌سازی (از سطح و ترانشه‌ها) انجام شد. در مجموع ۲۰ مقطع نازک از واحدهای سنگی برای بررسی‌های پتروگرافی و آلتراسیون، ۱۲ مقطع نازک صیقلی و ۷ مقطع صیقلی از رگه‌های کانی‌سازی برای بررسی‌های کانه‌نگاری و تعیین روابط پاراژنزی تهیه و با استفاده از میکروسکوپ

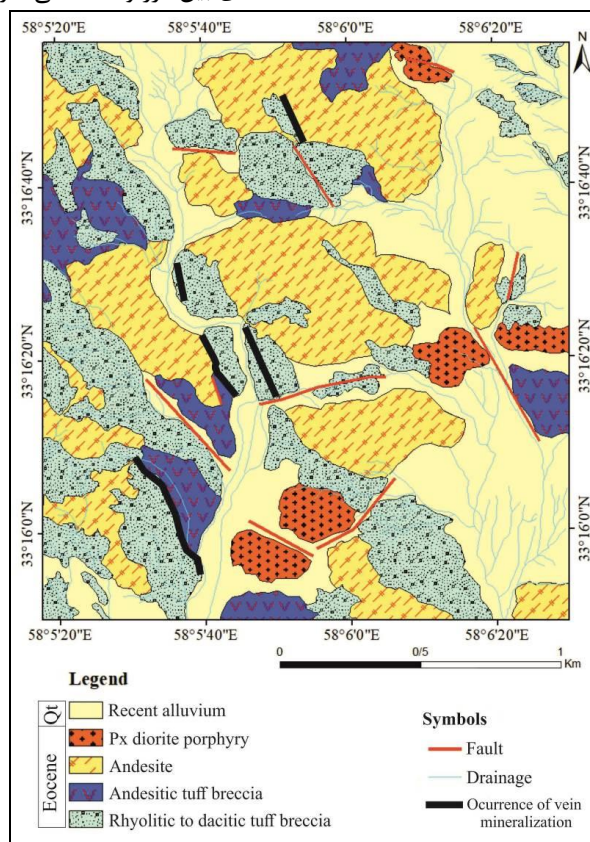
شده است. هیستوگرام‌ها و نمودارهای مناسب در نرم‌افزار SPSS و Excel ترسیم شد.

زمین‌شناسی

محدوده چاه نقره در شمال غرب بیرجند و در قسمت جنوب غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سارغنج (Lotfi, 1995) قرار دارد. قدیمی‌ترین واحدها در منطقه مورد مطالعه، واحدهای آذرآواری توف برش آندزیتی و توف برش ریولیتی تا داسیتی بوده که به صورت توالی‌های لایه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۲).

توف برش ریولیتی تا داسیتی شامل یک سری از قطعات سنگ-های آتشفشانی با ترکیب عمدتاً ریولیتی (۴۰ تا ۴۵ درصد) و داسیتی (۳۰ تا ۳۵ درصد) و به میزان کمتر آندزیتی (کمتر از ۲۰ درصد) است که به وسیله خاکسترهای ریولیتی تا داسیتی به هم جوش خورده‌اند (شکل ۳a). اندازه قطعات بین چند میلیمتر تا ۳۵ سانتیمتر می‌باشد. رگه -رگچه‌های سیلیسی و سیلیسی-کربناته در زمینه این واحد مشاهده می‌شوند. توف برش آندزیتی شامل قطعات کمی گرد شده تا گرد شده می‌باشد که به وسیله خاکسترهای آندزیتی به هم جوش خورده‌اند. قطعات سنگی این واحد عمدتاً آندزیتی (۵۰ تا ۶۰ درصد) تا تراکی آندزیتی (۲۰ تا ۳۰ درصد) و داسیتی (۵ تا ۱۰ درصد) می‌باشند (شکل ۳c). اندازه قطعات از چند میلیمتر تا ۴۰ سانتی متر بوده و زئولیت همراه با سلادونیت و کربنات به شکل ثانویه فضای بین درز و شکستگی‌ها را پر کرده‌اند.

ژئوشیمیایی دقیق‌تر از داده‌های ژئوشیمیایی بر مبنای روش خرده-سنگی (۱۶ نمونه برداشت شده از سطح) که توسط Lotfian (۲۰۱۷) از این منطقه به دست آمده، استفاده گردید. نمونه‌ها به روش ICP-OES در آزمایشگاه زراآزمای مورد تجزیه قرار گرفته است. همچنین این نمونه‌ها برای طلا به روش Fire Assay مورد تجزیه قرار گرفته‌اند. در این روش تجزیه، ۳۰ گرم از نمونه تا دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد ذوب می‌شود. در این حالت طلا و فلزات گرانبها مشتمل بر پلاتین و پالادیوم از سرباره جدا شده و جذب ملغمه سربی می‌گردد. سرب در مرحله کوپلاسیون حذف و فلزات گرانبها در ملغمه نقره ای جدا می‌شود. در پایان ملغمه نقره ای با استفاده از آکوارجیا محلول سازی شده و با استفاده از ICP خوانش می‌گردد. تعداد ۲ نمونه کانی کوارتز، ۳ نمونه کلسیت و ۳ نمونه باریت بعد از مطالعات دقیق پاراژنزی برای تهیه مقطع دوبر صیقل انتخاب گردید. دما سنجی میانبارهای سیال به وسیله یک دستگاه سرد کننده و گرم کننده ساخت شرکت لینکام مدل THM600 در دانشگاه فردوسی مشهد صورت گرفت. دقت کار دستگاه در مرحله سرد و گرم کردن $\pm 1^{\circ}C$ و محدوده حرارتی دستگاه بین ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد می‌باشد. شوری در سیستم $H_2O-NaCl$ با استفاده از نرم افزار تعبیه شده در نرم‌افزار اکسل Steele-MacInnis et al. (HOKIEFLINCS- $H_2O-NaCl$) (Steele-MacInnis et al., 2012; Lecumberri-Sanchez et al., 2012) محاسبه



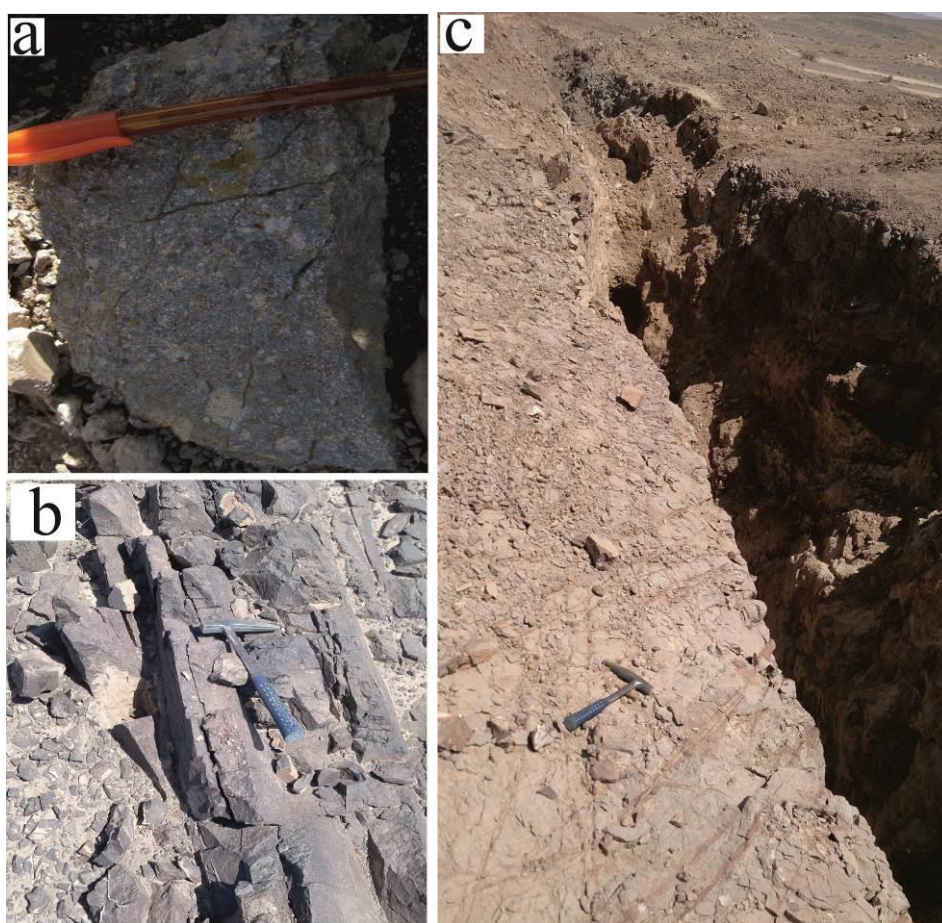
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی-کانی‌سازی منطقه چاه نقره.

Fig. 2. Geological-mineralization map of the Chah Noghreh area.

منطقه گسترش یافته است (شکل ۲). بافت سنگ پورفیری بوده و فنوکریست‌های (۴۰ تا ۴۵ درصد) تشکیل‌دهنده سنگ شامل پلاژیوکلاز از نوع الیگوکلاز - آندزین (۲۵-۲۰ درصد)، آلکالی فلدسپار (اورتوکلاز) (۵-۳ درصد)، کلینوپیروکسن (اوزیت) (۱۰-۷ درصد)، هورنبلند (۵-۳ درصد) و کمتر از ۱ درصد کانی اوپاک است (شکل b۴). تنها کانی فرعی شناسایی شده آپاتیت (کمتر از ۱ درصد) بوده که عمدتاً همراه با پلاژیوکلاز شناسایی گردید. زمینه سنگ نیز شامل کانی‌های یاد شده است. این واحد فاقد کانی‌سازی بوده و دگرسانی عمده در آن پروپلیتیک است. بنابراین این توده نیمه‌عمیق نمی‌تواند مرتبط به کانی‌سازی باشد.

