

Research Article**Investigation of geology, mineralogy and genesis of Hararan copper deposit**Abbass Montazami^{1*}, Ali Amiri¹, Mehdi Kianian¹

1- Department of Geology, Zarand Branch, Islamic Azad University, Zarand, Iran

Keywords: Uromieh - Dokhtar, Kerman, Hararan, Copper deposit, Fluid inclusions**1-Intraoduction**

The Hararan area is located northeast of Baft and lies in Dehaj – Sardouie subzone of Uromieh – Dokhtar magmatic Arc (UDMA) in the Kerman region. The UDMA zone is often composed of calc-alkaline intrusive and volcanic rocks associated with pyroclastic materials (Alimohammadi et al., 2015). Most copper deposits are located in the southern part of the arc, known as the Dehaj – Sarduiyeh or the Kerman copper belt (Mirzababaei et al., 2011, 2016; Shafiei et al., 2009). Zones of propylitic alteration indicate convective fluid flow systems (Masterman et al., 2005). High sulfidation epithermal deposits are characterized by sulfide-rich minerals assemblages with a high sulfidation state (Einaudi et al., 2003), typically pyrite and enargite hosted by advanced argillic – altered rocks (Sillitoe, 1993). Fluid inclusions (FIs) are a small part of ore-bearing in crystals trapped in crystal growth zones or inside any deficiencies created during crystal growth. One of the essential methods for acquiring measurements of FIs that are trapped in ores with the basis of ore-bearing fluids (Barnes, 1997). This study investigates the lithology, petrography, and fluid inclusion of volcanic rocks of Hararan in the Kerman region.

2- Materials and methods

During fieldwork, samples were selected and taken from different parts of the mineralogical studies. Twelve thin sections and ten polished sections were prepared, and the samples' mineralogy was determined by polarized – reflected light optical microscopy in the lab. Twelve double-polished sections are sent to Tarbyat Modares University to study fluid inclusion.

3-Discussion and conclusion

The Hararan area is located northeast of Baft, Kerman, and lies in Uromieh - Dokhtar magmatic belt. The mineralized area is hosted by volcanic-subvolcanic bodies comprising quartz diorite to porphyritic granodiorite rocks that intruded into the andesite, dacite, and trachyte rocks. The alteration zones, including potassic (secondary biotite, magnetite, and quartz), propylitic (chlorite, epidote, and quartz), argillic (credit and goethite), and siliceous, are recognized in the studied area. Hypogene mineralization includes Cu sulfide (chalcopyrite and pyrite) and Fe oxide (magnetite). Malachite and neotocite in potassic and propylitic alteration and goethite, jarosite in argillic alteration are formed during supergene.

In order to achieve a better understanding of fluid in the Hararan, the study of FIs in the quartz is divided into 5 groups: 1- three-phase gas- liquid-solid (V+L+S), 2-two- phase gas-liquid (gas-rich) (V+L), 3- two-phase liquid- gas (liquid-rich) (L+V), 4- single-phase gas (V), 5- single-phase liquid (L). The FIs studies show that the homogenization temperature and salinity are about 110-410°C, and 4 to 21 wt. % NaCl respectively, and the density liquid phase is about 0.7 to 1.0 g/cm³. Therefore, the distribution of FIs in (Th) - salinity diagram, with lines of constant fluid density, implies that cooling and increasing pH, boiling, and fluid mixing may play an essential role in Cu-ore deposition in the area.

* Corresponding author: abbass.montazami@yahoo.com

DOI: 10.22055/AAG.2021.35379.2171

Received 2020-10-24

Accepted 2021-01-16

The geological, petrography and fluid inclusion investigation show that Hararan copper deposit genesis is similar to epithermal deposits.

References

- Alimohammadi, M., Alirezaei, S., Kontak, D., 2015. Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo- Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews* 70, 290- 304.
- Barnes, H.L., 1997. Geochemistry of hydrothermal – metasomatic genetic model. *Journal of Geological Research* 2014, 1-24.
- Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W., Inan, E., 2003. Sulfidation state of fluid in active and extinct hydrothermal system: transition from porphyry to epithermal environments. *Society of Economic Geology Special Publication* 10, 285-313.
- Masterman, G.J., 2003. structural and geochemical evolution of the Rosario Cu- Mo porphyry deposit and related Cu – Ag veins, collahuasi district, northern chile; unpublished Ph.D. thesis, Tasmania, Australia, University of Tasmania, 253p.
- Mirzababaei, G., 2011. Relationship between the structural and tectonic factors and mineralization in Dehaj-Sarduieh copper belt; Kerman, SE Iran (in Farsi), 128p.
- Mirzababaei, G., Shahabpour, J., Zarasvandi, A., Hayatolgheyb, S.M., 2016. Structural Controls on Metallogenesis in the Dehaj Area, Kerman Porphyry Copper Belt, Iran: A Remote Sensing Perspective. *Journal of Sciences* 27, 253-267.
- Shafiei, B., Haschke, M., Shahabpour, J., 2009. Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita* 44, 265- 283.
- Sillitoe, R.H., 1993. Epithermal models, Genetic types, geometrical controls and shallow features, p. 403-417, in Kirkham, R.V., Sinclair, W.D., Thorpe, R.I., Duke, J.M) *Mineral deposit modelling*, GAC Special paper 40, 798p.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Montazami, A., Amiri, A., Kianian, M., 2022. Investigation of geology, mineralogy and genesis of Hararan copper deposit. *Adv. Appl. Geol.* 12(1), 165-176.
DOI: 10.22055/AAG.2021.35379.2171
url: https://aag.scu.ac.ir/article_16806.html?lang=en

بررسی زمین شناسی، کانی شناسی و تعیین خاستگاه کانسار مس هرازان، بافت، کرمان

عباس منتظمی*

دانشجوی دکترا پتروولوژی، واحد زرنند، دانشگاه آزاد اسلامی، زرنند، ایران

علی امیری

دانشیار زمین شناسی اقتصادی، واحد زرنند، دانشگاه آزاد اسلامی، زرنند، ایران

مهدی کیانیان

دانشیار زمین شناسی، واحد زرنند، دانشگاه آزاد اسلامی، زرنند، ایران

*abbass.montazami@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۳

چکیده

کانسار هرازان در ۱۱۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان بافت، استان کرمان واقع شده است این منطقه بر روی کمر بند ارومیه - دختر قرار گرفته است. لیتولوژی غالب در محدوده کانسار مس هرازان شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، تراکیت و داسیت) و آذرآواری به همراه توده‌های نفوذی نیمه عمیق می‌باشد. از ویژگی‌های مهم این منطقه، فعالیت شدید آتشفشانی و تشکیل حجم دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی نتیجه تاثیر نفوذ توده‌های آذرین به داخل سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد، که مربوط به زمان ائوسن است. در سنگ میزبان کانسار هرازان، کانی‌زایی بیشتر به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای، تحت کنترل فضاهای باز شکستگی‌ها و استوک ورکی قابل تشخیص می‌باشد. محدوده مورد نظر دارای هاله‌های دگرسانی آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی‌شدگی می‌باشد. فرآیندهای سوپرژن در زون‌های پروپلیتیک با رخنمون کانی مالاکیت، نئوتسیت و در زون آرژیلیک با بروز کانیهای ژاروسیت و گوتیت مشاهده میشود. داده‌های حاصل از مطالعه میانبارهای سیال کانی کوارتز نشان می‌دهد که کانی‌زایی در محدوده‌ی دمایی ۱۱۰ تا ۴۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تشکیل شده است. بیشترین نرخ شوری بین ۴ تا ۲۱ درصد وزنی معادل نمک طعام تشخیص داده شد. با توجه به شواهد بافتی، دگرسانی و کانی‌شناسی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کانی کوارتز کانسار هرازان نشان می‌دهد که سیال کانسنگ ساز بسیار شبیه به اپی‌ترمال است.

