

## Investigation of mineralization fluid evolution of hydrothermal vein copper deposits: Based on studies of fluid inclusions at Chah Mousa area (north of central Iran)

Mahdi Khalaj<sup>1</sup>, Aliakbar Hassan-Nezhad<sup>1\*</sup>, Hasan Alizadeh<sup>2</sup>, Amir Haji Babaei<sup>3</sup>, Ghasem Ghorbani<sup>1</sup>

1- School of Earth Sciences, Damghan University, Damghan, Iran

2- Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran

3- Department of Geology, Faculty of Sciences, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

**Keywords:** Chah Mousa, Fluid inclusion, Epithermal, Copper deposits, Hydrothermal

### 1-Introduction

Fluid inclusion geochemistry is commonly studied on hydrothermal deposits for more than 40 years (Roedder, 1984). Fluid inclusions are unique indications that can determine temperature, salinity, fluid chemical composition and the pressure governing the system due to their entrapment during millions of years. Fluid inclusion studies can give us data on mineral forming temperature, pressure and mineralizing fluid chemical composition (Roedder, 1992). Accordingly, trapped fluid inclusions within hydrothermal veins and veinlets can indicate the situation of mineralizing fluids and the nature of these fluids that how ore deposits were formed. (Wilkinson, 2001). Microthermometry of fluid inclusions can serve as an indicator of the physicochemical environment of copper mineralization (e.g., Zarasvandi et al., 2014). The Chah Mousa mining area consists of three copper mines; including Chah Musa, Derakhshanieh and Qoleh Sookhteh mines, which are located in the Toroud-Chah Shirin magmatic belt. The NE-SW trending Toroud-Chah Shirin magmatic belt lies in the eastern part of the Alborz magmatic belt forming an uplifted block north of the Central Iran zone (Hushmandzadeh et al., 1978). The major epithermal ore deposits in the Toroud-Chah Shirin magmatic belt includes Gandy, Abolhassani, Cheshmeh Hafez, Ghole-Kaftaran, Posideh, Darestan, Chalou, Ghole-Sokhteh, Pirmardan, Astaneh, Baba Ahmad, Chah Musa and Derakhshanieh. The present study reports on detailed investigations, including textural, mineralogical and microthermometrical studies; it can be finally concluded that fluid evolution of the ore-forming hydrothermal fluids.

### 2-Methodology

Sampling was carried out in the spring of 2016. The geological map at a scale of 1: 25,000, based on the geological map of 1: 100,000 (Eshraghi, 2003), was compiled using Arc GIS software. After fieldwork, 41 samples were selected for petrographical studies. The petrographical and mineralogical studies, using 16 thin sections and 15 polished sections and ten thin polished sections from surrounding and host rocks and ores, were performed in the microscopy laboratory of Damghan University. The fluid-inclusion microthermometric studies were done on 15 (5 samples from each studied mines) double-polished thin section from quartz and calcite minerals using standard techniques. The measured parameters include salinity (Wt. %NaCl equivalent) and homogenization temperature (Th). The measurements were performed on a Linkam THMS 600 combined heating/freezing stage installed on an Olympus microscope at the Damghan University. The temperature range for the device is from -196 to +600 °C.

### 3- Results and discussion

Copper deposits of Chah Mousa, Derakhshanieh and Qoleh Sookhteh are located in the south of Shahroud and northwest of Toroud village in Semnan Province, between northern latitudes of 35°24' to 35°29' and eastern longitude of 54°39' to 54°57'. The studied area is situated in the northern part of central Iran's structural zone

\*Corresponding author: hassannezhad@du.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2021.34599.2152

Received 2020-08-10

Accepted 2021-02-26

(Nabavi, 1976). The mineralization in the studied deposits is a vein-type controlled by lineaments structures in this district. In the studied area, rock units can be divided into Eocene volcanic-pyroclastic units and Eocene-Oligocene intrusions (Eshraghi, 2003). It is believed that the magmatism of the Eocene-Oligocene Toroud-Chah Shirin belt, in the periphery of the continent and with the mechanism of subduction which has caused the occurrence of numerous intrusive igneous and the output of the calc-alkaline in this belt (Khalaj, 2012). The Toroid-Chah Shirin magmatic belt is structurally affected by two main faults, the Anjilu fault in the north and the Toroud fault in the south. The main units in the area contain pyroclastics, including tuff and andesitic breccia, dacitic breccia, altered andesitic breccia, andesite-dacites, basalt-andesites, biotite-hornblende porphyry dacite, micro-quartz diorite and gabbroic dykes.

Copper mineralization is the most crucial mineralization in the Chah Musa, Derakhshanieh and Qoleh Sookhteh areas. The mineralization in this region is related to the structural lines as open space filling having stockwork texture. Chalcopyrite, specularite, sphalerite, bornite and galena, tetrahedrite, enargite with gangue minerals, such as calcite, quartz and barite as primary minerals have formed the region's veins at different times. Secondary minerals have formed in the oxidation and supergene conditions, include malachite, azurite, cerussite, hematite, goethite, natural copper, covellite, chalcocite and digenite.

Based on the petrographic studies, primary fluid inclusions distribution within the crystal is random, while secondary and pseudo secondary fluid inclusions were developed along microfractures. In terms of the fluid inclusions morphology (Van den Kerkhof and Hein, 2001; Shepherd et al., 1985; Roedder, 1984), these samples were observed as the negative crystal or anhedral in shape, but spherical, bar-like, ovoidal, rectangular and irregular inclusions. Based on the petrographic, microthermometry and the phases present in the room temperature on the quartz and calcite minerals as a host of fluid inclusions at these deposits were studied as follows:

1- Single-phase of liquid-rich fluid inclusions (L), 2- Single-phase of vapour-rich fluid inclusions (V) and 3- two-phase vapour-liquid fluid inclusions (L+V). Based on the petrographic studies, the size of fluid inclusions in the studied deposits change from 5 to 27 microns. Two hundred twenty fluid inclusions from Chah Mousa (140), Derakhshanieh (40) and Qoleh Sookhteh (40) deposits were chosen for freezing and heating microphotometry. Two data sets were recorded during cooling studies, first (eutectic point) and last melting temperatures of ice pieces. The obtained eutectic data can be divided into three groups as -23.6 to -23.7, -33 and -45 to -50 °C. Based on Shepherd et al. (1985), these three temperature ranges were compared with three soluble systems, including H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl, H<sub>2</sub>O- MgCl<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>O – CaCl<sub>2</sub>, respectively, that have been active during mineralization in this district, but the H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl system is dominant. The last ice melting temperatures at the Chah Mousa deposit, the fluid's salinity were calculated in two ranges, from 3 to 16 and 23 to 26 wt.% NaCl equivalent. Furthermore, homogenization temperatures (Th) for this deposit changing from 150 to 475 °C; by the way, this data on the frequency diagrams were distributed in two populations. Microthermometry studies at the Derakhshanieh and Qoleh Sookhteh deposits indicate that the salinity of the fluids changes from 6 to 14 and 6 to 11.5 wt.% NaCl equivalent, likewise homogenization temperatures change from 100 to 210 °C and from 130 to 180 °C, respectively.

#### 4-Conclusions

1- According to the homogenization temperature (Th), melting temperature (Tm) and salinity, the ore-forming processes of the Chah Mousa area were formed into the condition of the epithermal system. Although a small number of fluid inclusions data has a trend to porphyry, there is not enough evidence of porphyry mineralization in this area until this stage of studies.

2- Based on the evidence obtained, cooling with boiling conditions and mixing with atmospheric waters can be highly probable for fluid evolution of this area.

3- Eutectic data show that there are two soluble systems probably active in the region, consistent with the H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl and H<sub>2</sub>O-CaCl<sub>2</sub>-MgCl<sub>2</sub> systems.

4- In general, unstable chloride compound is the leading carriers in the hydrothermal fluids up to about 100m below the surface, the metals have been separated from these complexes and then deposited as sulfide minerals in the different stages this district.

## Acknowledgement

The authors of the article thank the management of Midco Company for staying in the mining camp for field studies and sampling. It is also necessary to appreciate the financial support of the Research Assistant of Damghan University for conducting analyses and laboratory studies of this proposal.

## References

- Eshraghi, S.A., 2003. Geological map and geological report of 1:100,000 Moalleman, Geological Survey & Mineral Exploration of Iran.
- Fard, M., Rastad, E., Ghaderi, M., 2006. Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of central Iran and the role of rhyolitic intrusions. *Journal of Science* 17, 327–335.
- Hushmandzadeh, A.R., Alavi, M.N., Haghypour, A.A., 1978. Evolution of geological phenomenon in Toroud area (Precambrian to recent), Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, Report H5.
- Khalaj, M., 2012. Survey and relationship of copper ore in Chah Musa, Derakhshaniyeh and QolehSoukhteh areas with linear structures with respect to the parameters of geochemical, alteration and fluid inclusions in the south of Damghan, M.Sc Thesis, Damghan University, Iran.
- Nabavi, M.H., 1976. A Preface to Iran's Geology. Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, p.109.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. In: Ribhe, P.H., Ed., *Reviews in Mineralogy* 12, Mineralogical Society of America, Washington DC.
- Shepherd, T.J., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies, Glasgow and London Distributed in the USA by Chapman and Hall New York.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos* 55, 229-272.
- Zarasvandi, A., Zaheri, N., Pourkaseb, H., Chrachi, A., Bagheri, H., 2014. Geochemistry and fluid-inclusion micro thermometry of the Farsesh barite deposit, Iran. *Geologos* 20, 201–214.

### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Khalaj, M., Hassan-Nezhad, A., Alizadeh, H., Haji Babaei, A., Ghorbani, G., 2021. Investigation of mineralization fluid evolution of hydrothermal vein copper deposits: Based on studies of fluid inclusions at Chah Mousa area (north of central Iran). *Adv. Appl. Geol.* 11(1), 116-135.