واحد آندزیتی بیشترین گسترش را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۲ و شکل b۳). این واحد دارای بافت پورفیری با زمینه دانه ریز است. در بعضی قسمت‌ها بافت گلومروپورفیری نیز دیده می‌شود که حاصل تجمع کلینوپیروکسن‌ها است. فنوکریست‌ها (۳۰ تا ۳۵ درصد) شامل پلاژیوکلاز از نوع لابرادوریت (۲۰-۱۵ درصد)، هورنبلند (۸-۶ درصد)، آلکالی فلدسپار (اورتوکلاز) (۵-۳ درصد) و کلینوپیروکسن از نوع اوزیت (۴-۲ درصد) است. زمینه عمدتاً شامل پلاژیوکلاز و هورنبلند است (شکل a۴). همچنین ۱ تا ۲ درصد کانی اوپاک عمدتاً در زمینه شناسایی گردید.

تنها واحد نیمه‌عمیق شناسایی شده در منطقه، پیروکسن دیوریت پورفیری است که در واحدهای آذرآوری منطقه نفوذ نموده‌است. این واحد عمدتاً در جنوب غرب محدوده و به طور محدود در شمال



شکل ۳- تصاویر صحرایی از (a) واحد توف برش ریولیتی تا داسیتی، (b) واحد آندزیتی و (c) ترانشه در واحد توف برش آندزیتی.

Fig. 3. Field images of (a) rhyolitic to dacitic tuff breccia, (b) andesitic unit and (c) trench in andesitic tuff breccia unit.

رگه قابل مشاهده هستند. دگرسانی آرژیلیک با گسترش خیلی کم در مجاورت رگه‌ها شناسایی گردید (شکل a۵). این دگرسانی باعث تبدیل پلاژیوکلازها به رس (۳۰ تا ۳۵ درصد) و کمتر به سریسیت (۳ تا ۵ درصد) شده است (شکل c۴ و d). در دگرسانی سیلیسی، کوارتزها بصورت نیمه‌شکل‌دار همراه با کانی‌سازی در رگه‌ها قابل مشاهده است. اندازه کوارتزها از چند صدم تا ۰/۵ میلیمتر تغییر می-

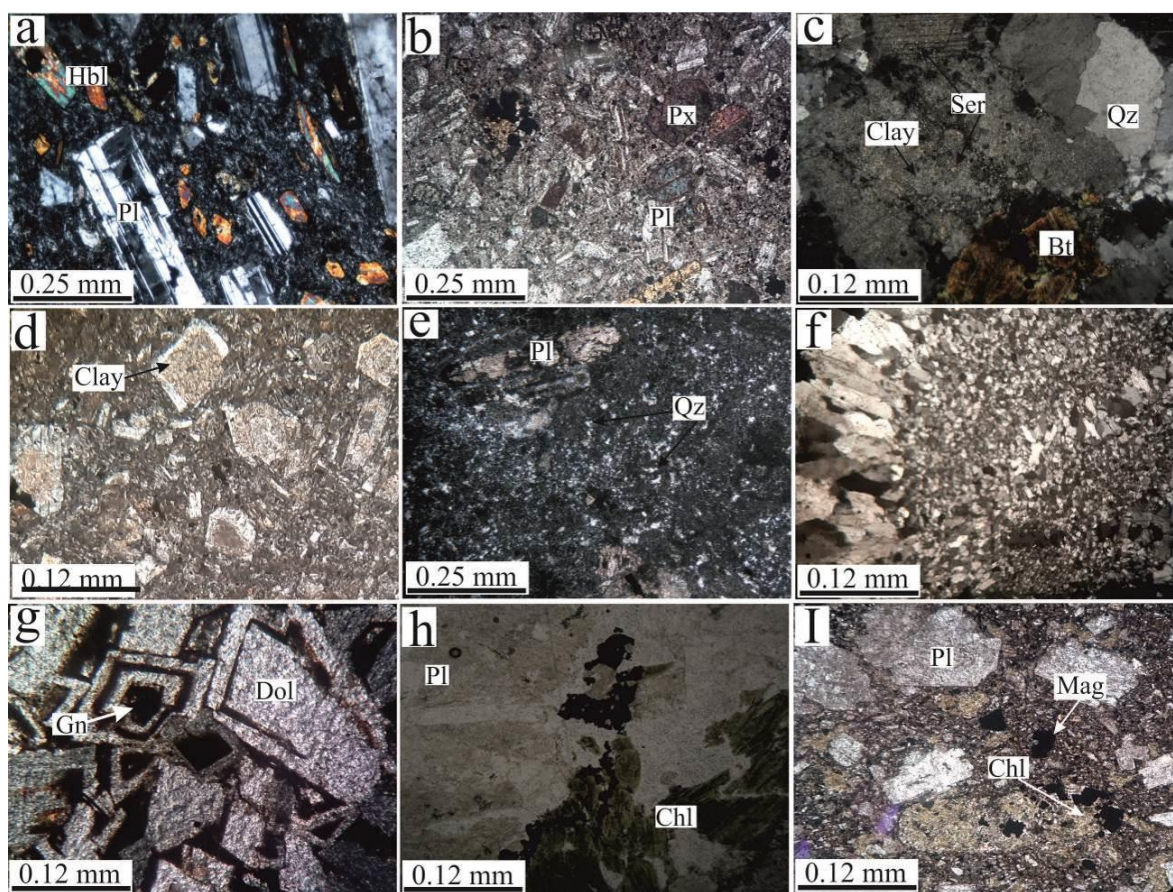
دگرسانی

دگرسانی‌های آرژیلیک، سیلیسی، کلسیتی، دولومیتی و پروپلیتیک ضعیف مهم‌ترین دگرسانی‌های شناسایی شده در منطقه است که عمدتاً سنگ میزبان کانی‌سازی را تحت تاثیر قرار داده‌اند. گسترش این دگرسانی‌ها محدود به حاشیه رگه‌ها بوده و تا فاصله چند متر از

صورت خودشکل و اندازه چند ده میکرون تا ۱ میلی‌متر هستند (شکل g۴). دگرسانی پروپلیتیک ضعیف با گسترش بیشتری نسبت به دگرسانی‌های دیگر در منطقه قابل مشاهده است. این دگرسانی فاقد روند خطی بوده و با فاصله از رگه‌ها و عمدتاً واحدهای توف برش آندزیتی و ریولیتی تا داسیتی را تحت تاثیر قرار داده است. هورنبلندها اغلب به کلریت (۳ تا ۵ درصد) و کمتر به مگنتیت (۱ تا ۳ درصد) تبدیل شده‌اند. همچنین پلاژیوکلازها به اپیدوت (۲ تا ۳ درصد) تبدیل شده‌اند (شکل h۴ و i).

کند. همچنین سیلیسی شدن در قالب رگچه‌های کوارتز و کوارتز پراکنده در متن سنگ میزبان دیده می‌شود (شکل e۴ و f). در دگرسانی کلسیتی، کلسیت‌ها عمدتاً بصورت شکل‌دار همراه با کانی‌سازی در رگه‌ها است. ابعاد بلورهای آن از چند ده میکرون تا ۱ میلیمتر متغیر است (شکل g۵). همچنین رگچه‌های کلسیتی در مجاورت رگه‌ها شناسایی گردید. در این رگچه‌ها کانی‌های کلسیت بی‌شکل تا خودشکل بوده و ابعاد بلورهای آن از چند ده میکرون تا ۰/۶ میلیمتر متغیر است.

در دگرسانی دولومیتی، دولومیت‌ها به صورت پراکنده فضای خالی و سیمان سنگ میزبان حضور دارند. این دولومیت‌ها به



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از (a) واحد آندزیتی، (b) پیروکسن دیوریت پورفیری، (c) تبدیل آکالی فلدسپار به سرسیت و کانی رسی در واحد آندزیتی، (d) تبدیل پلاژیوکلازها به کانی رسی در واحد آندزیتی، (e) سیلیسی شدن در واحد توف برش آندزیتی، (f) کوارتزهای کریپتوکریستالین در واحد آندزیتی، (g) دولومیتی شدن در واحد توف برش آندزیتی، (h) تبدیل هورنبلند به کلریت و (i) تبدیل هورنبلند به کلریت و مگنتیت در واحد توف برش آندزیتی. اختصارات: Pl= پلاژیوکلاز، Chl= کلریت، Qz= کوارتز، Dol= دولومیت، Px= پیروکسن، Bt= بیوتیت، Ser= سرسیت، Mag= مگنتیت (علایم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010).

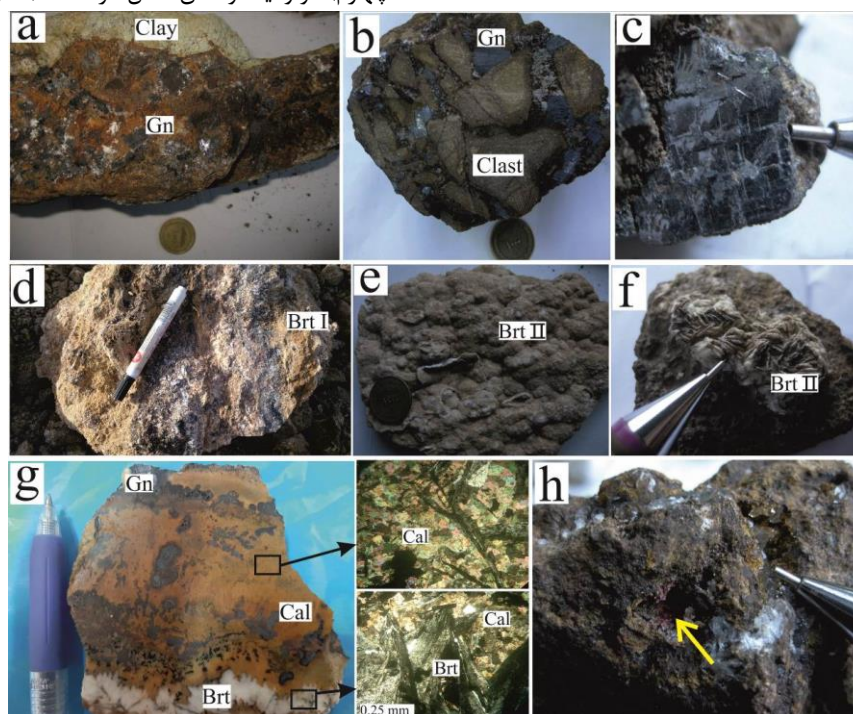
Fig. 4. Photomicrographs of (a) andesitic unit, (b) pyroxene diorite porphyry, (c) sericite and clay minerals replacing alkali feldspar in andesitic unit, (d) clay minerals replacing plagioclase in andesitic unit, (e) silicified in andesitic tuff breccia unit, (f) cryptocrystalline quartz in andesitic unit, (g) dolomitization in andesitic tuff breccia unit, (h) chlorite replacing hornblende in andesitic unit, and (i) chlorite and magnetite replacing hornblende in andesitic tuff breccia unit. Pl= plagioclase, Ser= Sericite, Px= Pyroxene, Dol= Dolomite, Mag= Magnetite, Qz= Quartz, Bt= Biotite (mineral abbreviations from Whitney and Evans, 2010).