کلمات کلیدی: زمین‌شناسی، ریزدماسنجی، میانبار سیال، هرازان، ارومیه دختر

مقدمه

منطقه هرازان بخشی از زون ساختاری ایران مرکزی و در کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر، در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان بافت، استان کرمان واقع شده است. موقعیت منطقه مورد مطالعه به واسطه قرارگیری آن در کمر بند ارومیه - دختر و نیز تأثیرپذیری از رخداد ماگماتیسیم گسترده، در کنار شرایط لیتولوژیک بستر مناسبی را برای تشکیل ذخایر نوع پورفیری و اپی‌ترمال به وجود آورده است.

در تشکیل ذخایر فلزی، سیالات گرمایی، نقش بسیار مهمی دارند و هر سامانه کانه‌زایی دارای شرایط ترمودینامیکی و فیزیکوشیمیایی متفاوتی است (Hitzman, 2000). امروزه یکی از موفق‌ترین شیوه‌های دستیابی به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی سیال گرمایی استفاده از تجزیه‌های مختلف و اندازه‌گیری‌های هدمند بر روی میانبارهای سیال درون کانی‌هایی است که از سیال گرمایی

نهشته شده‌اند (Giles and Marshal, 2004). از این رو مطالعه میانبارهای سیال به عنوان بازمانده‌های دیرینه سیالات گرمایی در شناسایی و درک چگونگی تشکیل این نوع از ذخایر ارزش بالایی دارند. میانبارهای سیال از جمله نشانه‌های منحصر به فردی هستند که با توجه به عدم تغییر در طی میلیون سال به دلیل محبوس بودن در یک فضای محدود، می‌توانند درجه حرارت، شوری سیالات، ترکیب شیمیایی و فشار حاکم بر محیط را به درستی بیان نمایند (Shepherd, et al., 1985). از این رو مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند اطلاعات جامعی را در ارتباط با چگالی، فشار، دما، عمق، شوری، نوع کانه‌زایی و مقدار مواد محلول در سیال را فراهم نمایند (Roedder, 1984; Shepherd, et al., 1985). رایج‌ترین روش برای محاسبه ترکیب شیمیایی و شوری میانبارهای سیال، آزمایش گرمایش - سرمایش است.

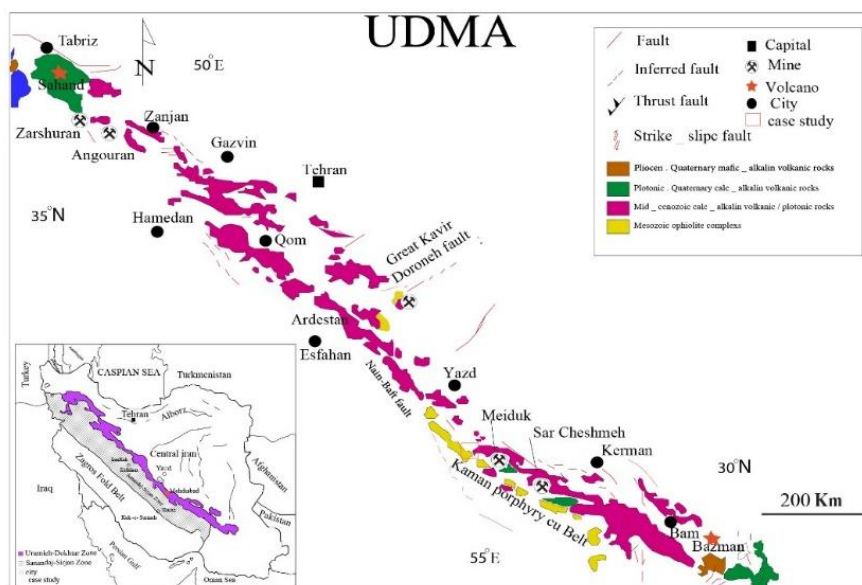
که این روند زمانی منطبق بر فعالیت آتشفشانی نوار دهج - ساردوئیه می‌باشد. رخنمون فعالیت آتشفشانی در منطقه به صورت یکسری واحدهای پیروکلاستیک در جنوب روستای هرازان می‌باشد که دارای مرز گسلی با واحدهای آندزیتی و آندزیت بازالتی و به میزان جزئی تر ریولیت می‌باشند. همچنین واحدهای آهک و ماسه سنگ نومولیتیکی به ائوسن فوقانی وجود دارند. در میوسن میانی عمدتاً توده‌های نفوذی گرانودیوریتی و کوارتز دیوریتی و دیوریت به داخل مجموعه آتشفشانی آندزیت پیروکلاستیک ها نفوذ کرده‌اند. هورنبلند - بیوتیت گرانودیوریت‌ها، به پلاژیوکلاز گرانیته‌ها و کوارتز دیوریت‌هایی که حاوی اوژیت هستند، تبدیل شده‌اند که به راحتی می‌توان در منطقه مورد مطالعه یافت می‌شوند. دگرسانی آرژیلیک (حاوی کانسار سازی مس) به صورت عمده در سنگ‌های نفوذی و به میزان جزئی تر در سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی قابل مشاهده می‌باشد. دایک‌های منطقه اکثراً متعلق به پلیوسن با ترکیب دیوریت پورفیری و گرانودیوریت پورفیری می‌باشند. این دایک‌ها به داخل توده نفوذی وسنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌اند و آنها را قطع نموده‌اند، که همین امر نشانه جوانتر بودن این دایک‌ها می‌باشد. البته نفوذ این دایک هیچ گونه کانسار سازی در منطقه را به دنبال ندارد. از نقطه نظر تکتونیک محدوده مورد مطالعه بسیار فعال بوده که نتیجه آن گسل خوردگی بسیار شدید که در اثر عملکرد این گسل خوردگی‌ها، دره‌های عمیق بوجود آمده‌اند. روند کلی گسل‌ها شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند اکثر گسل‌های منطقه کنترل کننده دگرسانی‌ها و کانی‌سازی در منطقه می‌باشند (شکل ۲).

هدف از انجام این مطالعه تعیین ترکیب کانی‌شناسی کانسار و سنگ میزبان، طبقه‌بندی و تعیین نسل‌های میانبارهای سیال در کانی‌های کواتز، تعیین دما و شوری محلول گرمایی موثر در تشکیل کانسار، تعیین ژنز می‌باشد.