DOI: 10.22055/aag.2021.34599.2152

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_16674.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_16674.html?lang=en)

## بررسی تحول سیال کانی‌ساز کانسارهای مس رگه‌ای گرمابی: بر اساس مطالعات سیالات درگیر در منطقه

## چاه‌موسی (شمال ایران مرکزی)

## مهدی خلج

دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

## علی اکبر حسن‌نژاد \*

دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

## حسن علیزاده

بخش زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

## امیر حاجی بابائی

بخش زمین‌شناسی، دانشکده علوم‌پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، لاهیجان، ایران

## قاسم قربانی

دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۲۱

\*hassannezhad@du.ac.ir

## چکیده

منطقه چاه‌موسی در راس معدنکاری نوار آتشفشانی طرود - چاه‌شیرین مدت‌هاست به عنوان یک منبع مس شناخته شده است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه شامل توفها، برش‌های آندزیتی، داسیتی، بازالت‌های آندزیتی، آندزیتها، میکروکوارتز دیوریتها و دایکهای گابرویی هستند. کانه‌سازی در مناطق مورد مطالعه، عمدتاً به صورت رگه و رگچه‌ای، در امتداد گسل‌ها و درز و شکاف‌ها صورت گرفته است. بر مبنای مطالعات انجام شده، کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن، بورنیت، انارژیت، کوارتز، کلسیت و باریت به عنوان کانی‌های اولیه و کانی‌های ملاکیت، آزوریت، کالکوسیت و کوولیت به عنوان کانی‌های ثانویه قابل گروه‌بندی هستند. دگرسانی‌های غالب در منطقه‌ی مورد مطالعه شامل آرژیلیک، پروپیلیتیک و کلسیتی‌شدن هستند. این مطالعه بر روی کانی‌های کوارتز و کلسیت به عنوان باطله‌های اصلی و همزاد کانی‌های سولفید انجام شده است. انتقال فلزات در سیال کانی‌ساز به طور عمده توسط کمپلس‌های کلریدی انجام شده است. علاوه بر آن، داده‌های یوتکتیک نشان می‌دهد که احتمالاً دو سامانه محلول در این منطقه فعال بوده‌اند، که با سامانه‌های  $H_2O-NaCl-KCl$  و  $H_2O-CaCl_2-MgCl_2$  مطابقت دارند. دماسنجی دقیق انجام شده بر روی سیالات درگیر کانسارهای چاه‌موسی، درخشانیه و قله‌سوخته در منطقه مورد مطالعه، نشان می‌دهد، شوری این سیال‌ها از ۳ تا ۲۶ درصد وزن معادل  $NaCl$  و دمای همگن‌شدن سیالات درگیر بین ۱۵۰ تا ۴۷۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است. شواهد بدست آمده نشان می‌دهند که کانه‌های سولفیدی در این منطقه در شرایط سطح دمایی و اپی‌ژنتیک تشکیل شده‌اند. این مطالعات حاکی از آن است که کانه‌زایی سولفیدی در این منطقه حاصل فرایندهای جوشش، سردشدگی و اختلاط سیالات گرمابی بالارو با سیالات جوی فرورو است.

**کلمات کلیدی:** چاه‌موسی، سیالات درگیر، سطح دما، کانسارهای مس، گرمابی

## مقدمه

مشخص می‌سازد (Wilkinson, 2001). ریزدماسنجی سیالات درگیر به طور بالقوه می‌تواند به عنوان شاخص محیط فیزیکو-شیمیایی کانی-سازی مس عمل کند (Zarasvandi et al., 2014). منطقه معدنی چاه‌موسی شامل سه معدن مس از جمله معدن چاه‌موسی، درخشانیه و قلعه‌سوخته است که در نوار ماگمایی چاه‌شیرین - ترود قرار دارد. این نوار دارای روند شمال شرق - جنوب غرب است و در قسمت شرقی کمربند ماگمایی البرز قرار دارد و یک بلوک بالا آمده را در شمال ایران مرکزی تشکیل می‌دهد (Hushmandzadeh et al., 1978). اعتقاد بر این است که، عمده‌ی کانسارهای گرمابی در نوار چاه‌شیرین - ترود

بیش از ۴۰ سال است که به طور معمول ژئوشیمی سیالات درگیر کانسارهای گرمابی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (Roedder, 1985). سیالات درگیر نشانه‌های منحصر به فردی هستند که از طریق آنها می‌توان به دما، شوری، ترکیب شیمیایی سیال و فشار حاکم بر سامانه‌ای که آنها در میلیون‌ها سال قبل از آنها بدام افتاده‌اند، پی برد. علاوه بر آن، از طریق مطالعه سیالات درگیر می‌توان، به دما و ترکیب شیمیایی سیال کانی‌ساز دست یافت (Roedder, 1992). بر این اساس، سیالات درگیر بدام افتاده در رگه‌ها و رگچه‌های گرمابی می‌توانند علاوه بر ماهیت این سیالات، وضعیت سیالات کانه‌ساز و چگونگی تشکیل کانه را

شامل: گندی (طلا - نقره - سرب - مس - روی)، ابوالحسنی (سرب - روی - مس - نقره - طلا)، چشمه حافظ (سرب - روی - مس - نقره)، قله کفتران (سرب - روی - نقره)، پوسیده (مس - طلا - نقره)، دارستان (مس - طلا)، چالو (مس - طلا)، قله سوخته (سرب - روی - مس)، پیرمردان (سرب - روی - مس)، آستانه (مس - طلا)، بابا احمد (سرب - روی - مس)، چاه موسی (مس - روی - سرب) و درخشانیه (مس - روی - سرب) در ارتباط با فرایندهای ماگمایی این نوار شکل گرفته‌اند. خصوصیات این ذخایر توسط چندین نویسنده از جمله (Fard et al., 2006)، (Ghasemi, 2012)، (Mehrabi et al., 2014)، (Rashidnezhad, 1992)، (Shamanian et al., 2004)، (Tajeddin, 1999)، (Mehrabi et al., 2015)، (Khalaj, 2012) مورد بررسی قرار گرفته‌اند و خوانندگان برای اطلاعات دقیق تر می‌توانند به آنها رجوع کنند. اگرچه در گذشته بصورت خیلی محدود و صرفاً بر روی سیالات درگیر معدن چاه موسی مطالعاتی صورت گرفته است (Imamjome, 2006)، اما در مطالعه حاضر، مطالعه جامع‌تری بر روی سیالات درگیر سه کنسار مجاور هم یعنی چاه موسی، درخشانیه و قله سوخته، انجام و با استفاده از داده‌های حاصل، به همراه نتایج بدست آمده از مطالعات بافتی و کانه‌نگاری، تحول سیالات کانه ساز در منطقه معدنی چاه موسی و الگوی کانه سازی مس، در این منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

### زمین شناسی منطقه

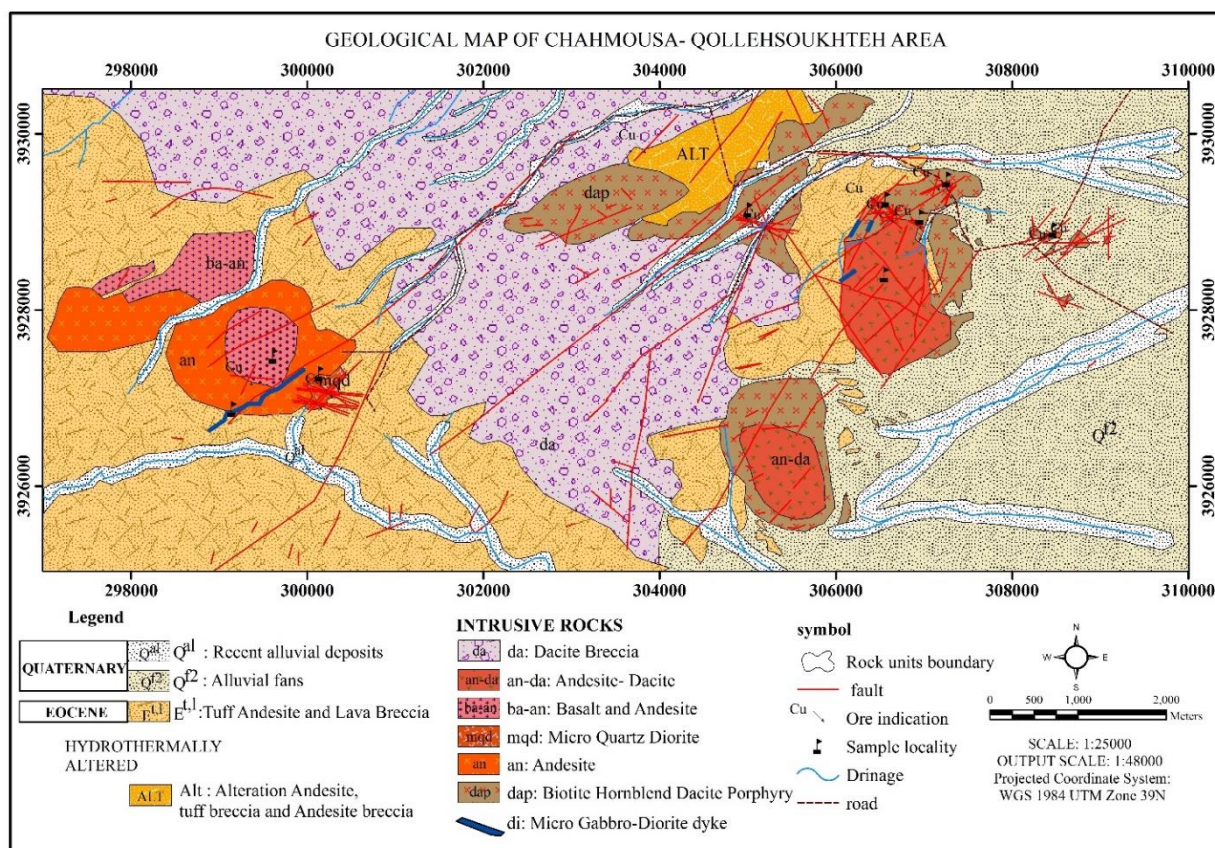
کنسارهای مس چاه موسی، درخشانیه و قله سوخته در جنوب شاهرود و شمال غربی روستای طرود در استان سمنان، بین عرض‌های شمالی از  $35^{\circ} 24'$  تا  $35^{\circ} 29'$  و طول شرقی  $54^{\circ} 39'$  تا  $54^{\circ} 57'$  واقع شده است. منطقه مورد مطالعه در قسمت شمالی زون ساختاری ایران مرکزی قرار می‌گیرد (Nabavi, 1976). واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه به واحدهای آتشفشانی، آذرآواری ائوسن و همچنین نفوذی‌های ائوسن - الیگوسن قابل تقسیم هستند (Eshraghi, 2003) اعتقاد بر این است که ماگماتیسم ائوسن - الیگوسن نوار چاه - شیرین - ترود در حاشیه قاره و مرتبط با مکانیزم فرورانش بوقوع پیوسته است که باعث رخداد فازهای نفوذی متعدد کالک آکالان در این نوار شده است (Khalaj, 2012). کمر بند ماگمایی چاه شیرین - ترود از لحاظ ساختاری تحت تأثیر دو گسل اصلی قرار دارد که عبارتند از گسل انجیلو در شمال و گسل ترود در جنوب. واحدهای اصلی این منطقه عبارتند از توف، برش‌های آندزیتی، برش‌های داستی، آندزیت - داستیها، آندزیت - بازلتها، بیوتیت - هورنبلند پورفیری داستی، میکرو کوارتز دیوریت و دایک‌های گابرویی (شکل ۱). در ادامه بطور مختصر واحدهای اصلی سنگی منطقه مورد مطالعه مورد بحث قرار می‌گیرند:

واحدهای آتشفشانی، واحدهای آتشفشانی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه به دو نوع از آندزیت‌ها در مناطق قله سوخته و چاه موسی تقسیم می‌شوند. در منطقه قله سوخته این واحد در اطراف توده نفوذی

واحدهای نفوذی در منطقه مورد مطالعه علاوه بر دایک‌های گابرویی، سه توده ساب ولکانیک وجود دارند که شامل توده ساب ولکانیک چاه - موسی، توده ساب ولکانیک قله سوخته و توده میکرو کوارتز دیوریت قله سوخته هستند. از لحاظ سنی، این مجموعه به اوایل ائوسن - الیگوسن نسبت داده می‌شود (Hushmandzadeh et al., 1978). واحد ساب ولکانیک آندزیت - داستی چاه موسی در صحرا از رنگ خاکستری روشن برخوردار است و در داخل آن انکلاوهایی از میکرو دیوریت تا میکرو گابرو دیده می‌شود. این توده نیمه عمیق دارای یک بافت پورفیری تیک با یک زمینه میکروولیتی شیشه‌ای است. این سنگ‌ها دارای دانه‌های بزرگی از بلورهای پلاژیوکلاز با رنگ شیری هستند که طول آنها گاه به یک سانتیمتر نیز می‌رسد، این کانیها شکل‌دار و گاه بی‌شکل هستند. کانی‌های مافیک بیوتیت و آمفیبول در آن دیده می‌شوند. بیوتیت‌ها غالباً شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و طول آنها گاه به ۳ میلی‌متر می‌رسند که اغلب به طور کامل به اکسی - هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. این توده بشدت تحت تأثیر دگرسانی قرار گرفته است. پلاژیوکلاز به سرسیت، کانی‌های رسی و کرنات تبدیل شده است. فلدسپار قلیایی هر چند به مقدار اندک وجود دارد، اما به کانی‌های سرسیت و رسی دگرسان شده است. آمفیبول‌ها شکل‌دار و بی‌شکل هستند که به کلریت و اکسیدهای آهن تغییر یافته‌اند. به طور کلی، تغییر عمده در این منطقه به دلیل وجود کلریت، کلسیت، سرسیت و

به دگرگونی تماسی این واحدها شده است. به طور کلی، می توان مشاهده کرد که با دور شدن از محدوده معدنی اصلی چاهموسی به سمت شمال، شمال غرب و بویژه به سمت جنوب، دگرسانی کاهش پیدا می کند.

همچنین تا حدودی تحت تأثیر دگرسانی آرژلیک قرار گرفته است (شکل ۲). توده ساب ولکانیک چاهموسی در بخش شمالی و شرقی آن به بیوتیت هورنبلند آندزیت پورفیری مرتبط می شود و در قسمت غربی مرز آن گسلی است و در برخی از قسمت های شمالی و شرقی با واحدهای رسوبی ارتباط برقرار کرده است که این ارتباط تا حدی منجر



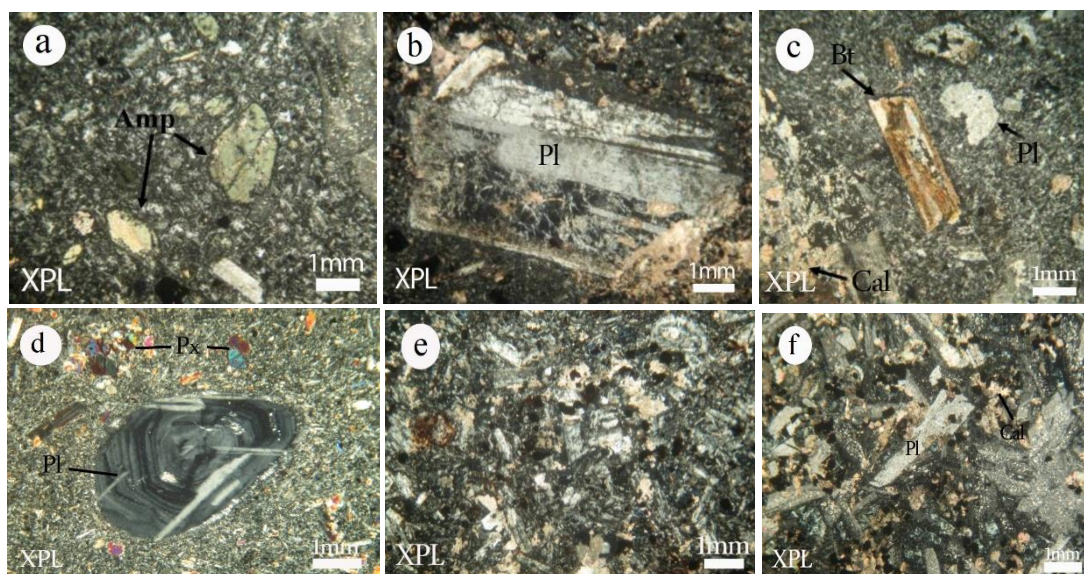
شکل ۱- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بر اساس Eshraghi (۲۰۰۳).

Fig. 1. Geological map of the study area (scale 1:25,000). Adapted from Eshraghi (2003).

بشدت دگرسان شده است. آمفیبولها به کلریت و کلسیت تبدیل شده اند و کربناتی شدن بشدت در این توده اتفاق افتاده است. کانی های کدر زیادی در این سنگها وجود دارند (شکل ۲). یکی از مسائل مهمی که می توان به آن اشاره کرد، کانی سازی مس در این توده نفوذی است. دایک های موجود در منطقه مورد مطالعه، عموماً میکروگابرو تا میکروگابرو دیوریت هستند. در صحرا این دایکها به رنگ سبز تا خاکستری قابل مشاهده هستند. این سنگها عمدتاً از پلاژیوکلاز، الیوین، پیروکسن و کانی های کدر تشکیل شده اند. بافت آنها از نوع اینترسرتال، افیتیک، ساب افیتیک و دانه ای است. کانی های اولیه این دایکها به کلریت، کلسیت و اکسی-هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده اند (شکل ۲).

واحد ساب ولکانیک آندزیت - بازالت پورفیری قله سوخته، عمدتاً از نوع آندزیت - بازالت های پورفیری هست، که از زمینه شیشه ای میکرولیتی برخوردار است. کانی های این واحد ساب ولکانیکی شامل بلورهای پلاژیوکلاز با لبه های گرد (شکل ۲). بلورهای پیروکسن، الیوین و بلورهای کوارتز ثانویه هستند. کربناتی شدن، دگرسانی شاخص این واحد است. بنابراین، حضور رگچه های کلسیتی را در این توده، می توان موید این نوع دگرسانی دانست.

توده میکروکوارتز دیوریت قله سوخته، این توده در امتداد واحدهای آتشفشانی قله سوخته رخنمون اندکی دارد و از رنگ خاکستری تیره تا سبز برخوردار است. زمینه موجود در این توده کاملاً میکروکریستالی است، اما از نظر اندازه، فنوکریست های موجود در این توده به طور عمده کوچکتر از فنوکریست های موجود در توده چاهموسی است. این توده



شکل ۲- تصاویر میکروسکوپی از نمونه‌های سنگی مطالعه شده؛ (a) سنگ‌های آتشفشانی منطقه چاهموسی که به وضوح کانی آمفیبول در نور XPL در آن مشاهده می‌شود، (b) سنگ‌های آتشفشانی منطقه چاهموسی که کانی پلاژیوکلاز با ماکل پلی سینتتیک که به شدت به کربنات تبدیل شده است در آن دیده می‌شود، (c) توده ساب ولکانیک آندزیت - داسیت چاهموسی، که در آن بیوتیت به کلریت و کانی‌های کدر و پلاژیوکلاز به کلسیت تبدیل شده است، (d) آندزیت - بازالت پورفیری قله‌سوخته، (e) توده میکروکوارتز دیوریت با زمینه ریزبلور و مقدار زیادی کانی‌های کدر و (f) میکروگابرو - دیوریت قله-سوخته. علائم اختصاری: Amp = آمفیبول، Pl = پلاژیوکلاز، Bt = بیوتیت، Px = پیروکسن، Cal = کلسیت، اختصارات استفاده شده برای کانی‌ها از Whitner و Evans (۲۰۱۰) اقتباس شده است.