کانی سازی

کانی سازی در منطقه چاه نقره در راستای گسل‌هایی با روند شمال غرب - جنوب شرق و شیب زیاد (۷۵ تا ۹۰ درجه) در واحدهای توف برش آندزیتی (شکل ۳C)، توف برش ریولیتی تا داسیتی و به میزان کمتر واحدهای آندزیتی شکل گرفته است. عرض رگه‌ها از ۵ تا ۷۰ متر متغیر بوده و طول آنها به ۵۰۰ متر نیز می‌رسد. کانی سازی در رگه‌ها شامل گالن (بیش از ۷۰ درصد)، پیریت، اسفالریت، فاهلور، کوارتز، باریت، کلسیت و دولومیت است. ورود سیالات کانه‌دار در فضای خالی گسل‌ها و شکستگی‌ها باعث دگرسانی سنگ میزبان و کانی سازی با بافت‌های قشری (شکل a)، برشی (شکل b) و جانشین شده است. کانی‌های درون‌زاد شامل کوارتز، گالن، اسفالریت، فاهلور، باریت، کلسیت و پیریت می‌باشند. کانی‌های سولفیدی تحت تاثیر اکسیداسیون و هوازدگی به کانی‌های برون‌زاد

کوولیت، مالاکیت، رودوکروزیت سروزیت، آنگلیزیت، گوتیت و هماتیت تبدیل شده‌اند.

کانی سازی در سیستم رگه‌ای در منطقه چاه نقره را می‌توان بر اساس نوع دگرسانی و روابط قطع شدگی در رگه و رگچه‌ها به چهار مرحله تقسیم نمود. این مراحل عبارتند از: (۱) کانی سازی کوارتز - سولفید همراه با دگرسانی آرژیلیک - سیلیسی، (۲) کانی سازی نسل اول باریت - سولفید همراه با دگرسانی سیلیسی و (۳) کانی سازی کلسیت - سولفید همراه با دگرسانی کلسیتی و (۴) کانی سازی دولومیت - سولفید همراه با دگرسانی دولومیتی. کانی سازی در مرحله اول شامل کوارتز، گالن، پیریت، ادخال‌های تنانیت - تتراهیدریت (فاهلور) و اسفالریت است. در مرحله دوم کانی سازی سرب و روی ادامه یافته و شامل گالن و اسفالریت همراه با باریت است. در ادامه گالن و کلسیت (مرحله سوم) و در نهایت (مرحله چهارم) دولومیت و گالن شکل گرفته‌اند (شکل ۷).



شکل ۵- نمونه‌های دستی از دگرسانی و کانی سازی (a) دگرسانی آرژیلیک در مجاورت رگه در مرحله اول کانی سازی، (b) برش گسلی در مرحله اول کانی سازی، (c) کانی گالن به فرم مکعبی در مرحله اول کانی سازی، (d) باریت نسل اول با بافت رشته‌ای همراه با کانی سازی در مرحله دوم کانی سازی، (e) باریت نسل دوم با بافت کلوفرم در مرحله دوم کانی سازی، (f) باریت نسل دوم با بافت صفحه‌ای در مرحله دوم کانی سازی، (g) شکل‌گیری باریت نسل دوم و کلسیت+گالن با بافت قشری در مرحله سوم کانی سازی و (h) رودوکروزیت ایجاد شده در بخش برون‌زاد. Gn = گالن، Cal = کلسیت، Brt = باریت (علائم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010).

Fig. 5. Hand sampling of alteration and mineralization (a) argillic alteration in margin of vein in first stage of mineralization, (b) fault breccia in first stage of mineralization, (c) galena mineral as cubic form in first stage of mineralization, (d) first generation barite with string texture associated with mineralization in second stage of mineralization, (e) second generation barite with colloform texture in second stage of mineralization, (f) second generation barite with plate texture in second stage of mineralization, (g) second generation barite and calcite + galena formation with crustiform texture in third stage of mineralization, and (h) rhodochrosite in supergene zones. Gn= Galena, Cal= Calcite, Brt= Barite (mineral abbreviations from Whitney and Evans, 2010).

کانه‌نگاری درون‌زاد در رگه‌ها

گالن فراوان‌ترین کانی سولفیدی اولیه در رگه‌ها است که فراوانی آن در رگه‌های مختلف بین ۸۰ تا ۹۵ می‌باشد. این کانی عمدتاً بصورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و از اندازه چند ده میکرون تا ۷ میلی‌متر متغیر است. عواملی همچون سرعت متفاوت اختلاط سیالات کانه‌ساز، فضای رشد و تعداد و سرعت هسته‌زایی در اندازه کانی‌های سولفیدی موثر است (Ghazban et al., 1994). گالن‌های شکل گرفته در برش‌های گسلی عمدتاً ریز بلور بوده و به شکل سیمان بین قطعات سنگ میزبان برشی (بافت برشی) دیده می‌شوند (شکل b5 و شکل a6)، در حالیکه گالن‌های شکل گرفته در رگه‌ها عمدتاً درشت بلور بوده و به صورت پراکنده فضای خالی (بافت قشری) مشاهده می‌شوند (شکل b6 تا d). در مواردی دگرشکلی‌هایی در سطوح رخ کانی گالن مشاهده شد که نشان از عملکرد تنش بر روی ماده معدنی است (شکل d6). سیستم بلوری گالن مکعبی بوده و دو سطح کوبیک و یک سطح اکتاهدارل در آن قابل توسعه یافتن است، در نتیجه بلورهایی با فرم‌های مکعبی، هشت وجهی و همچنین فرم‌های ترکیبی مانند مکعبی-هشت وجهی مشاهده می‌شود (Bonev, 2007). بلورهای گالن منطقه مورد مطالعه به فرم مکعبی هستند (شکل c5). گالن در بعضی قسمت‌ها از حاشیه یا محل رخ‌ها به سروریت، انگل‌زیت تبدیل شده است.

اسفالریت اغلب به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و اندازه چند میکرون تا ۰/۵ میلی‌متر، با فراوانی کم (کمتر از ۳ درصد) و همراه با کانی گالن در مرحله اول و دوم کانی‌سازی دیده می‌شود (شکل a6). تفاوت چندانی در اندازه و فراوانی کانی اسفالریت در مرحله اول و دوم کانی‌سازی مشاهده نگردید. ادخال‌های فاهلور (سری تنانیت-تتراهیدریت) به صورت بی‌شکل و اندازه چند میکرون تا چند ده میکرون به میزان خیلی کم (کمتر از ۱ درصد) و فقط در مرحله اول کانی‌سازی در کانی گالن دیده می‌شود (شکل b6). پیریت در مرحله اول و دوم کانی‌سازی مشاهده گردید. پیریت مربوط به مرحله اول کانی‌سازی عمدتاً خوش‌وجه بوده و ابعادی بین ۳۰ میکرون تا ۰/۵ میلی‌متر دارد. پیریت‌ها در مرحله دوم کانی‌سازی بدوجه تا خوش‌وجه بوده و ابعادی از ۳۰ میکرون تا ۳ میلی‌متر دارند.

کوارتز مهمترین و اصلی‌ترین کانی باطله در رگه‌ها در مرحله اول کانی‌سازی بوده که به طور مستقیم از خود سیال کانه‌ساز تبلور یافته است. کوارتز بصورت شفاف تا شیری رنگ و خود شکل در ابعاد چند صدم تا نیم میلی‌متر در مرحله اول کانی‌سازی تشکیل شده است. همچنین کلسدونی در بعضی رگه‌ها عمدتاً در مرکز رگه مشاهده می‌شود. وجود کلسدونی می‌تواند نشان‌دهنده شکل‌گیری رگه در شرایط نزدیک به سطح زمین باشد (شکل f4).

باریت فراوانی کمتری نسبت به کوارتز در رگه‌ها داشته و عمدتاً در مرحله دوم کانی‌سازی تشکیل شده است. بلورهای باریت به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، با بافت‌های قشری، کلوئیدی، صفحه‌ای، تیغه‌ای و رشته‌ای و در اندازه‌های ۰/۲ میلی‌متر تا بزرگتر از ۳

سانتیمتر دیده می‌شوند. دو نسل باریت در رگه‌ها شناسایی گردید. باریت‌های نسل اول عمدتاً همراه با کانی‌سازی بوده و دارای بافت‌های قشری و رشته‌ای (شکل d5) هستند. در مقابل باریت‌های نسل دوم همراه با کانی‌سازی نبوده و عمدتاً دارای بافت‌های قشری، کلوئیدی (شکل e-5)، صفحه‌ای، تیغه‌ای (شکل f5) و رشته‌ای (شکل g5) هستند.