زمین شناسی منطقه

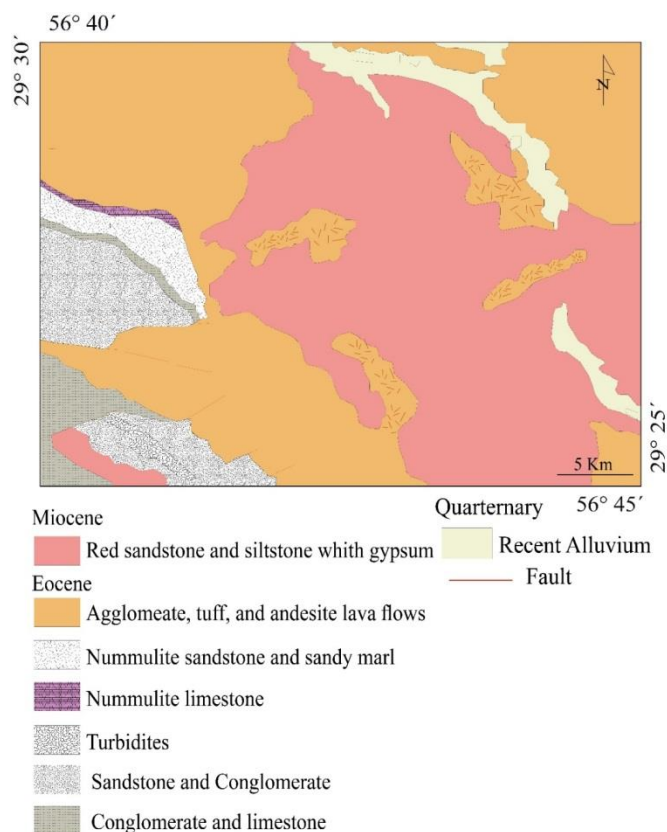
محدوده‌ی اکتشافی مس هرازان در ۱۱۰ کیلومتری شمال شرق شهرستان بافت و استان کرمان واقع شده است. این محدوده از نظر تقسیمات زمین‌شناسی بر روی کمربند ماگمایی ارومیه - دختر مربوط به فرورانش نفوتتیس در امتداد خط درز زاگرس قرار گرفته است (Fatehi, 2015). کمربند ارومیه - دختر به صورت نواری با پهنای ۱۵۰ کیلومتر و به طول ۱۷۰۰ کیلومتر در بخش غربی زون ایران مرکزی و در شمال شرق پهنه ساندج - سیرجان، و به موازات زون دگرگونی ساندج - سیرجان قرار گرفته است (Fatehi, 2015) (شکل ۱). رخداد کانی‌سازی مس در کمان ماگمایی ارومیه - دختر به ویژه در سه بازه‌ی زمانی شامل: ۱- ائوسن - الیگوسن، ۲- الیگوسن میانی - بالایی و ۳- میوسن میانی و بالایی - (Kirkham and Dunne Ahmadian et al., 2008; McInnes et al., 2005 2000) به وقوع پیوسته است.

منطقه هرازان در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ بافت (Dimitrijevic, 1973) واقع شده است. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۲۹ درجه، ۲۷ دقیقه و ۲۹ درجه، ۳۰ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۵۶ درجه، ۳۹ دقیقه و ۵۶ درجه، ۴۲ دقیقه قرار گرفته است. طبق بررسی‌های انجام گرفته، واحدهای زمین‌شناسی منطقه شامل دوسری سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های نفوذی می‌باشد. بیشترین فعالیت آتشفشانی منطقه متعلق به ائوسن است



شکل ۱- کمربند ماگمایی ارومیه - دختر (modified after Haghi Pour and Aghanabaty 1989).

Fig. 1. Urimiyeh -Dokhtar magmatic belt. Modified after Haghi Pour and Aghanabaty (1989).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده ی هراران (Dimitrijevic, 1973).
 Fig.2. Geological map of Hararan of area (Dimitrijevic, 1973).

روش مطالعه

پس از بررسی های صحرایی و تفکیک واحدهای سنگی از مناطق کانه دار نمونه برداری گردید. و تعداد ۱۲ مقطع نازک و ۱۰ بلوک صیقلی به جهت مطالعات دقیق ویژگی های کانی شناختی و بافتی واحدهای سنگی میزبان، کانسنگ مس و باطله تهیه شد. به جهت مطالعه میانبارهای سیال ۱۲ نمونه شفاف و بدون شکستگی کانی کوارتز همزاد با کانی زایی جهت تهیه مقاطع دوبر صیقل انتخاب و به کارگاه آقای فیروزی ارسال گردید. سپس توسط میکروسکوپ پلاریزان پتروگرافی میانبارهای سیال موجود در کانی کوارتز کانسار هراران مورد بررسی قرار گرفت. ریزدماسنجی بر روی ۱۲۴ میانبار سیال اولیه در کانی کوارتز کانسار مس هراران توسط دستگاه Linkam THMSG 600 در آزمایشگاه ریزدماسنجی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت. این دستگاه قادر به اندازه گیری دما در محدوده 196°C تا 600°C می باشد. بهنجارسازی دستگاه با استفاده از $\text{C}_4\text{H}_3\text{CH}_3$ در دمای 95°C درجه سانتیگراد و KNO_3 در دمای 335°C درجه سانتیگراد صورت گرفت.

بحث

پتروگرافی

با توجه به مطالعات سنگ شناسی و میکروسکوپی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه سنگ های آتشفشانی منطقه شامل آندزیت،

تراکیت و داسیت می باشند که به عنوان سنگ میزبان توده های نفوذی و سنگ اصلی دربرگیرنده کانی سازی در منطقه می باشند. نمونه های آندزیت به رنگ سفید تا خاکستری در نمونه ماکروسکوپی دیده می شود. بافت غالب آفانتیک تا پورفیری و فنوکریستال های آنها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کوارتز می باشد (شکل ۳a). نمونه دیگر سنگ های آتشفشانی تراکیت با رنگ روشن می باشد بافت غالب این سنگ ها آفانتیک تا پورفیری با گردهمایی کانیایی فلدسپات آلکان، آمفیبول و پلاژیوکلاز می باشند اغلب فنوکریست های پلاژیوکلاز به کانی رسی و اپیدوت دگرسان شده اند. نمونه های داسیت نیز با گسترش کمتری در منطقه به صورت رخنمون های اندک در قسمت شرق و غرب مشاهده می شوند. این نمونه به رنگ خاکستری بافت آنها پورفیری و حاوی بلورهای کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول می باشند (شکل ۳b). از جمله کانی های فرعی سنگ های آتشفشانی کربنات مس (آزوریت و مالاکیت) که ناشی از اکسیداسیون کالکوپیریت می باشد. این کانی ها به صورت رگچه ها در داخل درزها و شکافها ته نشین شده اند. وجود لکه ها و رگه های اپیدوتی در این سنگ ها نشان فعالیت های شدید گرمایی در این نواحی بوده است.