Fig. 2. Microscopic images of studied rock samples; (a) Volcanic rocks of the Chah Musa area in which amphibole is clearly visible in the XPL, (b) Volcanic rocks of the Chah Musa area, in which plagioclase is visible with polysynthetic mackles which is extensively changed to calcite, (c) Sub-volcanic andesite-dacite body of Chah Musa, biotite has converted to chlorite and opaque minerals and plagioclase has converted to calcite, (d) Porphyry andesite-basalt of Qoleh Sookhteh, (e) Micro-Quartz diorite body with microcrystalline matrix with a lot of opaque minerals, and (f) Micro-gabbro-diorite of Qoleh Sookhteh. Abbreviations: Amp = Amphibole, Pl = Plagioclase, Bt = Biotite, Px = Pyroxene, Cal = Calcite. Mineral abbreviations based on Whitney and Evans (2010).

## روش مطالعه

پس از انجام مطالعات میدانی و برداشت ۴۱ نمونه و تهیه ۱۶ مقطع نازک و مطالعات سنگ نگاری، بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ (Eshraghi, 2003). نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و با استفاده از نرم افزار Arc GIS تهیه شد. مطالعات کانه‌نگاری در منطقه با استفاده از ۱۵ مقطع صیقلی و ۱۰ مقطع نازک صیقلی صورت گرفته است. مطالعات میکروسکوپی و ریزدماسنجی سیالات درگیر بر روی ۱۵ مقطع نازک دوبر صیقل از کانی‌های کوارتز و کلسیت (از هر یک از محدوده‌های چاهموسی، درخشانیه و قله‌سوخته ۵ نمونه) و با استفاده از صفحه گرم و سرد کننده Linkam THMS 600 که بر روی میکروسکوپ Olympus نصب شده است و از دامنه دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ برخوردار است، در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه دامغان انجام پذیرفته است. لازم به ذکر است که دستگاه مورد نظر قبل از شروع به سنجش داده‌ها برای دماهای منفی و مثبت با استفاده از مواد استاندارد با نقاط انجماد و ذوب مشخص تنظیم گردید و حد خطای این دستگاه برای داده‌های سرمایش  $\pm 0.5$  و داده‌های گرمایش  $\pm 5$  درجه سانتی‌گراد است.

## بحث

### کانی‌سازی

کانی‌سازی مس در مناطق مورد مطالعه، از نوع رگه‌ای - رگچه‌ای و در ارتباط با ساختارهای گسلی و به صورت شکافه پرکنی و گاه داربستی در منطقه رخ داده است. در منطقه چاهموسی، استخراج مس به صورت زیر زمینی و روباز از گذشته وجود داشته است و در حال حاضر نیز معدنکاری روباز در این منطقه صورت می‌گیرد، که این معدنکاری بر روی کربنات‌های مس (آزوریت و ملاکیت) که حاصل فرایند سوپرژن هستند، در حال انجام است. در منطقه چاهموسی علاوه بر کانی‌های کربناتی و سولفیدی مس، رگچه‌های گالن به همراه کلسیت و کوارتز قابل رویت هستند، که مربوط به آخرین فاز فعالیت سیالات کانی‌ساز است. در این منطقه، گسترش باریت، کلسیت تیره و هماتیت اولیه نسبت به سایر مناطق بیشتر است. در منطقه درخشانیه، روند کانی‌سازی مشابه چاهموسی است و از نظر سنگ میزبان نیز مشابه آن منطقه است. دگرسانی آرژیلیک در این منطقه نسبت به منطقه چاهموسی از توسعه بیشتری برخوردار است در حالیکه در منطقه چاهموسی

فرایند در زون اکسیدان که همراه است با بروز و ظهور هیدروکسیدهای آهن و همچنین کانی‌های کربناته مس (شکل ۳g) از جمله مالاکیت (به مقدار بیشتر) و آزوریت و گاه مس آزاد (به مقدار خیلی کمتر) در مناطق مورد مطالعه به چشم می‌خورد. رخداد کربنات‌های مس در امتداد گسل‌های موازی شیب لغز با راستای N80E بسیار بارز و آشکار است و می‌توان این آثار را گاه در پهنای بیش از ۱۰ متر و طول بیش از صد متر دنبال کرد. اثر دیگر رخداد فرایند هوازدگی، از طریق بررسی‌های کانه-نگاری بر روی رگچه‌های سولفیدی قابل احصاء است که از طریق تشکیل بافت‌های جانشینی سوپرژنی کانی‌های سولفیدی ثانویه از جمله کوولیت و کالکوسیت، بر روی سولفیدهای اولیه مانند کالکوپیریت، بورنیت و گالن قابل شناسایی است (شکل‌های h<sup>۳</sup> و i).

### دگرسانی

بررسی دگرسانی در منطقه چاه‌موسی با استفاده از مطالعات سنجش دور، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی صورت گرفته است. بر اساس این مطالعات مشخص گردید دگرسانی‌های آرژیلیک، پروپیلیتیک و کلسیتی شدن دگرسانی‌های غالب این منطقه هستند. که در ادامه به بررسی مختصر این دگرسانی‌های پرداخته می‌شود.

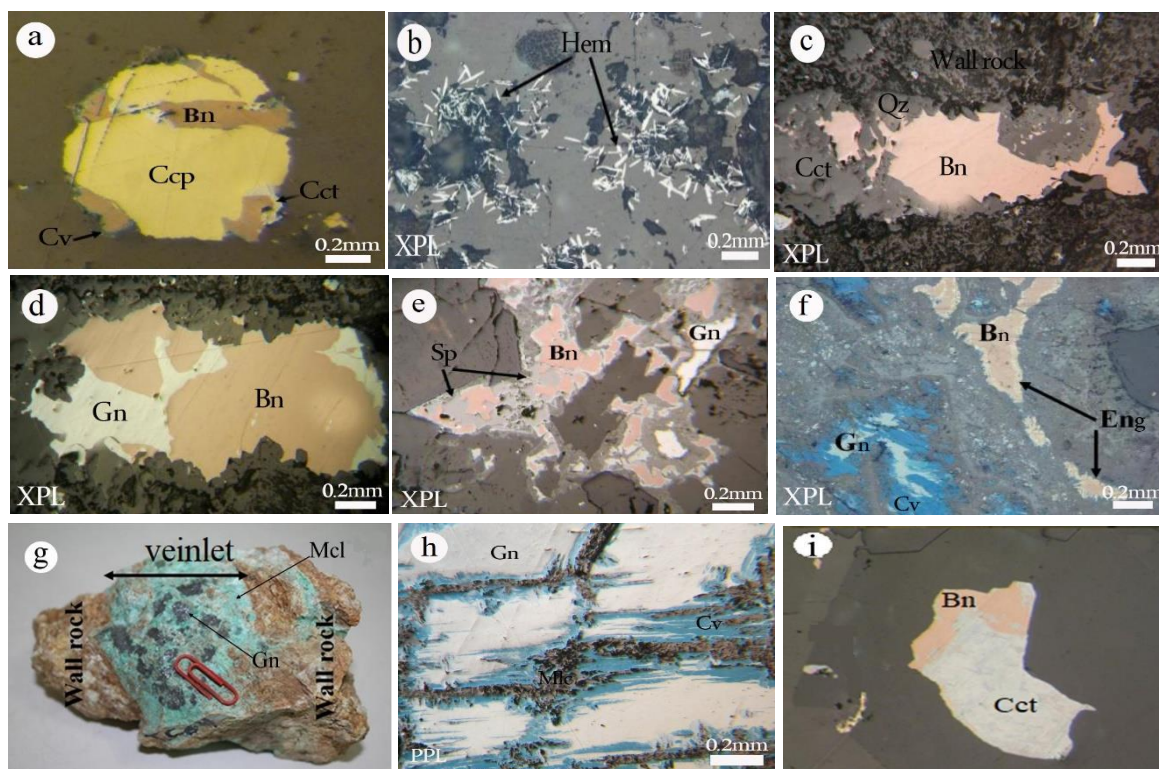
**دگرسانی آرژیلیک:** این دگرسانی در بخش شمال غرب محدوده‌ی چاه‌موسی از گسترش قابل توجهی برخوردار است. کانی‌های عمده این دگرسانی در منطقه چاه‌موسی عبارتند از هیدروکسیدهای آهن، کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت و کائولینیت که این کانی از تسلط بیشتری برخوردار است و سریسیت، که عمدتاً از کانی‌های پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزین سنگ‌های ولکانیکی حاصل شده‌اند. این کانی‌ها موید دگرسانی آرژیلیک حدواسط گرمایی در منطقه چاه‌موسی هستند.

**دگرسانی پروپیلیتیک:** این دگرسانی به نسبت دگرسانی آرژیلیک در منطقه مورد مطالعه از شدت کمتری برخوردار است. از شاخصه‌های دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه مورد مطالعه، که در مطالعه پتروگرافی آندزیت - داسیت‌ها قابل مشاهده است، تبدیل بیوتیت به کلریت و پلاژیوکلاز به کانی‌های کربنات و اپیدوت است. که در برخی از نمونه‌ها شدت دگرسانی کانی‌های اولیه به کانی‌های کلریت، کربنات و اپیدوت به بیش از ۷۰ درصد می‌رسد.

**کلسیتی‌شدن:** دگرسانی کلسیتی‌شدن فقط در محدوده کانسار قله-سوخته قابل رویت است. در این منطقه طی عملکرد سیالات گرمایی کانی‌ساز، کلسیت با پرکردن ترکها و شکستگی‌های سنگ میزبان میکرودیوریت و آندزیت - بازالت‌های منطقه، باعث رخداد این نوع دگرسانی شده است. در کانسار قله‌سوخته، کانی کلسیت با کانه‌زایی سولفیدی که عمدتاً از نوع بورنیت است، همزاد است.