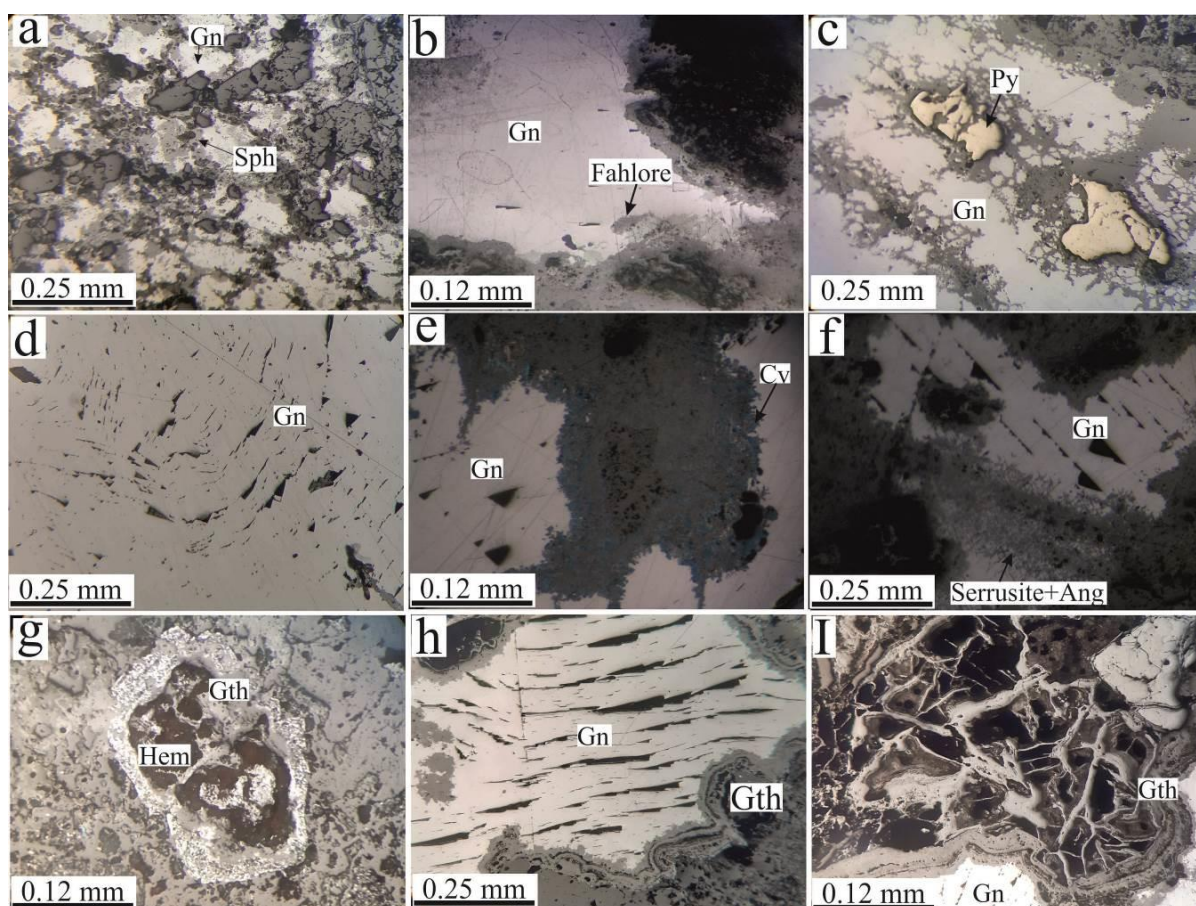
کلسیت نسبت به کوارتز و باریت، به میزان کمتر در رگه‌ها شکل گرفته و عمدتاً در مرحله سوم کانی‌سازی همراه با ماده معدنی دیده می‌شود. این کانی بصورت نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار و با ابعادی بین چند ده میکرون تا ۱ میلی‌متر است (شکل g5). دولومیت نسبت به کانی‌های باطله دیگر، کمترین فراوانی را در رگه‌ها داشته و همراه با کانی‌سازی است. منطقه‌بندی در این دولومیت‌ها بدین صورت دیده می‌شود که قسمت مرکز بلور تیره و حاشیه روشن است (شکل g4). گالن در برخی موارد فضای خالی بین بلورها را پر کرده یا پرشدگی تداخل بین بلوری و نیز جانشینی حاشیه بلورهای دولومیت توسط گالن است. این شواهد نشان از تقدم شکل‌گیری دولومیت نسبت به کانی‌سازی گالن است.

کانه‌نگاری برون‌زاد

کانی‌های ثانویه در منطقه شامل سروریت، انگل‌زیت، مالاکیت، کوولیت، رودوکروزیت و کانی‌های اکسیدی-هیدروکسیدی آهن (گوتیت و هماتیت) است. سروریت مهمترین کانی برون‌زاد سرب در منطقه چاه نقره بوده که با بافت‌های جانشینی همچون جانشینی کناره‌ای، جانشینی شبکه‌ای و جانشینی در امتداد رخ مشاهده می‌شود (شکل f6). در کانسارهای با سولفید آهن پایین، گالن می‌تواند به طور مستقیم به کربنات سرب اکسیده شده و نیازی به فاز واسطه سولفات سرب ندارد (Szczerba and Sawlowicz, 2009). مقدار بسیار پایین کانی‌های اسیدی کننده محیط سوپرژن مانند پیریت، در غالب بودن سروریت در کانسار چاه نقره به خوبی قابل توجیه است.

انگل‌زیت نسبت به سروریت در منطقه مورد مطالعه بسیار کمتر بوده و عمدتاً همراه با سروریت با بافت جانشینی ثانویه در حاشیه و محل درز و شکستگی‌های کانی گالن دیده می‌شود (شکل f6). مالاکیت به صورت لکه‌های پراکنده تا جانشینی در حاشیه کانی گالن در حجم کم در نواحی اکسیدان و سوپرژن مشاهده می‌گردد. کوولیت در نمونه‌هایی با تاثیر فرایندهای سوپرژن حضور داشته و عمدتاً در حاشیه کانی گالن دیده می‌شود (شکل e6).

پیریت‌ها عمدتاً به گوتیت و هماتیت تبدیل شده و ایجاد بافت‌های کلورم و اسکلتی کرده‌اند. در بعضی مقاطع این تبدیل شدگی کامل بوده و فقط قالب کانی پیریت باقی مانده است (شکل g6 تا i). رودوکروزیت کانی کربنات منگنز بوده که به رنگ قرمز در سطح رگه‌ها شناسایی گردید. این کانی عمدتاً حفرات را پر کرده است (شکل h5).



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی از کانی‌سازی در منطقه چاه نقره (a) گالن و اسفالریت در برش گسلی، (b) حضور ادخال فاهلور در کانی گالن، (c) پیریت‌های نیمه‌شکل دار همراه با گالن، (d) انحنا و جابجایی در چاله‌های مثلثی شکل کانی گالن، (e) حضور کوولیت در حاشیه کانی گالن، (f) تبدیل گالن از حاشیه به سرروزیت و انگلریت، (g) کانی پیریت که تماماً به گوتیت و هماتیت تبدیل شده است، (h) گوتیت با بافت گل کلمی در حاشیه کانی گالن و (i) گوتیت با بافت اسکلتی. اختصارات: Gn= گالن، Py= پیریت، Sph= اسفالریت، Cv= کوولیت، Hem= هماتیت، Gth= گوتیت (علایم اختصاری کانی‌ها از Whitney and Evans, 2010).

Fig. 6. Photomicrographs of mineralization in Chah Noghereh area (a) galena and sphalerite in fault breccia, (b) presence of fahlore's inclusion in galena mineral, (c) subhedral pyrite associated with galena, (d) curvature and displacement in triangular pits of galena mineral, (e) presence of covellite in margin of galena mineral, (f) serrusite and anglesite replacing along galena boundaries, (g) pyrite mineral completely replaced with goethite and hematite, (h) goethite with celloform texture in margin of galena mineral, and (i) goethite with skeletal texture. Abbreviations: Gn= Galena, Py= Pyrite, Sph= Sphalerite, Cv= Covellite, Hem= Hematite, Gth= Goethite (mineral abbreviations from Whitney and Evans, 2010).

گرم در تن (با میانگین ۲۳۲/۱ گرم بر تن)، مس از ۶ تا ۳۰۲۲ گرم در تن (با میانگین ۳۵۸/۱ گرم بر تن) و نقره از ۰/۲ تا ۲/۸ گرم در تن (با میانگین ۰/۹ گرم بر تن) است (جدول ۱). مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خرده سنگی برداشت شده از محل رگه‌ها (ترانشه‌ها) به ترتیب برای سرب ۳۷۵۹، ۱۵۸۰۰۰ و ۶۵۹۶۰ گرم بر تن، روی ۳۴۸، ۲۵۵۰۷ و ۵۴۷۱ گرم بر تن، مس ۲۱، ۱۲۹۵ و ۴۲۱/۷ گرم بر تن، نقره ۰/۵، ۲۳۷ و ۷۶/۸ گرم بر تن و آنتیموان ۱/۶۴، ۱۰۳ و ۹۱۴/۷ گرم بر تن است (جدول ۲). مقادیر بالای سرب در رگه‌ها مربوط به حضور کانی اولیه گالن و

ژئوشیمی

نتایج تجزیه ژئوشیمی برخی عناصر مهم از ۱۶ نمونه برداشت شده از سطح و ۱۱ نمونه برداشت شده از محل رگه‌ها (ترانشه‌ها) در جدول‌های ۱ تا ۳ آمده است. با توجه به شرایط اکسیداسیونی در سطح، مقادیر عناصر مس، سرب، روی، نقره و آنتیموان نسبت به مقادیر این عناصر در ترانشه‌ها کاهش نشان می‌دهد. مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خرده سنگی برداشت شده از محل رگه‌ها در سطح برای سرب از ۱۰ تا ۲۹۸۲۱ گرم در تن (با میانگین ۸۸۹۶/۵ گرم بر تن)، روی از ۲۴ تا ۸۹۶۴

فرعی و کمیاب درون خود بوده که عناصر نقره و آنتیموان از جمله مهمترین این عناصر هستند. سرب با آنتیموان همبستگی مثبت متوسط (۰/۶۰۰) و با نقره همبستگی مثبت کمتر (۰/۳۸۰) نشان می‌دهد (جدول ۴). این همبستگی‌ها و عدم حضور کانی‌های مستقل نقره‌دار و آنتیموان‌دار در رگه‌های منطقه چاه نقره، می‌تواند به حضور این عناصر در میزبان گالن نسبت داده شود. روی با کادمیوم همبستگی مثبت بالا (۰/۹۷۵) نشان می‌دهد. از آن جایی که این عنصر معمولاً در اسفالریت‌ها نشان می‌شود می‌توان نتیجه گرفت که اسفالریت‌های رگه‌ها در منطقه چاه نقره دارای کادمیوم بوده‌اند (جدول ۴). کانی‌های مس‌دار اولیه در منطقه شناسایی نگردید. کانی اسفالریت با احتمال زیاد ممکن است حاوی میانبارهای کالکوپیریت باشد که منشا اصلی مس در رگه‌ها است. کالکوپیریت ممکن است کاملاً اکسید شده و در نتیجه مس شسته و گوتیت بر جا مانده باشد.