سنگ های نفوذی منطقه با ترکیبی از کوارتز دیوریت پورفیری تا گرانودیوریت براساس ترتیب سنی شامل سه فاز اصلی می باشد:

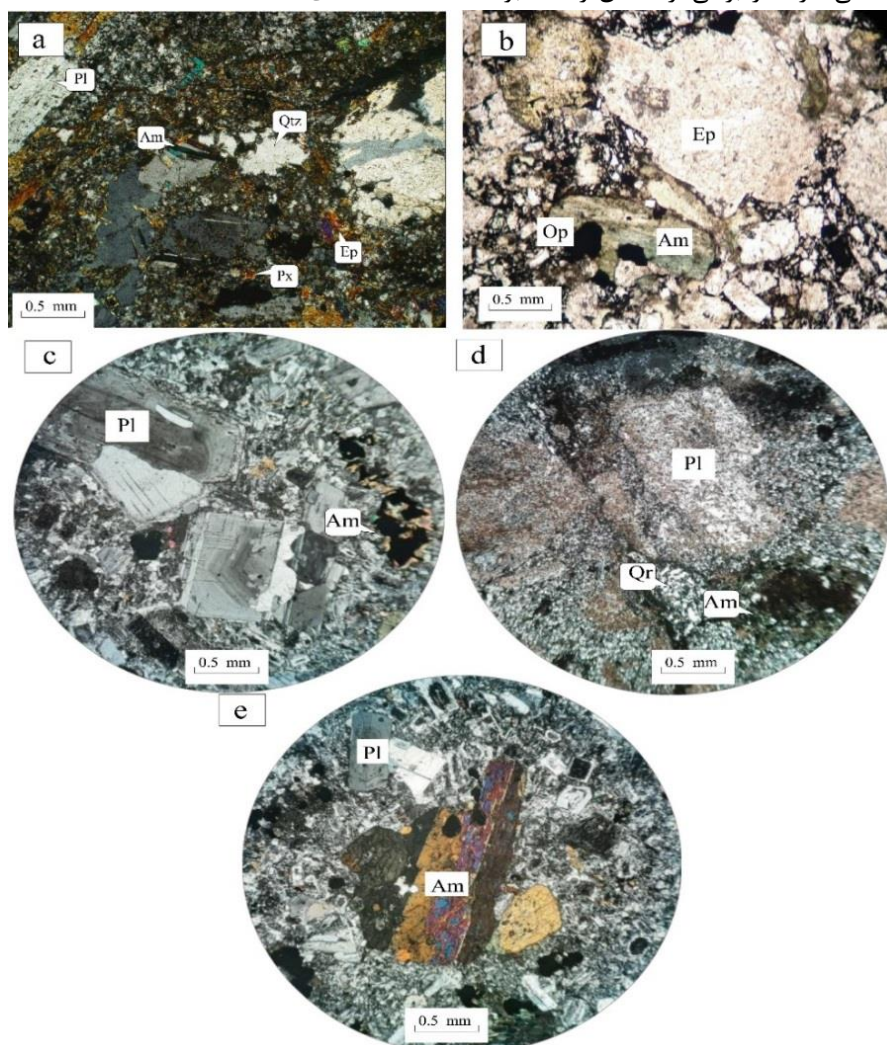
نشان از هوازدگی می‌باشد که نشان از اپیدوتی شدن و کلریتی شدن می‌باشد.

فاز سوم: این فاز با گسترش کمتری با ترکیب مونزو گرانیت به رنگ روشن و بلورهای ریز می‌باشد. این فاز به صورت تاخیری نسبت به دوفاز قبل آنها را قطع نموده است.

دایک‌های منطقه به سه دسته تقسیم می‌شوند یکسری از دایک‌ها دارای ساختار فاز سوم می‌باشند که به صورت دایک در توده‌ها نفوذ کرده و آنها را قطع نموده‌اند. یکسری از دایک‌ها ترکیبی از جنس کوارتز دیوریت دارند که از لحاظ کانی‌شناسی مشابه توده‌های نفوذی اصلی می‌باشند. سری سوم از دایک‌ها ریز بلور می‌باشند و جنس آنها دیوریت یا کوارتز دیوریت می‌باشند که در تمام منطقه پراکنده می‌باشند.

فاز اول: سنگ‌های این فاز از نوع دیوریت پورفیری به رنگ خاکستری تیره می‌باشد که طیف کانیایی آن شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول می‌باشد. بافت این نمونه سنگ‌ها گرانولار تا پورفیری می‌باشند. در اطراف این توده‌ها هاله‌ای از دگرسانی اپیدوتی مشخص شده است (شکل ۳c).

فاز دوم: این فاز به صورت دربر گیرنده فاز اول می‌باشند، سنگ‌های حاصل از فاز اولیه به صورت آنکلاوهای در فاز دوم رخنمون دارند (شکل ۳d). جنس این سنگ‌ها بیشتر از نوع کوارتز دیوریت پورفیری تا گرانودیوریت (شکل ۳e) می‌باشد. ترکیبی کانی‌های آنها شامل کوارتز، پلاژیوکلاز، هورنبلند و کمی بیوتیت است. این توده منشأ کانی‌سازی در منطقه می‌باشد؛ به نظر می‌رسد با سنگ‌های آتشفشانی اطرافشان آغشتگی دارد. در برخی از مناطق رنگ سبز



شکل ۳- (a) آندزیت، پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن که سیلیسی شده‌اند، (b) توف بلورین داسیتی که تحت تاثیر دگرسانی پروپلتیک قرار گرفته است، (c) دیوریت، زونینگ در پلاژیوکلاز، (d) کوارتز مونزودیوریت پورفیری، آمفیبول دگرسان شده به کلریت و اپیدوت در مجاورت فنوکریست پلاژیوکلاز و (e) گرانودیوریت، فنوکریست آمفیبول.

Fig. 3. (a) Andesite, plagioclase, amphibole, pyroxene which are siliceous, (b) dacite crystalline tuff affected by propylitic alteration, (c) diorite, zoning in plagioclase, (d) porphyry quartz monzodiorite represents alteration of amphibole to chlorite and epidote near plagioclase phenocryst, and (e) granodiorite, amphibole phenocryst.

کانی شناسی

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد، کانی‌زایی در منطقه هرازان به صورت اپی‌ژنتیک و با بافت‌های پراکنده، رگه رگچه‌ای، پرکننده حفرات سنگ میزبان و جانشینی در سنگ میزبان حضور دارند.

در محدوده مورد مطالعه، ماده معدنی کانی‌زایی به صورت رگه-ای جای گرفته و عمده کانی‌زایی در گرانیتوئیدها و آندزیت‌ها می‌باشد. این رگه‌ها عمدتاً سیلیسی هستند. کانی‌سازی در توده‌های گرانیتوئیدی اغلب به صورت رگچه‌های سیلیسی (شکاف پرکن) و کربنات مس (مالاکیت) و سولفید مس (کالکوپیریت) رخنمون دارد (شکل ۴a و b). میزان مس در سنگ گرانیتوئیدی بیشتر از سنگ آندزیتی می‌باشد. کانی‌سازی در زون آرژیلیک به میزان جزئی با حضور کانی پیریت که اغلب به اکسید آهن تبدیل شده‌اند، قابل مشاهده می‌باشند. این روند در زون دگرسانی پروپلیتیک نیز حفظ شده است. کانی‌سازی به صورت پیریت و اکسید آهن به میزان جزئی وجود دارد. فرآیندهای سوپرژن در زون‌های دگرسانی پروپلیتیک اکثراً به صورت شتتسوی کانی‌های سولفیدی و تبدیل آنها به کانی مالاکیت تاثیر گذار بوده است. بیشترین تاثیر فرآیندهای سطحی در منطقه آرژیلیک می‌باشد. سنگ‌های آندزیتی که به صورت اولیه حاوی مقدار کافی سولفید بوده در اثر شتتسوی سطحی به سولفیدهای آهن مانند ژاروسیت و گوتیت تبدیل شده‌اند؛ کائولینیت و کانی‌های رسی محصول فرآیندهای سوپرژن می‌باشند.