دگرسانی پروپیلیتیک غالب است، ضمن آنکه در منطقه درخشانیه همانند چاه‌موسی رگچه‌های گالن به چشم نمی‌خورند. منطقه قله‌سوخته نسبت به منطقه چاه‌موسی هم از نظر کانی‌سازی و سنگ میزبان و کانی‌های در دسترس متفاوت است. روند کانی‌سازی در منطقه قله-سوخته عمدتاً شرقی- غربی است و سنگ میزبان از نوع میکروکوارتز دیوریت است و کانی بورنیت در این منطقه از تسلط بیشتری برخوردار است. وجود رگه‌های گالن همراه با اسفالریت، تتراهدريت و کلسیت در اطراف منطقه کانی‌سازی، از ویژگی‌های این منطقه است. کانی‌های باطله و اولیه همراه رگه‌ها و رگچه‌های کانه‌دار در این مناطق، عبارتند از کوارتز، کلسیت و باریت. بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی‌های کانه نگاری، کانه‌های مناطق مورد مطالعه را می‌توان از نظر تکوینی به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم کرد. کانه‌هایی از جمله کالکوپیریت، پیریت، اسپیکیولاریت، اسفالریت، بورنیت، گالن، انارژیت و کالکوسیت به عنوان کانه‌های اولیه و کانه‌های مالاکیت، آزوریت، سروزیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، مس طبیعی، کوولیت، کالکوسیت و دیژنیت را به عنوان کانه‌های ثانویه در مناطق مورد مطالعه، می‌توان نام برد، که در شرایط اکسیداسیون و سوپرژن در اثر جانشینی کانه‌های اولیه سولفیدی و اکسیدی در کانسارهای مورد مطالعه تشکیل شده‌اند. شواهد بدست آمده از بررسی‌های انجام شده تا این مرحله که با هدف کسب اطلاعاتی در خصوص وضعیت کانه‌زایی مس در کانسارهای مورد نظر انجام شد، حاکی از آن است که تقریباً سه مرحله کانه‌زایی سولفیدی گرمایی در منطقه معدنی چاه‌موسی، بوقوع پیوسته است. مرحله اول، با ته نشست کانه‌های کالکوپیریت، پیریت، کوارتز و احتمالاً اسپیکیولاریت همراه بوده است (شکل‌های a<sup>۳</sup> و b). مرحله دوم با ته نشست کانی بورنیت و کلسیت بویژه در منطقه قله‌سوخته بوده است که به صورت رگچه‌های حاوی کانی بورنیت با ضخامت چند میلیمتر تا حدود یک سانتیمتر و طول حداکثر حدود ۵۰ سانتیمتر در سنگ میزبان میکروکوارتز دیوریت در این منطقه می‌تواند نشانه‌ای از یک فاز بورنیت‌زایی در منطقه باشد. این فاز کانه‌زایی از شواهد بافت جانشینی گرمایی کانی کالکوپیریت بوسیله بورنیت در منطقه قابل شناسایی است (شکل‌های b<sup>۳</sup> و a). مرحله سوم کانی‌زایی اولیه گرمایی، با ته‌نشست کانی‌های گالن، اسفالریت، انارژیت، تتراندريت و کلسیت در منطقه همراه بوده است که این مرحله با جانشینی کانی بورنیت بوسیله کانه‌های اسفالریت، انارژیت و گالن قابل شناسایی است (شکل‌های e، d<sup>۳</sup> و f). شواهد بدست آمده از مطالعات کانه‌نگاری در منطقه می‌تواند حاکی از این موضوع باشد که فاز پایانی فعالیت گرمایی در منطقه چاه‌موسی با ته‌نشست کانی گالن در گستره وسیعی از منطقه، از جمله محدوده قله‌کفتران همراه بوده است که تجلی آن را می‌توان در بافت‌های جانشینی این کانی بر روی سایر کانی‌های سولفیدی مشاهده کرد. یکی از عملکردهای بارز در منطقه معدنی چاه‌موسی، رخداد فرایند ثانویه هوازدگی است که تجلی این





شکل ۳- تصاویر میکروسکوپی و نمونه دستی از کانه‌ها در منطقه چاه موسی؛ (a) جانشینی کالکوپیریت توسط بورنیت، (b) تیغه‌های هماتیت (اسپیکولاریت) در زمینه کوارتز، (c) نهشت کانی بورنیت به همراه کلسیت بر روی بلورهای کوارتز در مرکز یک رگچه، (d) جانشینی گرمایی کانی بورنیت بوسیله کانی گالن با شواهدی از بافت جزیره‌ای (قطعرات بورنیت در داخل گالن)، (e) جانشینی گرمایی کانی بورنیت بوسیله کانی اسفالریت، (f) جانشینی کانی بورنیت بوسیله کانی انارژیت، (g) نمونه دستی از یک رگچه مالاکیتی همراه با قطعرات برشی گالن، (h) جانشین کانی گالن بوسیله کانی کوولیت در زون سوپرژن و (i) جانشینی کانی بورنیت بوسیله کانی کالکوسیت در زون سوپرژن. علائم اختصاری: Bn = بورنیت، Ccp = کالکوپیریت، Hem = هماتیت، Ccl = کلسیت، Qz = کوارتز، Gn = گالن، Sp = اسفالریت، Eng = انارژیت، Cv = کوولیت و Cct = کالکوسیت. اختصارات استفاده شده برای کانی‌ها از Evans و Whitner (۲۰۱۰) اقتباس شده است.

Fig. 3. Microscopic and hand specimen images of ore minerals in the Chah Musa area; (a) Replacing of chalcopyrite by bornite, (b) Specularite (primary hematite) with boxwork texture, (c) Depositing of bornite with calcite (cogenetic minerals) on quartz minerals in the center of a veinlet, (d) Replacing of bornite by galena with evidence of island texture (bornite islands within the galena), (e) Replacing of bornite by sphalerite, (f) Replacing of galena by covellite and bornite by enargite from the rim, (g) A hand specimen malachite veinlet with galena breccia pieces, (h) Galena that replaced from the rim by covellite, and (i) Replacing of bornite by chalcocite. Abbreviations: Bn = Bornite, Ccp = Chalcopyrite, Hem = Hematite, Ccl = Calcite, Qz = Quartz, Gn = Galena, Sp = Sphalerite, Eng = Enargite, Cv = Covellite and Cct = Chalcocite. Mineral abbreviations based on Whitney and Evans (2010).

درگیر ممکن است به صورت بلورهای منفی، کروی، میله‌ای، بیضوی، مستطیلی و نامنظم مشاهده شوند (Hajalilou, 2012؛ شکل ۴). بررسی‌های پتروگرافی بر روی نمونه‌های مورد نظر، در دمای اتاق و بر اساس معیارهای ارائه شده توسط (Shepherd et al., 1985) و (Roedder, 1984) صورت گرفته است. بر مبنای این مطالعات و محتویات فازی تشخیص داده شده در سیالات درگیر کانی کوارتز، در منطقه چاه موسی، سیالات درگیر این منطقه به انواع تک فازی مایع (L)، تک فازی بخار (V) و دوفازی مایع + بخار (L + V) قابل تقسیم هستند (شکل ۴). اندازه سیالات درگیر در منطقه چاه موسی از بسیار

### مطالعات سیالات درگیر کانسارهای محدوده چاه موسی

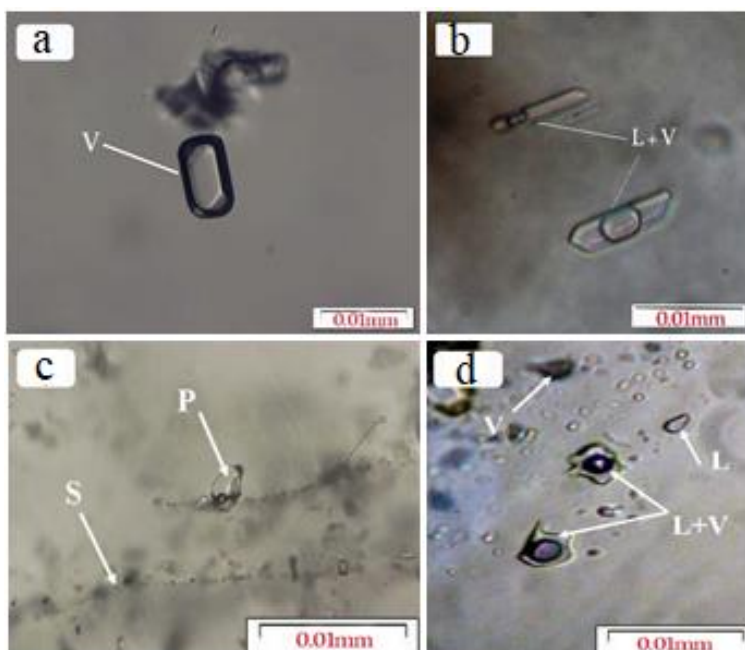
#### مطالعه سیالات درگیر معدن چاه موسی

مطالعه سیالات درگیر برای شناخت وضعیت محلول‌های گرمایی و منشأ آنها بسیار مهم است. ضمن آنکه، نتایج حاصل از ریزدامسنجی آنها در برآورد دمای تشکیل کانسار و تعیین دیگر خصوصیات فیزیکی - شیمیایی سیال مسئول استفاده می‌شود (Kant et al., 2012). بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، سیالات درگیر ثانویه و شبه ثانویه در امتداد ریزساختارها توسعه می‌یابند. در حالیکه، سیالات درگیر اولیه بطور تصادفی در داخل بلورها پراکنده هستند. از نظر مورفولوژی سیالات

معادل نمک طعام برخوردار هستند. در همین حال، بیشترین فراوانی مربوط به گروه اول با دمای همگن شدگی و شوری پائین است. معدود سیالات درگیری وجود داشتند که ذوب نهایی یخ آنها در محدوده دمای مثبت و حدود ۴/۵ تا ۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده است که می‌تواند موید حضور  $CO_2$  در سیال درگیر و تشکیل فاز کلاتریت باشد (Shepherd et al., 1985). با توجه به داده‌های حاصل از دمای‌های یونکتیک ثبت شده، به نظر می‌رسد سامانه محلول  $H_2O-NaCl-KCl$  در منطقه مورد مطالعه غالب بوده است. از این روی شوری سیال بر مبنای نمک  $NaCl$  و بر اساس معادله Bodnar و Vityk (۱۹۹۴) محاسبه شده است.