کانی‌های ثانویه سروزیت و انگلریت است. همچنین مقادیر بالای روی در رگه‌ها مربوط به حضور کانی اسفالریت است. مقادیر مس موجود در رگه‌ها مربوط به حضور کوولیت است. لازم به ذکر است که کانی اولیه مس‌دار در منطقه شناسایی نگردید. بر اساس نتایج تجزیه ژئوشیمی نمونه‌ها برای طلا به روش Fire Assay، کمترین و بیشترین مقادیر اندازه‌گیری شده از ۱۹ تا ۸۰ میلی‌گرم در تن است (جدول ۳).

با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (Rollinson, 1993)، ارتباط و همبستگی میان عناصر مختلف در زون کانی‌سازی (نتایج تجزیه ژئوشیمی از محل ترانشه‌ها) مورد مطالعه قرار گرفته است (جدول ۴). در زمان ته نشست ماده معدنی، عناصر کمیاب موجود در سیال کانه‌ساز به صورت محلول جامد و یا به صورت ادخال کانی‌های مستقل در درون کانی میزبان وارد می‌شوند (Loftus-Hills and Solomon, 1967). کانی گالن معمولاً دارای مقادیری عناصر

Minerals	Hypogene				Oxidized zone
	Stage-1	Stage-2	Stage-3	Stage-4	
Pyrite	-----	-----			
Galena	██████████	██████████	██████████		
Sphalerite	-----	-----			
Fahlore	-----				
Quartz	██████████	-----			
Barite I		██████████			
Barite II		██████████			
Calcite			██████████	-----	
Dolomite			██████████	██████████	
Clay minerals	-----				██████████
Sericite	-----				
Chlorite			-----	-----	
Epidote			-----	-----	
Cerussite					██████████
Anglesite					-----
Rhodochrosite					-----
Covellite					-----
Malachite					-----
Hematite					-----
Goethite					██████████

شکل ۷- توالی پاراژنزی در منطقه چاه نقره.

Fig. 7. Paragenetic sequence in Chah Noghreh area.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از سطح در منطقه چاه نقره (Lotfian, 2017).

Table 1. Geochemical analyses data of lithochemical samples of veins in Chah Noghreh area (Lotfian, 2017).

Sample N	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
CH-1	1.5	29.5	129	0.34	662	16474	29821	105	2166
CH-2	1.2	41.2	5491	25.7	706	21000	27821	102	4896
CH-3	0.7	32.7	3056	10.7	315	18592	20334	80.9	8964
CH-4	0.46	66.6	7230	5.7	102	5234	10078	74.1	3878
CH-5	0.29	2.1	214	0.32	6	877	64	1.15	99
CH-6	0.24	2.4	445	0.28	8	1980	68	1.22	215
CH-7	0.23	2.3	319	0.26	6	894	26	1.01	108
CH-8	1	21.1	1265	0.3	25	1391	909	1.91	1911
CH-9	2.7	182.7	3265	0.85	334	6543	10787	75.9	4562
CH-10	1.6	79.4	1743	0.44	136	2321	3741	2.86	2832
CH-11	1.4	14.2	3672	1.8	51	3561	5340	3.1	1459
CH-12	0.55	23.1	1696	2.8	187	4734	10306	35.7	3019
CH-13	0.59	27.4	892	14.4	99	4943	7170	40.5	2816
CH-14	0.35	4.6	1443	0.26	45	2637	10	0.82	30
CH-15	0.3	1.9	4261	0.26	26	3192	10	0.95	24
CH-16	2.8	78.1	1690	0.6	3022	20309	15859	102	160

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از محل ترانشه‌ها در منطقه چاه نقره.

Table 2. Geochemical analyses data of lithochemical samples of veins in Chah Noghreh area.

Sample N	Ag (ppm)	As (ppm)	Ba (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	Zn (ppm)
DL (ppm)	0.1	0.5	1	0.1	1	5	1	0.5	1
CHC-03	0.54	4	9850	0.7	30	4225	3759	1.64	348
CHC-06	111.9	41.7	3003	28.3	1295	12101	158000	102	14806
CHC-07	102.9	47.8	2383	0.8	672	3000	100000	100	511
CHC-08	77.3	34.7	6769	24.4	709	13233	79000	93.5	6810
CHC-09	9.8	16.1	7276	72.1	293	10676	16702	66.8	25507
CHC-09A	5	98	4713	8	726	19958	67000	100	5412
CHC-22	27.6	55.8	5456	2.5	135	13045	51000	92.5	656
CHC-26	5.8	80.2	8045	3	21	19035	67000	55.3	860
CHC-27	175.7	91.7	3076	5	384	19604	88000	100	2729
CHC-275	237	39.9	1316	5.1	191	19733	52100	100	1066
CHC-277	91.3	57.6	3503	1.4	183	19823	43000	103	1476

جدول ۳- نتایج حاصل از تجزیه نمونه‌های برداشت شده از منطقه چاه نقره برای عنصر طلا (Lotfian, 2017).

Table 3. Fire assay analyses data of Au elements in Chah Noghreh area (Lotfian, 2017).

sample No.	CH12	CH17	CH19	CH21	CH21	CH21	Chpy
Au (ppb)	31	19	38	24	45	80	35

جدول ۴- مقادیر ضریب همبستگی مربوط به هر جفت عنصر در رگه‌های منطقه چاه نقره (+++ همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی مثبت ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف، -- همبستگی منفی متوسط، --- همبستگی منفی بالا).

Table 4. Correlation coefficient values for each element pair in the veins of the Chah Noghreh area (+++High positive correlation, ++ Moderate positive correlation, + Weak positive correlation, - High negative correlation, -- Moderate negative correlation, --- Weak negative correlation).

	Ag	As	Cu	Sb	Pb	Cd	Zn	Mn	Fe
Ag	1	+	+	++	++	-	-	+	--
As	0.094	1	+	++	++	--	--	+++	+
Cu	0.172	0.087	1	++	+++	+	++	-	+
Sb	0.550	0.505	0.508	1	++	-	+	++	-
Pb	0.380	0.354	0.828	0.600	1	-	+	+	+
Cd	-0.205	-0.420	0.252	-0.025	-0.074	1	+++	-	+
Zn	-0.198	-0.343	0.388	0.032	0.060	0.975	1	-	+
Mn	0.294	0.686	-0.132	0.450	0.057	-0.154	-0.128	1	+
Fe	-0.466	0.119	0.273	-0.175	0.041	0.272	0.298	0.064	1

سیالات از نوع تک فاز بخار (V) و تک فازی مایع (L) هستند. عدم حضور فاز جامد (هالیت) در میانبراهای سیال به دلیل شوری متوسط تا پایین سیالات کانه‌ساز است. اندازه‌گیری گرمایش و سرمایش بر روی میانبراهای سیال اولیه دو فازی غنی از مایع انجام گرفت. در این مطالعه ۲ مقطع دوبرصیقلی (کانی کوارتز) و تعداد ۲۹ سیال درگیر (انواع LV) از مرحله اول، ۳ مقطع دو بر صیقلی و تعداد ۳۸ سیال درگیر (انواع LV) از مرحله دوم کانی‌سازی (کانی باریت) و ۳ مقطع دوبر صیقلی و تعداد ۴۱ سیال درگیر از مرحله سوم کانی‌سازی رگه-ای اندازه‌گیری شده است (جدول ۵).

میانبراهای سیال در نمونه‌های کوارتز مرحله اول، عمدتاً بی‌شکل تا میله‌ای بوده و اندازه آنها بین ۸ تا ۱۲ میکرون است (شکل ۸a). مقدار دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) در سیالات این رگه متغیر و بین ۱۹/۲- تا ۱۶/۸- است (جدول ۵) که به این اساس شوری میانبراهای سیال این رگه از ۲۰ تا ۲۱/۸ درصد وزنی متغیر است (شکل ۸b). دامنه حرارتی دمای همگن شدن در این رگه ۲۱۰ تا ۲۸۱ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۸c).

میانبراهای سیال در نمونه‌های باریت (نسل اول و دوم) در مرحله دوم، میله‌ای تا بیضوی بوده و اندازه آنها بین ۶ تا ۱۲ میکرون است (شکل ۸b). در نسل اول باریت، ۸۵ تا ۹۰ درصد میانبراهای سیال از نوع دو فازی غنی از مایع، ۵ درصد تک فازی مایع، ۴ درصد تک

ریزدماسنجی میانبراهای سیال

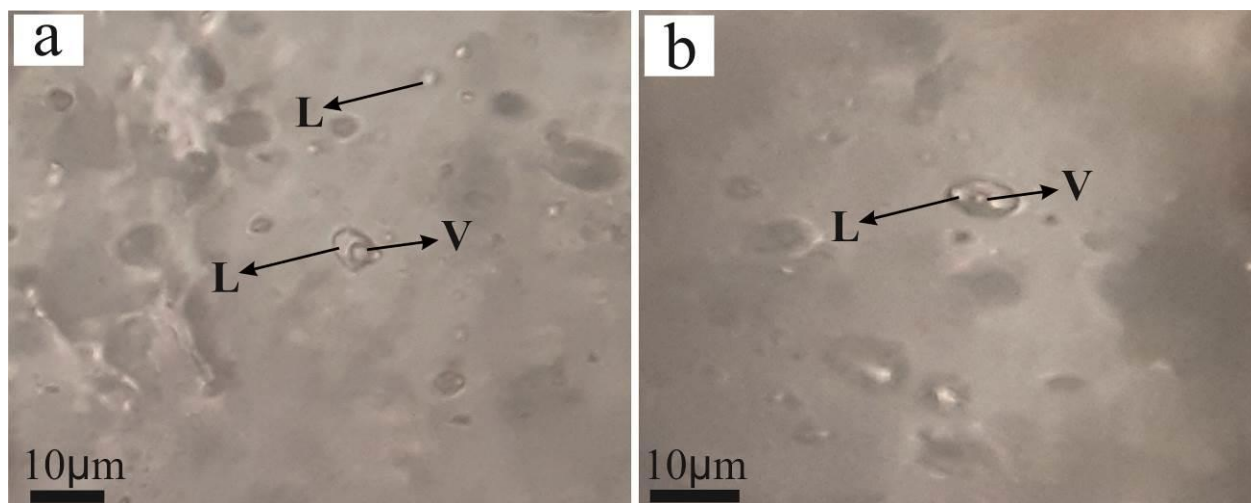
در کانسار چاه نقره، کانی‌های کوارتز، کلسیت، باریت و دولومیت مهمترین کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی و مرتبط با سیال کانه‌ساز هستند. همانطور که در بخش کانی‌سازی اشاره گردید، چهار مرحله اصلی در شکل‌گیری کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه چاه نقره شناسایی شد. مطالعات میانبر سیال بر روی کانی‌های کوارتز، باریت و کلسیت مرتبط به کانی‌سازی به ترتیب در مراحل اول، دوم و سوم صورت گرفت. در مقاطع دوبر صیقل تهیه شده از دولومیت‌های همراه با کانی‌سازی به دلیل نامناسب بودن اندازه میانبراهای سیال، امکان اندازه‌گیریهای دماسنجی و مقدار شوری فراهم نگردید.