کانی‌زایی در کانسار هرازان را می‌توان به سه مرحله درون زاد (هیپوزن) و برونزاد (سوپرژن) و اکسیدی تقسیم بندی نمود. زون هیپوزن شامل: کانی‌های اولیه مثل کالکوپیریت، پیریت و بورنیت است. کالکوپیریت کانی اولیه مس دار با فراوانی زیاد به صورت ذرات ریز بی‌وجه و پراکنده در نمونه وجود دارد. پیریت با فراوانی ناچیز بیشتر به کانی‌های آبدار آهن تبدیل شده است (شکل ۴c و d).

زون سوپرژن که خود شامل دو بخش سوپرژن سولفیدی و سوپرژن اکسیدی می‌باشد.

زون سوپرژن سولفیدی که شامل کولیت می‌باشد کالکوپیریت در بخش‌هایی از مقطع به کانی کولیت تبدیل شده که دارای فراوانی بسیار جزئی و ریزدانه می‌باشد.

زون سوپرژن اکسیدی شامل: مالاکیت و آزوریت می‌باشد. قسمت اعظم منطقه توسط زون سوپرژن اکسیدی مالاکیت به صورت توده‌ای، آغشته و رگه رگچه ایی و شکافه پر کن مشاهده می‌شود.

زون اکسیدی که کاملاً ثانویه می‌باشد، شامل: گوتیت و ژاروسیت است. گوتیت گاهی با بافت کلوform در حاشیه حفرات موجود در مقطع نیز تشکیل شده است. تجمعات کانی‌های اکسیدی آهن به شکل قطعات درشت و توده‌ای در سنگ دیده می‌شود و آنیزوتروپی متمایل به قرمز دلالت بر غالب بودن کانی‌سازی گوتیت است.



شکل ۴- (a) کانی‌سازی به صورت کربنات (مالاکیت) و نفوتوسیت، (b) کانی‌سازی کربنات (مالاکیت) دگرسانی سیلیسی، (c) تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که به گوتیت تبدیل شده و (d) پیریت ریزدانه که به گوتیت تبدیل شده است.

Fig. 4. (a) Malachite and neotocite mineralization in potassic alteration, (b) malachite mineralization in the siliceous alteration, (c) Microscopic image representing the alteration of chalcopyrite to goethite, and (d) alteration of microcrystal pyrite to goethite.

اکسیداسیون پیریت، سرسیت به خوبی قابل مشاهده است. حجم عظیمی از سنگ‌های آندزیتی منطقه تحت تاثیر دگرسانی پروپلیتیک با مجموعه کانی‌های اپیدوت، کلریت، کوارتز به صورت رگچه‌ها و به میزان اندک کانی رس هستند (شکل ۵b). اپیدوت به صورت پرکننده درزها و شکافها رخنمون پیدا کرده است. میزان

دگرسانی

در اثر تزریق توده نیمه عمیق و تاثیر سیالات گرمابی، دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژیلیک، سیلیسی پدید آمده است. بیشترین رخنمون دگرسانی آرژیلیک در واحدهای آندزیتی می‌باشد (شکل ۵a) که با مجموعه کانیایی کانی رسی، اکسید آهن (ناشی از

در کانی کوارتز طبق تقسیم بندی ژنزی و بافت رودر (۱۹۸۴) انجام گرفت که اخیراً به وسیله Van den Kherkof and Hein (2001) مورد تجدید نظر قرار گرفته شده است.

تیپ A- تک فازی - مایع L (Liquid) این نوع میانبار سیال تماماً از مایع پر شده است و ساده‌ترین نوع میانبار است و به اشکال مختلفی دیده می‌شوند (اکثراً تخت) و احتمالاً حاصل یک باریک-شدگی می‌باشد (شکل a۶). درصد فراوانی این نوع میانبار در این محدوده بسیار کم می‌باشد. تیپ B- تک فازی - گاز V (Gas) گروهی از میانبارها می‌باشند که تنها از فاز گاز تشکیل شده‌اند و با فراوانی زیاد و اشکال منفی بلور قابل شناسایی می‌باشند (شکل ۶ b). تیپ C- دو فازی غنی از مایع L+V (Liquid rich) میانبارهای دوفازی غنی از مایع فراوانی زیادی دارند و بیشتر به شکل نامنظم دیده میشوند. (شکل c۶). تیپ D- دو فازی غنی از گاز V+L (Gas rich) حباب گاز بیش از ۷۰ درصد حجم سیال را دربرگرفته است این تیپ با فراوانی نسبتاً زیادی در کل نمونه‌ها قابل تشخیص می‌باشد و بیشتر اشکال آنها به صورت نامنظم است تیپ E- سه فازی غنی از مایع همراه با فاز جامد V+L+S (Solid - bearing Liquid-rich inclusion). فاز جامد در این نوع میانبارها، در حجمی از مایع احاطه شده است (شکل d۶). فاز جامد محصور شده شفاف و تیره (کانی مجهول) می‌باشد. این نوع میانبار سیال با فراوانی خیلی کم حضور دارند. حضور میانبارهای سیال نوع دو همراه میانبارهای سیال نوع سوم و چهارم نشاندهندگی این است که جوشش هنگام تبلور کوارتز در منطقه رخ داده است (Simmons et al., 2000). از لحاظ تقسیم بندی سیالات درگیربراساس منشأ سه گروه میانبارهای سیال اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب مشاهده می‌شود.

پیریت در این دگرسانی حجم اندکی می‌باشد ولی در هنگام حضور اکثراً به اکسیدهای آهن اکسید شده است. در وسط دگرسانی آرژیلیک، دگرسانی سیلیسی نیز رخمون دارد (شکل c۵) این دگرسانی با برشی شدن شدید و وجود سیلیسی شدن همراه با وجود اکسید آهن می‌باشد. سنگ میزبان این نوع دگرسانی آندزیت می‌باشد که به دلیل مقاومت زیاد سیلیس در مقابل فرسایش درون مجموعه آرژیلیکی تا حدودی محفوظ باقی مانده است. بیشتر سیلیسی شدن در امتداد گسل‌ها رخمون دارد. وجود رگچه‌های کوارتز شیری رنگ در سنگ‌های آندزیتی می‌تواند نشان از ویژگی دگرسانی اپی‌ترمال باشد.