با توجه به اینکه، تغییر چگالی در شناخت مکانیسم جریان سیال و تغییر مکانی آن در یک سامانه گرمایی بسیار مهم است (Hajalilou, 2012)، و شوری سیال یکی از عوامل موثر بر چگالی آن است. استفاده از نمودار ترسیم دمای همگن شدگی میانبرهای سیال در مقابل شوری آنها (Shepherd et al., 1985)، وضعیت شوری سیال کانی ساز در نمونه‌های کانسار چاه موسی مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶). همانطور که مشاهده می‌شود، سیالات درگیر نوع اول دارای چگالی بالاتری نسبت به انواع دیگر هستند. با استفاده از درجه پرشدگی و دمای همگن شدگی سیالات درگیر، مشخص می‌شود که با افزایش درجه پر شدگی سیال درگیر، دمای همگن شدگی آن کاهش می‌یابد.

کوچک تا چند میکرون در تغییر است، اما در این مطالعه سیالات درگیر بین ۵ تا ۲۷ میکرومتر مشاهده و مورد مطالعه قرار گرفتند. بررسی‌های میکروسکوپی انجام شده بر روی سیالات درگیر کانسارهای معدن چاه-موسی نشان می‌دهند، با حضور سیالات درگیر تک فازی نوع مایع و بخار، درجه پرشدگی از صد در صد تا صفر درصد در سیالات درگیر این معدن در تغییر است، اما این بررسی‌ها نشان می‌دهند که سیالات درگیر با دامنه پرشدگی ۵۵ درصد تا حدود ۹۵ درصد غالب هستند. در این منطقه در حدود ۱۴۰ سیال درگیر برای سنجش دماهای سرمایه‌گذاری و گرمایش مورد مطالعه قرار گرفتند (جدول ۱)، که بر اساس داده‌های گرمایش و گرمایش بدست آمده برای منطقه چاه موسی، نمودارهای فراوانی آنها ترسیم شدند (شکل a5 و b). یکی از روش‌های شناخت جمعیت‌های مختلف سیالات درگیر در نمونه‌های مطالعه شده در یک کانسار، استفاده از نمودارهای توزیع فراوانی داده‌های ریز داماسنجی میانبرهای سیال است (Hassan-Nezhad and Moore, 2006, Shepherd et al., 1985). با توجه به داده‌های ترسیم شده برای کانسار چاه موسی، از نظر دمای همگن شدگی و شوری (بر حسب معادل نمک طعام)، دو محدوده جمعیتی شناسایی شدند که به رنگ‌های مختلف نشان داده شده‌اند. محدوده‌ی اول، سیالات درگیر دارای دامنه‌ی دمای همگن شدگی ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری معادل ۳ تا ۱۶ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. محدوده‌ی دوم، از دامنه‌ی دمای ۳۵۰ تا ۴۷۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۲۳ تا ۲۶ درصد وزنی،



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی سه گروه سیالات درگیر در کانسار چاه موسی؛ (a) سیال درگیر تک فازی غنی از بخار با شکل منظم، (b) سیالات درگیر دوفازی مایع - بخار تیغه‌ای شکل، (c) سیالات درگیر اولیه و ثانویه کاذب که در امتداد ریز ترک‌ها توسعه یافته‌اند و (d) همراهی سیالات درگیر با محتویات فازی و درجه پرشدگی مختلف می‌توانند فرایند جوشش را مشخص سازند.

Fig. 4. Microscopic images of fluid inclusion in three groups of Chah Musa deposit; (a) Single phase of vapor-rich fluid inclusion with regular shape, (b) Two phase of vapor-liquid fluid inclusions with blade shape, (c) Primary and secondary fluid inclusions were developed along microfractures, and (d) Placing fluid inclusions with different phases and filling degree which can indicate the boiling process.

جدول ۱- توصیف آماری داده‌های ریزدماسنجی در سه کانسار منطقه چاه موسی.

Table 1. Statistics descriptive of microthermometric data in three deposits at the Chah Musa area.

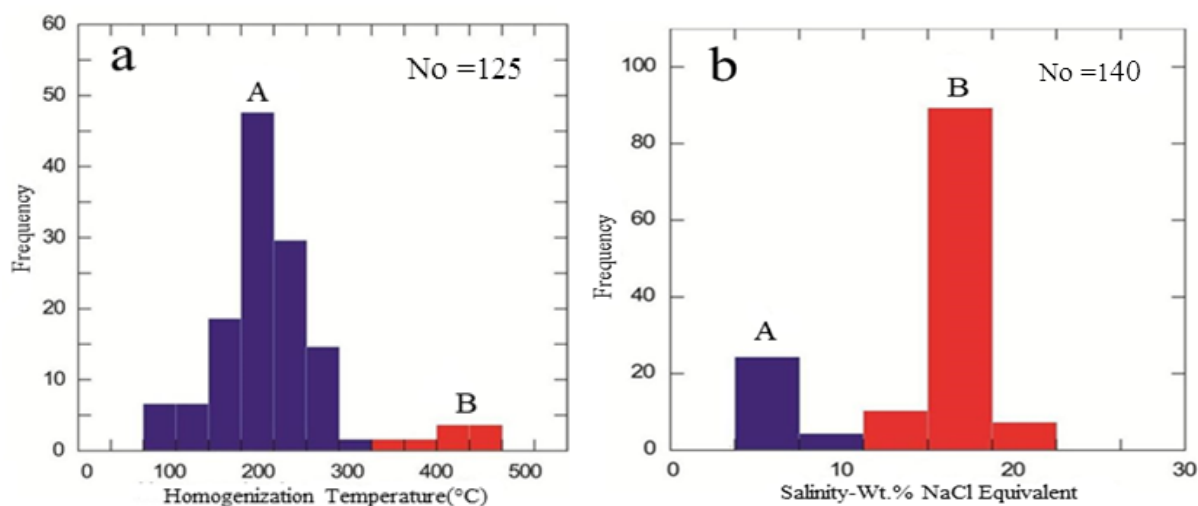
Regions name	FI type	No. FI	Statistical parameter	T <sub>H</sub> (°C)	T <sub>M</sub> (°C)	Salinity
Chah Musa	LV	125	Minimum	100	4.5	3.387
			Maximum	457	-19.5	28.996
			Mean	210	-12	16.053
			Standard Deviation	73.601	5.662	4.030
Chah Musa	L	15	Minimum	-	-6.4	9.726
			Maximum	-	-19.1	21.733
			Mean	-	-13	16.893
			Standard Deviation	-	4.222	4.117
Derakhshanieh	LV	40	Minimum	104	4.5	6.44
			Maximum	202	-9.7	13.615
			Mean	119	-8.3	12.047
			Standard Deviation	33.69	2.809	1.264
Qoleh Sookhteh	LV	40	Minimum	130	-4.1	6.593
			Maximum	181	-7.6	11.219
			Mean	146	-7.1	10.609
			Standard Deviation	15.461	1.209	1.597

قطع می‌کنند، می‌تواند حاکی از آن باشد که حضور این نمک‌ها در سیال کانی ساز، نسبت به دو نوع قبلی از مقدار بسیار کمتری برخوردار بوده اند.

#### مطالعه سیالات دگر کانسار درخشانیه

طی بررسی‌های میکروسکوپی بر روی سیالات درگیر، ضمن آنکه روابط بین آنها و کانی میزبان روشن خواهد شد (Van den Kerkhof and Hein, 2001; Hajalilou, 2012; Shepherd et al., 1985; Roedder, 1984) می‌توان آنها را از نقطه نظر ریخت‌شناسی و محتویات فازی گروه‌بندی نمود. بر این اساس، سیالات درگیر اولیه و ثانویه در نمونه‌های کانسار درخشانیه غالب هستند. از نگاه ریخت‌شناسی، سیالات درگیر در این کانسار به انواع بلور منفی، کروی، میله‌ای، بیضوی، تیغه‌ای و نامنظم قابل تقسیم هستند. از نقطه نظر محتویات فازی در دمای اتاق، سیالات درگیر این کانسار به سه نوع تک فازی مایع (L)، تک فازی غنی از بخار (V) و دو فازی مایع + بخار (L+V) قابل تقسیم هستند، که سیالات درگیر دو فازی از فراوانی بیشتری برخوردار هستند (شکل ۸).