بر اساس تقسیم‌بندی‌های متداول (Roedder, 1984; Goldstein, 2003)، در نمونه‌های مورد مطالعه ۴ تیپ سیال درگیر قابل تفکیک است. بیشتر میانبراهای سیال شناسایی شده دو فازی غنی از مایع (نوع L+V با مقدار فاز مایع ۷۵ تا ۹۰ درصد و بخار ۱۰ تا ۲۵ درصد) بوده و همگی بصورت اولیه تشکیل شده‌اند. به مقدار خیلی کمتر میانبراهای سیال دوفازی غنی از بخار (نوع L+V با مقدار فاز بخار بیشتر از ۹۰ درصد) شناسایی گردید. لازم به ذکر است که میانبراهای سیال دوفازی غنی از بخار به طور محدود (۳ عدد) در کانی باریت شناسایی گردید. همچنین تعداد کمی از

میانبراهای سیال این رگه از ۱۱/۷ تا ۱۲/۵ درصد وزنی متغیر است (شکل b۹). دامنه حرارتی دمای همگن شدن در این رگه ۲۰۰ تا ۲۱۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل a۹).

میانبراهای سیال در نمونه‌های کلسیت در مرحله سوم، بی‌شکل تا بیضوی بوده و اندازه آنها بین ۶ تا ۱۴ میکرون است. مقدار دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) در سیالات این رگه متغیر و بین ۱۱/۹- تا ۹/۵- است (جدول ۵) که به این اساس شوری میانبراهای سیال این رگه از ۱۳/۴ تا ۱۵/۸ درصد وزنی متغیر است (شکل b۹). دامنه حرارتی دمای همگن شدن در این رگه ۱۴۵ تا ۱۸۰ درجه سانتی-گراد است (شکل a۹). نخستین دمای ذوب شدگی (T_{fm}) در میانبراهای سیال نیز بین ۵۵/۸- تا ۴۸/۸- درجه سانتی‌گراد (میانگین ۵۲- درجه سانتی‌گراد) متغیر بود (جدول ۵).

فازی از نوع بخار و کمتر از ۱ درصد دو فازی غنی (VL) از بخار هستند. در نسل دوم باریت، ۸۰ تا ۸۵ درصد میانبراهای سیال از نوع دو فازی غنی از مایع، ۱۲ درصد تک فازی مایع، ۲ درصد تک فازی از نوع بخار و کمتر از ۱ درصد دو فازی (VL) غنی از بخار هستند. بر اساس نتایج به دست آمده و نمودارهای ترسیم شده از مطالعه میانبراهای سیال، دو نسل متفاوت باریت با دماهای تقریباً یکسان اما شوری‌های متفاوت داریم. در نسل اول مقدار دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) در سیالات متغیر و بین ۱۱/۳- تا ۱۳/۴- است (جدول ۵) که بر این اساس شوری میانبراهای سیال این رگه از ۱۵/۲ تا ۱۷/۲ درصد وزنی متغیر است (شکل b۹). دامنه حرارتی دمای همگن شدن در این رگه ۱۹۵ تا ۲۲۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل a۹). در نسل دوم مقدار دمای نهایی ذوب یخ (Tm-ice) در سیالات متغیر و بین ۸/۷- تا ۸- است (جدول ۵) که به این اساس شوری



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از میانبراهای سیال، (a) میانبراهای سیال دوفازی (LV) و تک فازی (L) در کوارتز مربوط به مرحله اول کانی‌ساز و (b) میانبراهای سیال دوفازی (LV) و تک فازی (L) در باریت مربوط به مرحله دوم کانی‌سازی.

Fig. 8. The microscopic image of fluid inclusions, (a) two-phase fluid inclusions (LV) and single phase (L) in quartz of first stage mineralization and (b) two-phase fluid inclusions (LV) and single phase (L) in barite of second stage mineralization.

بحث

تکامل سیال کانه‌ساز

کمپلکس‌های بی‌سولفیدی در کانسارهایی که درجه حرارت‌های پائین‌تر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند و یا در کانسارهایی که کانی‌شناسی آنها دلالت بر شرایط احیاء کننده دارد، غالب هستند. درحالی‌که در ذخایری که در درجه حرارت‌های بالاتر از تقریباً ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد شکل می‌گیرند و با حضور کانی‌های اکسیدی یا سولفیدی در آنها حاکی از شرایط نسبتاً اکسید کننده است، کمپلکس‌های کلریدی غلبه دارند (Seward, 1973; 1991). درجه حرارت تشکیل کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد در کانسار چاه نقره نشان دهنده غالب بودن کمپلکس‌های بی‌سولفیدی و کم اهمیت بودن کمپلکس‌های کلریدی است.

توالی کانیایی در کانی‌سازی‌های رگه‌ای در منطقه چاه نقره نشان دهنده تغییر از کانی‌های رسی (دگرسانی آرژیلیک) به کانی‌سازی اصلی همراه با کوارتز (دگرسانی سیلیسی)، باریت و در نهایت کلسیت (دگرسانی کلسیتی) و دولومیت (دگرسانی دولومیتی) است. تغییرات در مجموعه پاراژنری نشان دهنده تکامل محلول گرمایی است. تغییر شرایط پایداری کانی رسی به کلسیت و دولومیت نشان دهنده تکامل محلول از شرایط pH اسیدی به قلیایی است (Simmons and Christenson, 1994).

عوامل فیزیکوشیمیایی موثر بر ته‌نشست فلزات

جدول ۵- نتایج مطالعات میانبارهای سیال اولیه (P) در کانی‌های کوارتز، باریت و کلسیت همراه با کانه‌زایی رگه‌ای در منطقه چاه نقره.

Table 5. Microthermometric data of primary fluid inclusions (P) of quartz, barite and calcite minerals associated with mineralization in the Chah Noghreh veins.

Sample N.	Stage of mineralization	Mineral	Type of fluid	Dimension (μm)	Fluid Number	Th (°C)	T _e (°C)(T _{fm})	T _m (°C)	Salinity Wt. %
Ch-19	Stage 1	Quartz	LV	9-12	16	260-210	-49.2 to -50.4	18 -to 19.2-	21.8-20.9
Ch-20	Stage 1	Quartz	LV	8-12	13	281-270	-52 to -53	16.8 -to 17.3-	20.4-20
Ch-18B	Stage 2	Bartite 1	LV	8-12	13	210-198	-55 to -55.8	12.8 -to 13.4-	17.2-16.7
Ch-18C	Stage 2	Bartite 1	LV	8-12	13	225-195	-53.2 to -54.1	11.3 -to 12.1-	16-15.2
Ch-18A	Stage 2	Bartite 2	LV	6-10	12	215-200	-55 to -55.8	8 -to 8.7-	12.5-11.7
Ch-1	Stage 3	Calcite	LV	9-14	15	165-145	-49 to -49.8	10.4 -to 11.9-	15.8-14.3
Ch-7	Stage 3	Calcite	LV	8-12	14	180-165	-48.8 to -49.8	9.5 -to 10.4-	14.3-13.4
Ch-9	Stage 3	Calcite	LV	6-10	12	174-155	-52 to -52.8	10.5 -to 11.2-	15.1-14.4

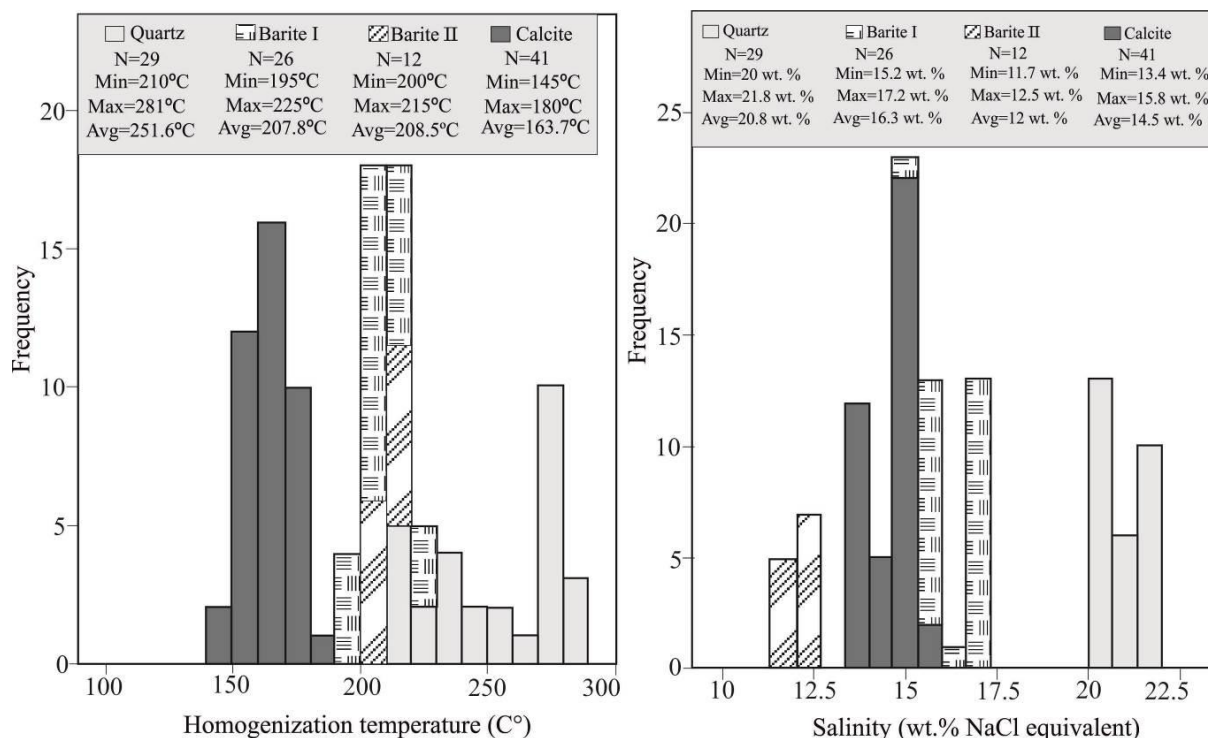
بافت‌هایی را ایجاد می‌کنند که می‌توان بر اساس آن به شرایط فیزیکی محلول کانه‌ساز پی برد (e.g., Adams, 1920; Moncada et al., 2012). از شواهد جوشش در منطقه می‌توان به وجود بافت‌های برشی و قشری در رگه‌ها اشاره کرد. هر چند که مکانیسم اصلی کانه‌ساز در رگه‌ها کاهش دما و اختلاط سیالات است ولی با توجه به وجود شواهد بافتی از وقوع پدیده جوشش می‌توان عمق را تخمین زد. از آنجا که فشار آنها در حین به دام افتادن بسیار پایین است و نیازی به تصحیح ندارد (Wilkinson, 2001)، در نتیجه می‌توان عمق تشکیل آن را تخمین زد که بر اساس نمودار Fournier (۱۹۹۹) حدود ۷۰۰ متر است (شکل ۱۱).