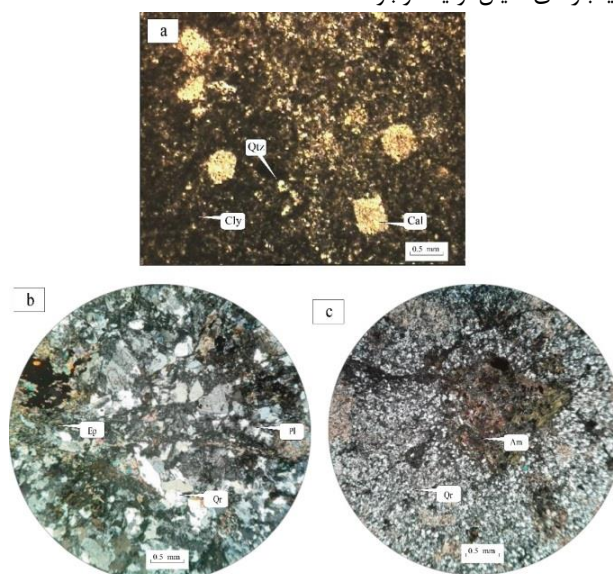
مطالعات سیالات درگیر

پتروگرافی سیالات درگیر

مشخصات سیالات درگیر اطلاعات سودمندی در مورد روابط سیالات با کانی‌زایی در اختیار ما قرار می‌دهد (Van den Kerkhof and Hein, 2001; Shepherd et al., 1985). دستیابی به این روابط نیازمند پتروگرافی دقیق سیالات درگیر می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی بر روی کانی کوارتز کانسار هرازان انجام گرفت.

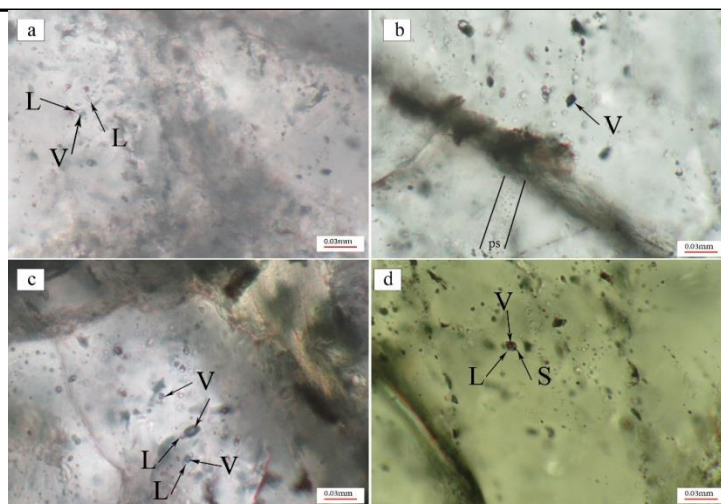
میانبارهای سیال، به فراوانی و با توزیع و ترکیب‌های متفاوت در کانی کوارتز کانسار هرازان وجود دارند. ابعاد میانبارهای سیال از ۵ میکرون تا ۲۰ میکرون متغیر است، اما بیشتر آنها دارای اندازه‌های کوچکتر از ۱۵ میکرون می‌باشند. اشکال مشاهده شده در میانبارهای سیال موجود در کانی‌های کوارتز، به ترتیب فراوانی به صورت منظم، کشیده، کروی، پهن و شکل منفی بلور می‌باشند.

با مطالعه بر روی نمونه‌های محدوده، پنج تیپ بر اساس فازهای موجود در دمای اتاق و روش همگن شدن، در کانی میزبان کوارتز شناسایی شده‌اند. تقسیم‌بندی میانبارهای سیال اولیه موجود



شکل ۵- (a) دگرسانی آرژیلیک، (b) دگرسانی پروپلیتیک و (c) دگرسانی سیلیسی.

Fig. 5. (a) Argillic alteration, (b) propylitic alteration, and (c) Siliceous alteration.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی میانبرهای سیال در کانی کوارتز کانسار هراران؛ (a) تک فازی گازی به همراه دوفازی غنی از مایع، (b) تک فازی گازی، (c) دو فازی‌های غنی از مایع به همراه دوفازی غنی از گاز و (d) سه فازی.

Fig. 6. Photomicrographs of fluid inclusions in quartz mineral at Hararan deposit; (a) monophasic vapor with two - phase liquid - rich inclusions, (b) monophasic vapor, (c) two - phase liquid - rich inclusions with two - phase vapor - rich inclusions, (d) three - phase, and (e) secondary fluid inclusions and pseudo-secondary fluid inclusions.

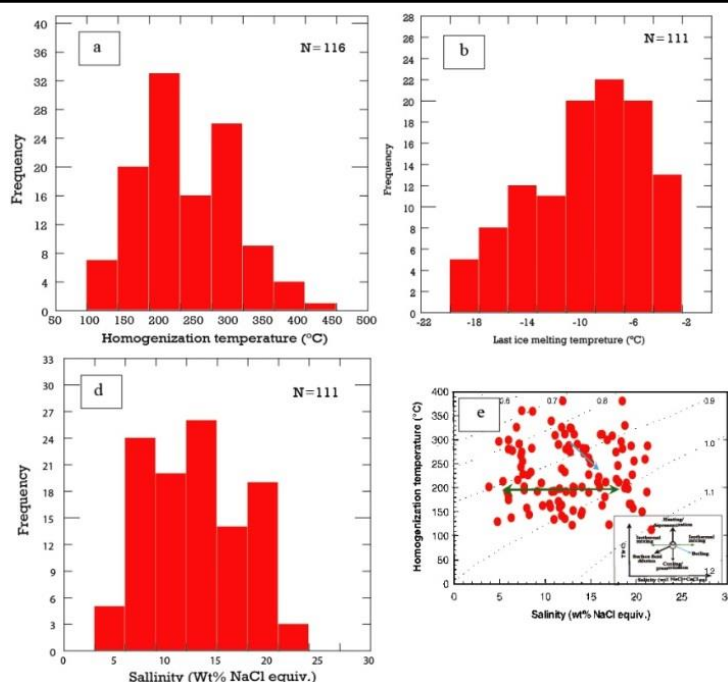
ریزدماسنجی

مطالعات ریزدماسنجی بر روی حدوداً ۱۲۴ میانبار سیال اولیه حداقل امکان بدون دم بریدگی موجود در کانی کوارتز کانسار هراران انجام گرفت. طبق مطالعات ریزدماسنجی و با توجه به نمودارها (شکل ۷) دمای همگن شدگی ۱۱۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد تشخیص داده شد که بیشترین فراوانی در محدوده‌ی دمایی ۲۰۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. محدوده‌ی دمای ذوب یخ بین ۱۹- تا ۲- درجه سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده‌ی ۱۰- تا ۶- درجه سانتی‌گراد تعیین گردید. بر مبنای آخرین دمای ذوب یخ (Tm)، میزان شوری از معادله‌ی (Bodnar and Vityk, 1994) محاسبه شده است. میزان شوری بین ۴ تا ۲۱ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد که در محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۵ بیشترین فراوانی را دارد. با استفاده از شوری میانبرهای سیال و دمای همگن شدن (Zang and Frantz., 1987) می‌توان چگالی سیال را با تقریب نسبتاً خوبی محاسبه نمود (شکل ۸). در این حالت با استفاده از خطوط تراز چگالی که در دیاگرام شوری - دمای همگن شدن قرار دارند می‌توان چگالی سیال را بدست آورد. همانطور که ملاحظه می‌گردد میانبار سیال مطالعه شده در محدوده چگالی مشابه با مقدار ۰,۷ تا ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب را نشان می‌دهد. در روند تکامل سیال گرمایی پدیده سردشدگی به وقوع پیوسته است و کاهش دمای همگن‌شدگی، سبب افزایش چگالی، کاهش سرعت سیال کانسنگ‌ساز و در نهایت رسوب مواد معدنی شده است. با

توجه به نمودار شماتیک، روند سرد شدن در کانسار مشاهده می‌شود که احتمالاً تحول پس رونده‌ی این سیستم‌ها را در فاز دمایی بالا منعکس نموده و توسط سردشدن تدریجی و ریزش آب‌های سطحی سرد در داخل سیستم دنبال شده که رقیق‌شدگی و افزایش در کاهش دما را نتیجه می‌دهد. همچنین جوشش هم عاملی برای ته‌نشست می‌باشد.