طی سنجش دمای سرمایش که بر روی میانبارهای سیال کانی کوارتز از کارگاه‌های مختلف استخراج کانسار منطقه چاه موسی انجام پذیرفت، سه محدوده‌ی دمای ذوب اولیه تعیین و ثبت شد (جدول ۲). پس از بررسی و تطبیق این دماهای ثبت شده با داده‌های ارائه شده توسط Shepherd (۱۹۸۵)، مشخص شد که سه سامانه محلول گرمایی در منطقه چاه موسی فعالیت داشته‌اند، که عبارتند از: سامانه H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl، سامانه H<sub>2</sub>O-CaCl<sub>2</sub> و سامانه H<sub>2</sub>O-MgCl<sub>2</sub> (جدول ۲). ضمن آنکه داده‌های یوتکتیک سنجش شده، حاکی از غالب بودن سامانه H<sub>2</sub>O-NaCl-KCl به عنوان سامانه کانی‌ساز منطقه است، اما این داده‌ها می‌تواند حاکی از آن باشد که کمپلکس‌های کلریدی نقش اساسی را در انتقال یون‌های فلزی بر عهده داشته‌اند. برای درک این موضوع که کدام یک از این سامانه‌های محلول در معدن چاه-موسی فعال تر بوده است، داده‌های شوری در مقابل داده‌های سرمایش (آخرین دمای ذوب یخ) ترسیم شدند (شکل ۷) همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، بین شوری و دمای آخرین یخ در حال ذوب، رابطه معنی داری وجود دارد. توزیع این داده‌ها در نمودار فوق، موید آن است که نمک‌های NaCl به مقدار بیشتر و KCl به مقدار کمتر در سیال کانه دار غالب هستند و به ترتیب از نسبت ۲:۱ برخوردار هستند. با توجه به اینکه روند توزیع داده‌ها خطوط مربوط CaCl<sub>2</sub> و MgCl<sub>2</sub> را



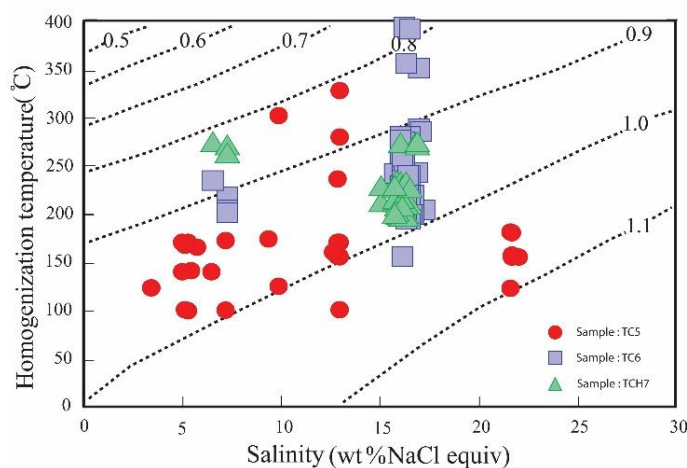
شکل ۵- نمودارهای فراوانی داده‌های ریزدماسنجی نمونه‌های معدن چاه موسی؛ (a) دماهای همگن‌شدگی و (b) شوری سیال بر حسب معادل درصد وزنی نمک طعام.

Fig. 5. Histogram diagrams of microthermometric data in samples from Chah Musa mine; (a) Homogenization temperatures and (b) Salinity based on wt.% NaCl equivalent.

جدول ۲- سه دامنه دمایی ذوب اولیه یخ بدست آمده برای منطقه چاه موسی.

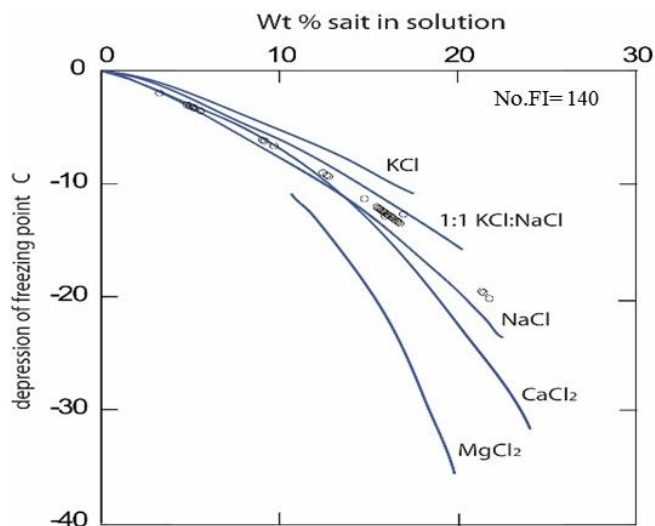
Table 2. Three obtained regions the first melting point in the Chah Musa area.

Domain	1	2	3
No.FI	16	2	5
T <sub>fm</sub>	-23.6 to -23.7	-33	<b>-45 to -50</b>
Salt- water system	H <sub>2</sub> O-NaCl-KCl	H <sub>2</sub> O-MgCl <sub>2</sub>	<b>H<sub>2</sub>O-CaCl<sub>2</sub></b>



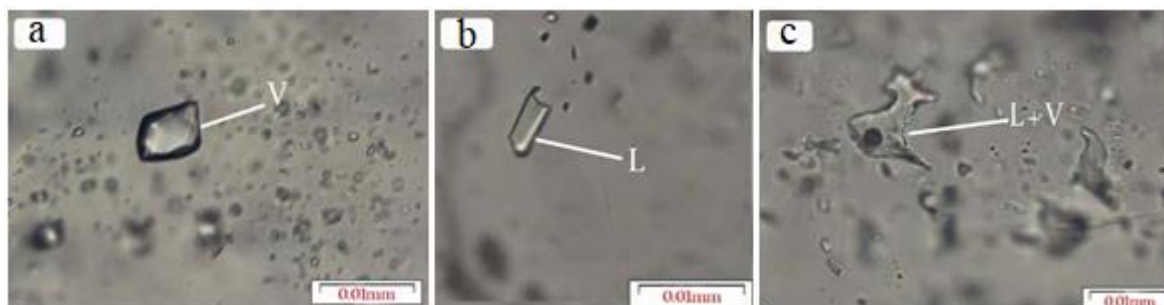
شکل ۶- چگالی محاسبه برای نمونه‌های مطالعه شده در سه کنسار مختلف معدن چاه موسی.

Fig. 6. Calculated density for studied samples in three different deposits of Chah Musa mine.



شکل ۷- نمودار شوری و نقطه ذوب نهایی سیال همراه با منحنی نمک (Shepherd et al., 1985) در کانسار چاه موسی. افت دمای ذوب آب خالص تابعی است از درصد وزنی نمک در محلول کلرید سدیم - کلرید پتاسیم - دی کلرید کلسیم و دی کلرید منیزیم.

Fig. 7. Salinity and the last melting point of the fluid diagram with the salt curve (Shepherd et al., 1985) in the Chah Musa deposit. The drop temperature in pure water melting as a function of the weight percentage of salt in solution NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub>.



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی سه گروه از سیالات درگیر کانسار درخشانیه؛ (a) سیال درگیر تک فاز غنی از مایع با شکل منظم، (b) سیال درگیر تک فاز غنی از بخار با شکل منظم، (c) سیال درگیر دو فاز مایع + بخار با شکل نامنظم.

Fig. 8. Microscopic images of fluid inclusion in three groups of Derakhshanieh deposit; (a) Single phase of vapor-rich fluid inclusion with regular shape, (b) Single phase of liquid-rich fluid inclusion with blade shape, and (c) Two phase of vapor+liquid fluid inclusion with irregular shape.

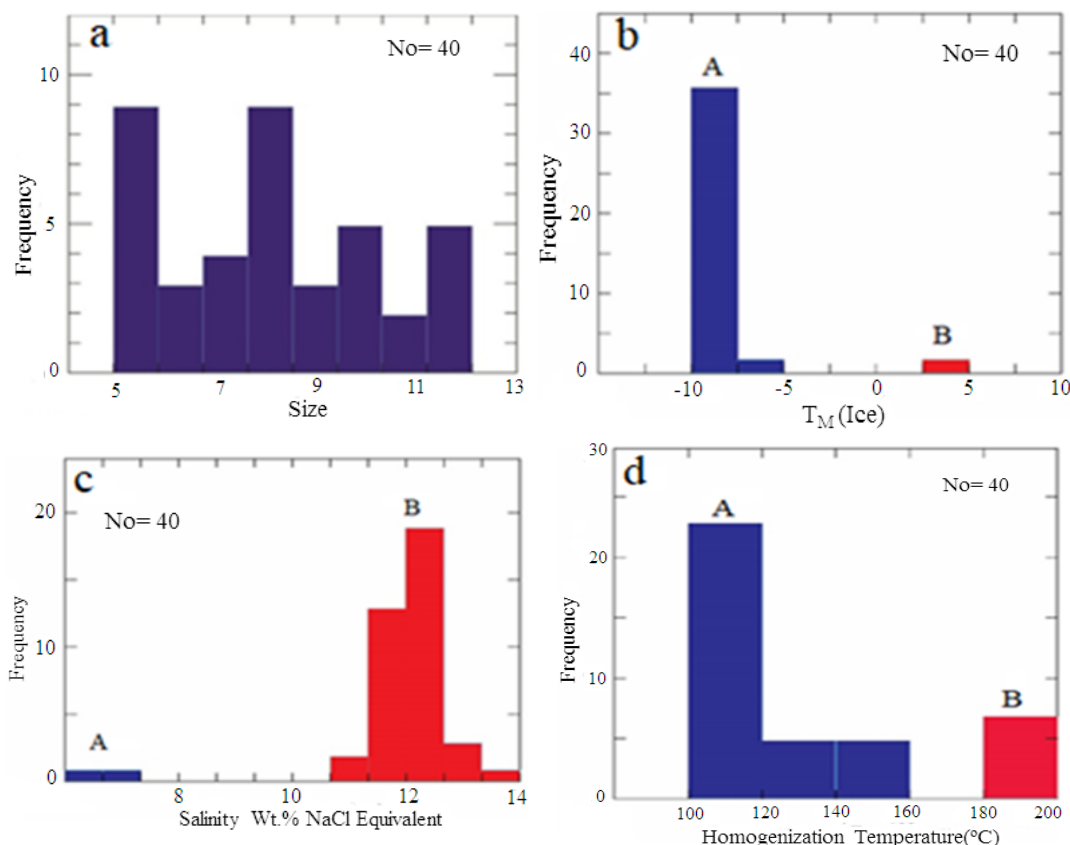
دامنه دماهای همگن شدگی سیالات درگیر در کانسار درخشانیه در دو دامنه‌ی ۱۰۰ تا ۱۶۰ و ۱۸۰ تا ۲۱۰ درجه سانتیگراد تغییر می‌کنند (شکل ۹d). مقادیر شوری و دمای همگن‌سازی کانسار درخشانیه نسبت به کانسارهای معدن چاه موسی کمتر است. علاوه بر این، با استفاده از داده‌های به دست آمده از مطالعات دماسنجی و با استفاده از نمودار تعیین چگالی، چگالی سیال در محدوده کانسار درخشانیه در محدوده‌ی ۰/۹ تا ۱/۱ تغییر می‌کند (شکل ۱۰).