در کانسارهای اپی‌ترمال، میزان طلا به شوری سیال کانه‌ساز بستگی دارند. انواع غنی از طلا با سیال با شوری کم (۱-۲ درصد وزنی نمک طعام) و نوع فلزات پایه و نقره با سیال با شوری بالاتر همراه هستند (Seward and Barnes, 1997; Henley, 1986). سیال شور و غنی از فلزات پایه، توان تشکیل دانه‌های آزاد طلا را نداشته و تنها باعث کانی‌سازی فلزات پایه و نقره در این منطقه شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به دلیل شوری بالای سیال کانه‌ساز در منطقه، کانی‌سازی طلا به صورت اقتصادی تشکیل نشده است.

شکل ۱۰ نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری برای سیالات دوفازی در کانی‌های کوارتز، باریت و کلسیت را نشان می‌دهد. مطابق این نمودار سه جمعیت میانبارهای سیال با دماها و شوری‌های متفاوت در رگه‌ها باعث کانی‌سازی شده‌اند. سیالات مربوط به کانی‌های کوارتز، باریت و کلسیت هر کدام دارای روند خطی مستقیم بوده که نشان می‌دهد کاهش دما مهمترین فاکتور در شکل‌گیری کانی‌سازی در هر مرحله است.

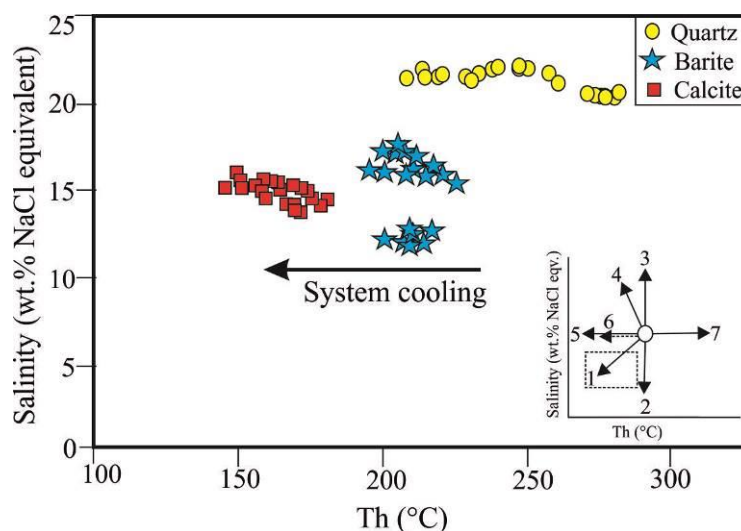
آنچه در نمودار شوری- دمای همگن شدن سیال‌های درگیر مورد توجه است، دو دسته شدن سیالات با روند خطی مستقیم در کانی باریت است. این روند نشان می‌دهد که دو نسل باریت با دماهای یکسان اما شوری متفاوت در رگه‌ها شکل گرفته‌اند. وجود باریت‌هایی با شوری‌های متفاوت را می‌توان در نتیجه یکی از این دو فرایند دانست: ۱. ورود شورابه بیگانه به قسمت‌های کم عمق و ۲. فرایند جوشش که باعث گیر افتادن سیالی با شوری متغییر در یک سیال دیگر می‌شود (Simmons and Brown, 1997; Scott and Watanabe, 1998).

در مطالعه میانبارهای سیال، شواهد پتروگرافی برای فرآیند جوشش (حضور سیالات غنی از مایع و غنی از بخار) مشاهده گردید. همچنین فازهای سیلیکاته و کربناته در کانسارهای اپی‌ترمال گاهی



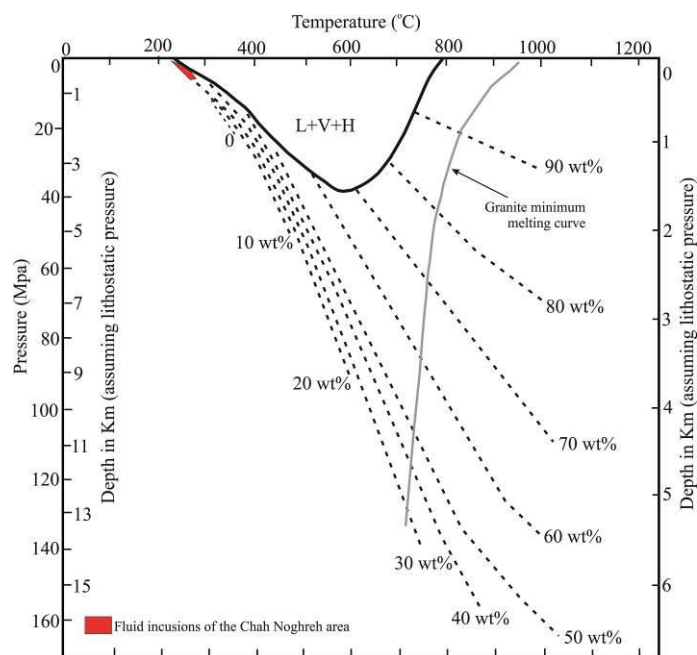
شکل ۹- نمودارهای (a) دمای همگن شدن و (b) شوری میانبراهای سیال اولیه از نوع LV در منطقه چاه نقره.

Fig. 9. Histogram showing the homogenization temperature (a), and (b) salinity (wt.% NaCl equivalent) data of primary fluid inclusions of LV type in the Chah Noghreh veins.



شکل ۱۰- نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری میانبراهای سیال در کانی‌سازی‌های رگه‌ای منطقه چاه نقره. روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما-شوری از (Shepherd et al., 1985). روند ۱=رقیق شدگی با سیالات سطحی، روند ۲ و ۳=مخلوط شدگی سیال A با سیالات دیگر با شوری مختلف ولی دمای یکسان، روند ۴=شوری فاز باقیمانده در اثر جوشش افزایش پیدا کرده است، روند ۵=سرد شدگی سیال، روند ۶=باریک شدگی میانبراهای سیال، روند ۷=افزایش حرارت سیستم گرمایی/کاهش فشار از سیستم.

Fig. 10. Homogenization temperature vs. salinity of fluid inclusions in the Chah Noghreh area. Several possible trends of fluid evolution in a temperature–salinity diagram from Shepherd et al. (1985). Trend 1 represents primitive fluid A mixed with cold and low salinity fluid B, trends 2 and 3 represent the result of fluid A isothermally mixing with different salinity fluid B, trend 4 represents the salinity of residual phase increased, caused by boiling of fluid A, trend 5 represents cooling of fluid A, trend 6 represents necking of the fluid inclusion, trend 7 increase the heat of the hydrothermal system/ reduce the pressure of the system.



شکل ۱۱- نمودار فشار - درجه حرارت (برای نمونه‌های منطقه چاه نقره) نشان دهنده رابطه فازها در سیستم $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ در فشارهای هیدرو استاتیک و لیئو استاتیک (Fournier, 1999). $L = \text{liquid}$, $V = \text{vapor}$, $H = \text{halite}$. خط چین‌ها منحنی‌های ثابت درصد وزنی NaCl محلول در شورابه هستند. خط باریک خاکستری منحنی کمترین ذوب گرانیات را مشخص می‌کند. خط ضخیم مشکی مرز سه فاز، $L+V+H$ را برای سیستم $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ با Na/K در محلول ثابت شده بوسیله آل‌بیت و K -فلدسپار در درجه حرارت‌های مشخص نشان می‌دهد.

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

مناطق شوراب، گله‌چاه و چوپان به ترتیب بین ۱۸۴ تا ۲۴۵، ۱۴۷ تا ۲۳۶ و ۱۴۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. شوری سیالات نیز به ترتیب بین ۴/۲ تا ۱۵/۳، ۲/۸ تا ۹/۴ و ۴/۱ تا ۱۲/۵ درصد وزنی در مناطق شوراب، گله‌چاه و چوپان می‌رسد (Mehrabi et al., 2011; 2019).

مقایسه دمای همگن شدن و شوری میانبارهای سیال در کانی-سازی منطقه مورد مطالعه با مناطق گله‌چاه، شوراب، چوپان، سه-چنگی و حوض رئیس نشان می‌دهد که این رگه‌ها در یک محدوده دمایی و شوری تقریباً مشابه ایجاد شده‌اند. بر مبنای مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، منشا ماگمایی-جوی را برای کانی‌سازی در سه‌چنگی و شوراب پیشنهاد می‌کنند (Mehrabi et al., 2019; Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2015). بنابراین این احتمال وجود دارد که همه رگه‌ها در این محدوده از غرب بلوک لوت مربوط به یک سیستم ماگمایی-گرماپی واحد بوده و ماگما در عمق کانی‌سازی‌ها را کنترل می‌کند.