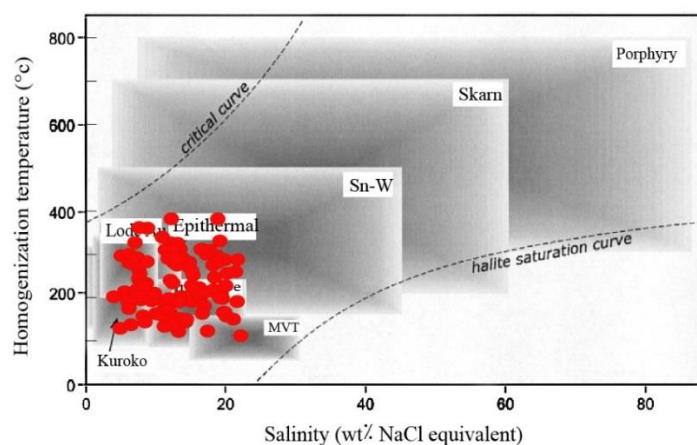
خاستگاه کانسار مس هراران

با قرار دادن اطلاعات شوری - دمای همگن شدن در نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001)، می‌توان در خصوص شرایط تشکیل، کانه‌زایی و شباهت‌های کانسار مورد مطالعه با سایر تیپ کانسارهای معروف مطالعه شده در دنیا اظهار نظر کرد (شکل ۸). در این نمودار رده‌های اصلی نهشته‌های معدنی، بخش‌های مشخصی از شوری - دمای همگن شدن قرار دارند. البته باید تاکید شود که چنین محدوده‌هایی به طور ناگهانی از هم جدا نمی‌شوند به این معنی که مثال‌هایی وجود دارد که در محدوده تعریف شده ممکن است قرار نگیرد ولی در زمره یک تیپ مشخص باشد (Wilkinson, 2001). واضح است که در استفاده از این نمودار و تفسیر آن سایر خصوصیات زمین‌شناسی مانند محیط تکتونیکی، سنگ‌شناسی کانسنگ و میزان، شرایط ژئوشیمیایی و پارائز کانی-ها باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به نمودار شکل ۸ کانسار هراران در رده اپی ترمال قرار می‌گیرد.



شکل ۷- (a) هیستوگرام دمای همگن‌شدگی (T_h)، (b) هیستوگرام دمای آخرین ذوب بلور یخ (T_m)، (c) دیاگرام شوری و (d) نمودار تعیین چگالی میانبارهای سیال در کوارتز کانسار مس منطقه هراران (Zang and Frantz., 1987).

Fig. 7. (a) Histogram of Homogenization Temperature (T_h °C), (b) histogram of last ice melting temperature °C, (c) histogram of initial ice melting temperature, and (d) histogram of salinity. Fluid inclusions density diagram in the quartz of Hararan copper deposit (Zang and Frantz, 1987).



شکل ۸- ترسیم داده‌های میانبارهای سیال هراران بر روی نمودار شوری در مقابل دمای همگن‌شدگی از (Wilkinson (2001).

Fig. 8. Drawing fluid inclusions data for Hararan on the salinity vs. homogenization temperature (Wilkinson, 2001).

تعیین سیال موثر بر ته‌نشست کانسار

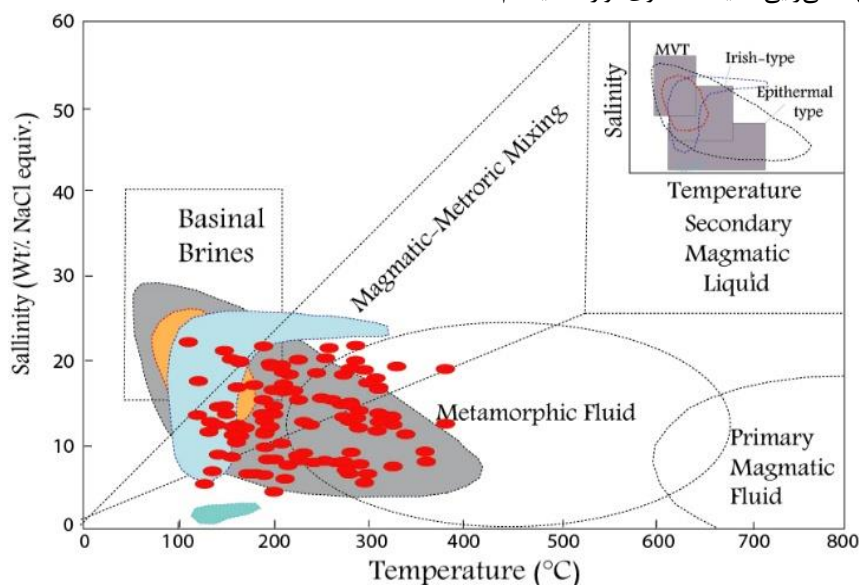
با استفاده از نمودار دوتایی میزان شوری به دمای همگن‌شدگی (Beane, 1983) می‌توان بدون استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار منشا احتمالی آب میانبارهای سیال را پیش‌بینی نمود. همانطور که در شکل ۹ مشخص است، میانبارهای سیال بیشترین تمرکز را در محدوده اختلاط آب‌های ماگمایی - جوی نشان می‌دهند که دقیقاً داخل محدوده‌ی اپیترمال قرار گرفته است.

ساز و کار نهشت کانه‌ها در این کانسار با استفاده از داده‌های بدست آمده، مکانیسم سرد شدن ساده را برای این کانسار را نشان می‌دهد که می‌توان گفت کاهش درجه حرارت سیالات در نتیجه صعود سیالات عمقی داغ از محل شکستگی‌ها به سطح زمین و یا اختلاط با آب‌های جوی بوده است. با توجه به حضور فازهای کوچک غنی از گاز و شوری متوسط در نمونه‌های سیال منطقه مورد مطالعه می‌توان به رخداد احتمالی اختلاط سیالات این منطقه اشاره کرد. با توجه به مشاهده همزیستی سیالات غنی از بخار و غنی از

کانی‌زایی شده و موجب کاهش دما و شوری سیالات کانی‌ساز شده است. بر این اساس می‌توان گفت که یک فاز آبی با شوری بالا در تشکیل کانسار هراران نقش مهمی داشته است. با توجه به طیف دمایی بالای در این مناطق به نظر می‌رسد وضعیت کانسار از نوع سولفیداسیون بالا است. بنابراین کمپلکس-های کلریدی در این منطقه نقش مهمی داشته‌اند. همچنین وجود کانه‌های سولفیدی در منطقه این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کند.