مقایسه کانی‌سازی سرب-روی رگه‌ای در چاه‌نقره با رگه-

های آنتیموان \pm سرب \pm روی در غرب بلوک لوت

همانطور که قبلاً اشاره گردید، نکته قابل توجه در غرب بلوک لوت حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای متعدد فلزات پایه می‌باشد. از جمله این رگه‌ها می‌توان به شوراب، چوپان، گله‌چاه، سه‌چنگی و حوض رئیس اشاره نمود. میزبان اصلی کانی‌سازی رگه‌ای در مناطق سه‌چنگی و حوض رئیس، توده پیروکسن مونوزونیت پورفیری می‌باشد. دگرسانی‌های اطراف رگه، دگرسانی‌های آرژیلیک، سیلیسی و کربناته می‌باشند. دمای همگن شدن به ترتیب بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ و ۱۴۵ تا ۲۷۸۵ درجه سانتی‌گراد در مناطق سه‌چنگی و حوض رئیس می‌باشد. شوری سیالات نیز به ترتیب ۰/۲ تا ۱۶/۵ و ۸/۲ تا ۱۳/۴ درصد وزنی در مناطق سه‌چنگی و حوض رئیس است (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2013; 2015).

سنگ میزبان کانی‌سازی در منطقه شوراب، گله‌چاه و چوپان واحدهای آندزیتی تا ریولیتی بوده و دگرسانی‌های سیلیسی-سرسیت-آرژیلیک و پروپلیتیک در این مناطق قابل شناسایی است. همچنین بر طبق مطالعات میانبارهای سیال، دمای همگن شدن در

نتیجه گیری

کانی سازی در منطقه چاه نقره در سامانه گسلی (با امتدادهای عمدتاً شمال غرب-جنوب شرق) و در واحدهای آتشفشانی (توف برش ریولیته تا داسیتی و آندزیتی) شکل گرفته است. کانی سازی سولفیدی (گالن، اسفالریت، فاهلور، پیریت) در رگه ها در چهار مرحله به ترتیب بصورت کوارتز-سولفید، باریت-سولفید، کلسیت-سولفید و دولومیت-سولفید تشکیل شده و دگرسانی های آرژیلیکی، سیلیسی، کلسیتی و دولومیتی با گسترش کم، حاشیه رگه ها را تحت تاثیر قرار داده اند. دگرسانی های آرژیلیکی، سیلیسی و کلسیتی تقریباً در همه رگه ها شناسایی گردید. در مقابل دگرسانی دولومیتی فقط در دو رگه جنوبی منطقه شناسایی شد.

با توجه به داده های ریزدماسنجی، رگه های سرب-روی در منطقه مورد مطالعه از سیالاتی با دماهای بین ۱۴۵ تا ۲۸۱ درجه سانتی-گراد و شوری های بین ۱۱/۷ تا ۲۱/۸ درصد وزنی NaCl تشکیل شده اند. به نظر می رسد کاهش دما و همچنین جوشش طی تحول سیالات گرمایی و در نهایت شکل گیری رگه ها موثر بوده است. توده نفوذی مرتبط با کانی سازی شناسایی نگردید، اما این احتمال وجود دارد که توده نفوذی مرتبط با کانی سازی در عمق یا در فاصله ای دورتر از منطقه مورد مطالعه باشد. کنترل ساختاری کانی سازی، نوع دگرسانی ها و گسترش محدود آنها در حاشیه رگه ها، کانی شناسی ساده ذخیره و دما و شوری کم میانبارهای سیال مشابه کانسارهای

آبی ترمال سرب - روی می باشد. همچنین تشکیل کانی سازی در عمق کمتر از یک کیلومتر (۷۰۰ کیلومتر) شاهدی دیگر بر کانی سازی نوع آبی ترمال در منطقه مورد مطالعه می باشد.

کانی سازی های رگه ای در مقیاس وسیع تر در غرب بلوک لوت نیز در زون های گسلی شکل گرفته اند. حضور رگه های متعدد مس (مناطق شکسته سبز، شورک، مهرخش، رشیدی، غارکفر، حوض دغ، چاه خاره و چنگ نمک زار)، سرب - روی (سه چنگی و حوض رئیس) و آنتیموان - سرب - روی (شوراب، گله چاه، چوپان و کوه شورو) در مقیاس وسیع (در غرب بلوک لوت) نشان دهنده پتانسیل بالای این محدوده بوده و احتمال اینکه این کانی سازی ها مرتبط به یک سیستم ماگمایی-گرمایی واحد باشند را تقویت می کند. بنابراین شناخت هر چه بیشتر این ذخایر از لحاظ نحوه تشکیل، منشا محلول کانه دار و ساختارهای زمین شناسی، گام مثبتی در جهت اکتشاف بهتر آنها خواهد بود.

سپاسگزاری

این پروژه با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد طبق طرح پژوهشی شماره ۲ به شماره ۴۷۰۴۳ مورخ ۱۳۹۷/۹/۲۷ از طرح پژوهانه انجام شده است. از آقای مهندس حجت غلامی که در بخش عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم. همچنین از کمک ها و راهنمایی های آقای مهندس لطفیان و آقای مهندس وطن دوست در طی برداشت های صحرایی صمیمانه سپاسگزاریم.

منابع

- Adams, S.F., 1920. A microscopic study of vein quartz. *Economic Geology* 15, 623-664.
- Aghanabati, S.A., 2004. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran, p. 586.
- Bonev, I.K., 2007. Crystal habit of Ag-, Sb- and Bi-bearing galena from the Pb-Zn ore deposits in the Rhodope Mountains. *Geochemistry, Mineralogy and Petrology Sofia* 45, 1-18.
- Fournier, R.O., 1999. Hydrothermal processes related to movement of fluid from plastic into brittle rock in the magmatic-epithermal environment. *Economic Geology* 94, 1193-1212.
- Ghazban, F., Mcnutt, R.H., Schwarcs, H.P., 1994. Genesis of sediment-hosted Zn-Pb-Ba deposits in the Irankuh district, Esfahan Area, West-Central Iran. *Economic Geology* 89, 1262-1278.
- Goldstein R.H., 2003. Petrographic Analysis of Fluid Inclusions. In: Samson, I. Anderson, A. Marshall D. (Ed.), *Fluid inclusions: Analysis and interpretation*, Mineralogical Association of Canada, Short Course Handbook, 32, pp. 9-53.
- Henley, R.W., 1986. Primary controls on epithermal mineralization in the Taupo volcanic zone: International volcanological congress, proceeding of symposium 5: volcanism, hydrothermal systems and related mineralization, p. 99.
- Jamiee, A.R., 2009. Preliminary mineral exploration project in Chah Noghreh area. Industries and mines organization of South Khorasan province, p. 45.
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Heidariane Shahri, M. R., 2013. Satellite data processing, alteration, mineralization and geochemistry of Mehrkhash area prospect, North West of Birjand. *Journal of Earth Science Researches* 4, 56-69 (in Persian with English abstract).
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Heidariane Shahri, M. R., 2014. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of Shekaste Sabz area prospect, North West of Birjand. *Journal of Crystallography and Mineralogy* 22, 507-520 (in Persian with English abstract).
- Javidi Moghaddam, M., Karimpour, M.H., Ebrahimi Nasrabadi, K., Haidarian Shahri, M.R., Malekzadeh Shafaroudi, A., 2018. Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations

- of Epithermal Cu \pm Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran. *Acta Geologica Sinica* 92, 1139-1156.
- Lecumberri-Sanchez, P., Steel-MacInnis, M., Bodnar, R.J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 92, 14-22.
- Loftus-Hills, G., Solomon, M., 1967. Cobalt, nickel and selenium in sulphides as indicators of ore genesis. *Mineralium Deposita* 2, 228-242.
- Lotfi, M., 1995. Geological map of Sarghanj. Scale 1:100,000, Geological Survey of Iran.
- Lotfian, J., 2017. Report of exploration license in Chah Noghreh area (in Persian), Geological Survey of Iran, Mashhad, p. 38.
- Malekzadeh Shafaroudi, A., Karimpour, M.H., 2013. Geology, Mineralization and fluid inclusion studies in Howz-e-Raise lead-zinc-copper deposit, Eastern Iran. *Advanced Applied Geology* 91, 1-14 (in Persian with English abstract).
- Malekzadeh Shafaroudi, A., 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, 1-14.
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E., Nokhbatolfoghahaie, A., 2011. The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences. *Iranian Journal of Mineralogy and Crystallography* 19, 121-130.
- Mehrabi, B., Tale Fazel, E., Yardley, B., 2019. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran. *Chemie der Erde* 79, 307-322.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D., Bodnar, R.J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 114, 20-35.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy* 12, p. 644.
- Rollinson, H., 1993. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific & Technical, Essex, UK, p. 352.
- Scott, A.M., Watanabe, Y., 1998. Extreme boiling model for variable salinity of the Hokko low-sulfation epithermal Au prospect, southwestern Hokkaido Japan. *Mineralium Deposita* 33, 563-578.
- Seward, T.M., 1973. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal solutions, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37, 379-399.
- Seward, T.M., 1991. The hydrothermal geochemistry of gold. In: Foster, R. P. (Ed.), gold metallogeny and exploration. Blackie and Sons Ltd, pp. 37-62.
- Seward, T.M., Barnes, H.L., 1997. Metal transport by hydrothermal ore fluids. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits* 3, 435-486.
- Shepherd, T., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, p. 239.
- Simmons, S.F., Browne, P.R.I., 1997. Saline fluid inclusions in sphalerite from the Broadlands-Ohaaki geothermal system: A coincidental trapping of fluid boiled toward dryness. *Economic Geology* 92, 485-489.
- Simmons, S.F., Christenson, B.W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science* 294, 361-400.
- Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P., Bodnar, R.J., 2012. HOKIEFLINCS-H₂O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl. *Computer in Geosciences* 49, 334-337.
- Szczerba, M., Sawlowicz, Z., 2009. Remarks on the origin of cerussite in the Upper Silesian Zn-Pb deposits, Poland. *Mineralogia* 40, 53-64.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185-187.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229-272.