مایع، رخداد پدیده جوشش تقریباً قطعی دانست و بنابراین احتمالاً عامل نهشت کانه‌ها وقوع پدیده جوشش بوده است. پدیده جوشش زمانی اتفاق می‌افتد که فشار هیدرواستاتیک بیشتر از فشار لیتواستاتیک شده و همین امر باعث خروج ناگهانی سیالات و کاهش فشار محصور کننده سیالات گرمایی خواهد شد.

همچنین با توجه به وجود فازهای جامد در داخل سیالات درگیر بلورهای کوارتز، می‌توان گفت که سیالی که در مرحله‌ی اولیه کانی‌زایی این کانسارها وجود داشته، سیالی با شوری و دمای بالایی بوده که در مراحل پایانی کانی‌زایی سیالات جوی وارد سیستم



شکل ۹- دیاگرام پراکندگی شوری و دمای همگن‌شدگی میانبراهای سیال در کانی کوارتز هراران نمودار پایه (Beane, 1983) با تطبیق تیپ MVT, Irish و Epithermal, (Wilkinson, 2001).

Fig. 9. Salinity dispersion diagram and homogenization temperature of fluid inclusions in the quartz samples of Hararan mineralization, base diagram after (Beane, 1983) with type matching MVT, epithermal and Irish-type deposits (Wilkinson, 2001).

درجه‌ی سانتی‌گراد تشخیص داده شد که بیشترین فراوانی در محدوده‌ی دمایی ۲۰۰-۲۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. محدوده‌ی دمای ذوب یخ بین ۲- تا ۱۹- درجه‌ی سانتی‌گراد با فراوانی در محدوده‌ی ۶۰- تا ۱۰۶- درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین گردید. بر مبنای آخرین دمای ذوب یخ (Tm)، میزان شوری بین ۴ تا ۲۱ درصد وزنی نمک طعام می‌باشد که در محدوده‌ی ۱۰ تا ۱۵ بیشترین فراوانی را دارد.

بر اساس شواهد به دست آمده که اساس مطالعات صحرایی، پتروگرافی، کانی‌شناسی معدنی، زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و ترمومتری می‌باشد، کانسار هراران یک کانسار اپی‌ترمال از نوع سولفیداسیون بالا است که در ارتباط با یک مجموعه‌ی ماگمایی تشکیل شده است. این کانسار احتمالاً نتیجه‌ی جایگیری نزدیک به سطح توده کوارتزومونزونیت غنی از مواد فرار در بخش حاشیه‌ای و مرکزی مجموعه آتشفشانی منطقه و به دنبال آن رخدادهای شدید و گسترده برشی شدن و دگرسانی است.

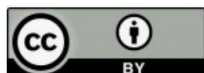
نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی و میکروسکوپی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آتشفشانی منطقه شامل آندزیت، تراکیت و داسیت می‌باشند که به عنوان سنگ میزبان توده‌های نفوذی و سنگ اصلی دربرگیرنده کانی‌سازی در منطقه می‌باشند. نفوذ توده گرانیتوئیدی در سنگ‌های میزبان آتشفشانی آندزیتی باعث بروز دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپلیتیک و به مقدار جزئی‌تر دگرسانی سیلیسی شده است. بیشترین شدت دگرسانی‌ها در سنگ‌های کوارتز دیوریتی و گرانودیوریتی رخنمون دارد.

کانی‌زایی در منطقه هراران به صورت اپی‌ژنتیک و با بافت‌های پراکنده، رگه رگچه‌ای، پرکننده حفرات سنگ میزبان و جاننشینی در سنگ میزبان حضور دارند. کانی‌زایی در کانسار هراران در سه مرحله درون‌زاد (هیپوزن) و برونزاد (سوپرزن) و اکسیدی صورت گرفته است. طبق مطالعات ریزدماسنجی دمای همگن‌شدگی ۱۱۰ تا ۴۰۰

منابع

- Ahmadian, J., Haschke, M., McDonald, I., Regelous, M., Ghorbani, M.R., Emami, M., Murata, M., 2008. High magmatic flux during Alpine–Himalayan collision: constraints from the Kal-e-Kafi complex, central Iran, Geological Society of American Bulletin.
- Beans, R.E., 1983. The Megmatic–Meteoric Transition. Geothermal Resources Council, Special Report 13, 245–253.
- Bodnary, R.H., Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O–NaCl fluid inclusion, in system. Reviews of Economic Geology 2, 73–97.
- Dimitrijevic, M. D. 1973. Geology of Kerman Region. Geological Survey of Iran, 110–125.
- Giles, A.D., Marshall, B., 2004. Genetic significance of fluid inclusions in the CSA Cu–Pb–Zn deposit, Cobar, Australia. Ore Geology Reviews 24, 241–266.
- Giles, A.D., Marshall, B., 2004. Genetic significance of fluid inclusions in the CSA Cu–Pb–Zn deposit, Cobar, Australia, Ore Geology Reviews 24, 241–266.
- Haghipor, A., Aghanabaty, A., 1989. Geological map of Iran. 1: 2500000, Geological Survey of Iran.
- Hitzman, M.W. 2000. Iron oxide–Cu–Au deposits, what, where, when and why, in Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective, Australian Mineral Foundation, T. M. Porter, Ed., vol. 1, pp. 9–25, Australian Mineral Foundation, Adelaide, Australia, 2000.
- Kirkham, R.V., Dunne, K.P., 2000. World distribution of porphyry, porphyry-associated skarn, and bulk-tonnage epithermal deposits and occurrences Geological Survey of Canada, Open File, 3792, 26.
- Kirkham, R.V., Dunne, K.P., 2000. World distribution of porphyry, porphyry-associated skarn, and bulk-tonnage epithermal deposits and occurrences Geological Survey of Canada, Open File 3792, 26.
- McInnes, B.I.A., Evans, N.J., Fu, F.Q., Garwin, S., 2005. Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits, Reviews of Mineral and Geochemistry 58, 467–498.
- McInnes, B.I.A., Evans, N.J., Fu, F.Q., Garwin, S., 2005. Application of thermochronology to hydrothermal ore deposits. Reviews of Mineral Geochemistry 58, 467–498.
- Rodder, E. 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy 12, pp. 644.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy 12–644p.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to fluid Inclusion Studies. Blackie and Son. 239 pp.
- Simmons, S.F., Simpson, M.P., Mauk, J., 2000. The mineral products of boiling in golden cross epithermal deposit, New Zealand Minerals and Mining Conference Proceeding 209–216.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. Lithos 55, 1–40.
- Wilkinson, J. J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. Lithos 55, 229–72.
- Zang, Y.G., Frantz, J.D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluid in the system NaCl–KCl–CaCl₂–H₂O using synthetic fluid inclusions. Chemical Geology 64, 355–350.



©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.