در سامانه گرمایی که رژیم فشار هیدروستاتیکی بر آن حاکم است و معمولاً با فرایند جوشش همراه هست، فشار بخار را می‌توان برای تخمین عمق به دام افتادگی سیالات درگیر بکار برد. این گونه سامانه‌ها

اندازه سیالات درگیر مطالعه شده در کانسار درخشانیه نسبت به سیالات درگیر کانسار چاه موسی کوچکتر است و در دامنه ۵ تا ۱۲ میکرون قرار می‌گیرند (شکل ۹a). از کانسار درخشانیه، ۴۰ سیال درگیر برای ریزدماسنجی سرمایش و گرمایش انتخاب و مورد مطالعه قرار گرفتند. داده‌های حاصل از این بررسی در نمودار فراوانی شکل ۹ ترسیم شده است. توزیع داده‌های ریزدماسنجی کانسار درخشانیه نشان - دهنده دو جمعیت داده (A و B) از نقطه نظر دمای یکنواخت شدگی و شوری در این کانسار است. جمعیت اول، از دامنه‌ی شوری ۶ تا ۷،۲۵ درصد وزن معادل نمک طعام برخوردار است. دامنه شوری جمعیت دوم از ۷/۷۵ تا ۱۴ درصد وزنی معادل نمک طعام در تغییر است (شکل ۹c).

سیالات درگیر محاسبه گردید. بر همین اساس، فشار حاکم بر سامانه سیال کانه‌ساز در کانسار درخشانیه در محدوده ۵ تا ۴۰ بار محاسبه شد، رابطه دمای همگن‌شدگی و فشار برای کانسار درخشانیه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، به نظر می‌رسد در محدوده‌ی کانسار درخشانیه، عمدتاً یک سامانه محلول از نوع  $H_2O-NaCl-KCl$  فعال بوده است که غلظت  $NaCl$  نسبت به  $KCl$  بیشتر بوده است. این داده‌ها نیز حاکی از نقش کمپلکس‌های کلریدی در نقل و انتقال یون‌های فلزی است.

معمولاً به سطح ارتباط دارند و در موقعیت حدود ۳ کیلومتر بالایی پوسته قرار می‌گیرند (kant et al., 2011; Wilkinson, 2000). با توجه به حضور سیالات درگیر غنی از مایع، غنی از بخار، سیالات درگیر دو فازی با درجه پرتشدگی متفاوت و همچنین، همگن‌شدگی معدودی از سیالات درگیر به حالت گاز، نشان دهنده رخداد فرایند جوشش در منطقه مورد مطالعه است. در این مطالعه با استفاده داده‌های نقطه جوشش (دمای همگن‌شدگی، برای سامانه‌های با فشار هیدروستاتیکی غالب) و بر اساس Haas (۱۹۷۱)، ابتدا عمق به دام افتادگی میانبراهای سیال محاسبه و سپس بر مبنای معادله  $P = H\rho g$  فشار بدام افتادگی



شکل ۹- نمودارهای فراوانی داده‌های ریزدماسنجی کانسار درخشانیه؛ (a) نمودار فراوانی اندازه سیالات درگیر مطالعه شده، (b) نمودار فراوانی دمای نهایی ذوب یخ، (c) نمودار فراوانی شوری و (d) نمودار فراوانی دماهای همگن‌شدگی.

Fig. 9. Frequency diagrams of microthermometric data from Derakhshanieh deposit; (a) Frequency diagram of the size of the studied fluid inclusions, (b) Frequency diagram of  $T_{m_{ice}}$ , (c) Frequency diagram of salinity, and (d) Frequency diagram of homogenization temperatures.

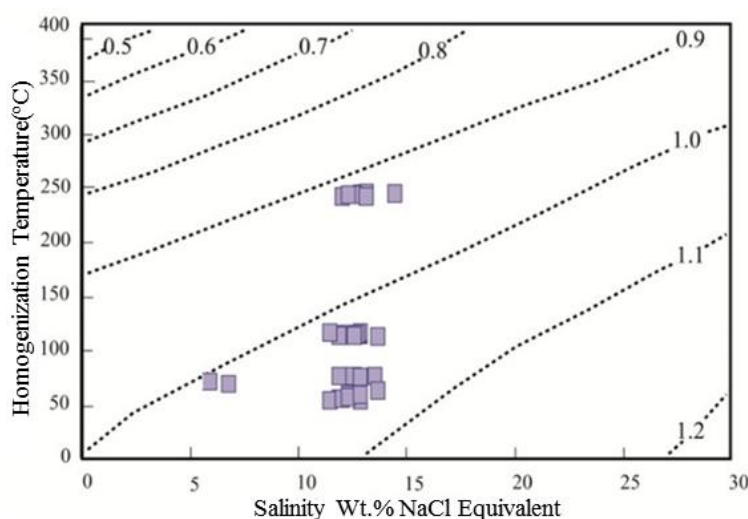
کلسیت از یک توزیع تصادفی برخوردار هستند. علاوه بر این، بر اساس بررسی‌های ریخت‌شناسی، سیالات درگیر این کانسار عمدتاً دارای اشکال مثلثی، بیضوی، کروی و نامنظم هستند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، سیالات درگیر کانسار قله‌سوخته نیز همانند دو کانسار قبلی، عمدتاً از نظر محتویات فازی به سه گروه شامل تک فازی غنی از مایع (L)، تک فازی غنی از گاز (V) و دو فازی مایع + بخار (L+V) قابل تقسیم هستند. حضور این نوع از سیالات درگیر بصورت مجموعه و

#### مطالعه سیالات درگیر کانسار قله‌سوخته

منطقه قله‌سوخته در غرب منطقه مورد مطالعه واقع شده است و از کانسار چاه‌موسی نسبت به درخشانیه فاصله بسیار بیشتری دارد. با توجه غالب بودن کانی کلسیت به عنوان کانی باطله همزاد کانه‌زایی، در این منطقه کانی کلسیت برای مطالعات سیالات درگیر انتخاب شد. بر اساس مطالعات پتروگرافی، سیالات درگیر ثانویه و شبه ثانویه در امتداد ریزساختارها ایجاد شده‌اند، در حالیکه انواع اولیه معمولاً در کانی

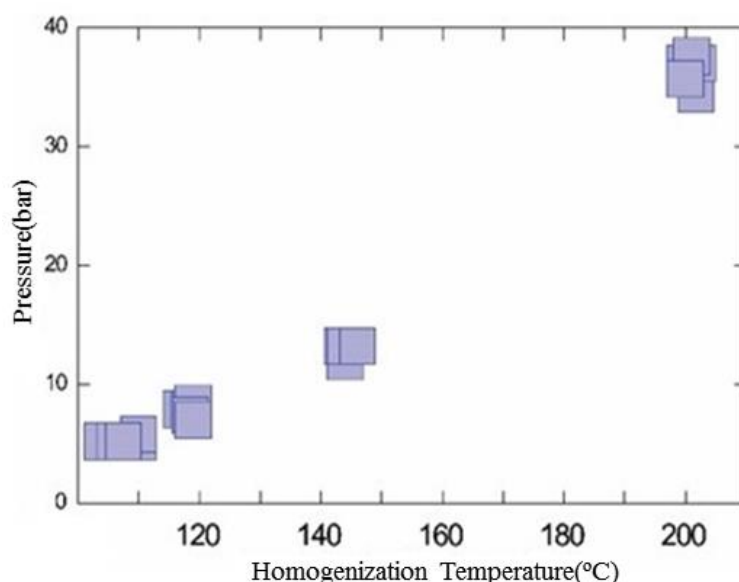
NaCl تغییر می‌کند (شکل ۱۳c). همانطور که در شکل ۱۳c مشاهده می‌شود، جمعیت با شوری بالاتر (B) از فراوانی بیشتری نسبت به جمعیت با شوری کم (A) برخوردار است. بر اساس عملیات گرمایش انجام شده بر روی سیالات درگیر کانی کلسیت کانسار قله‌سوخته، دامنه دمایی همگن‌شدگی از ۱۳۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد در تغییر است، که با توجه به توزیع فراوانی آنها در نمودار، دو جمعیت داده قابل تشخیص است. جمعیت اول از محدوده ۱۳۰ تا ۱۵۵ درجه سانتی‌گراد و برای جمعیت دوم دامنه‌ی ۱۵۵ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد معرفی می‌شود (شکل ۱۳d).

در کنار یکدیگر، خود می‌تواند نشانه‌ای از رخداد جوشش در زمان بدام افتادگی آنها باشد. اندازه سیالات درگیر کانسار قله‌سوخته نسبت به دو کانسار چاه‌موسی و درخشانیه کوچک‌تر است و اندازه آنها بین ۵ تا ۱۰ میکرون در تغییر است (شکل ۱۳a). از کانسار قله‌سوخته در حدود ۴۰ سیال درگیر انتخاب و مطالعات سرمایش و گرمایش بر روی آنها صورت گرفت. نتایج به دست آمده از داده‌های سرمایش این کانسار، دو دامنه دمایی را مشخص می‌کنند که یکی محدوده ۴- تا ۵- درجه سانتی‌گراد و دیگری دامنه‌ی ۵/۵- تا ۸- درجه سانتی‌گراد (شکل ۱۳b). شوری محاسبه شده در دامنه‌های ۶ تا ۸ و ۱۰/۵ تا ۱۱/۵ درصد وزنی معادل



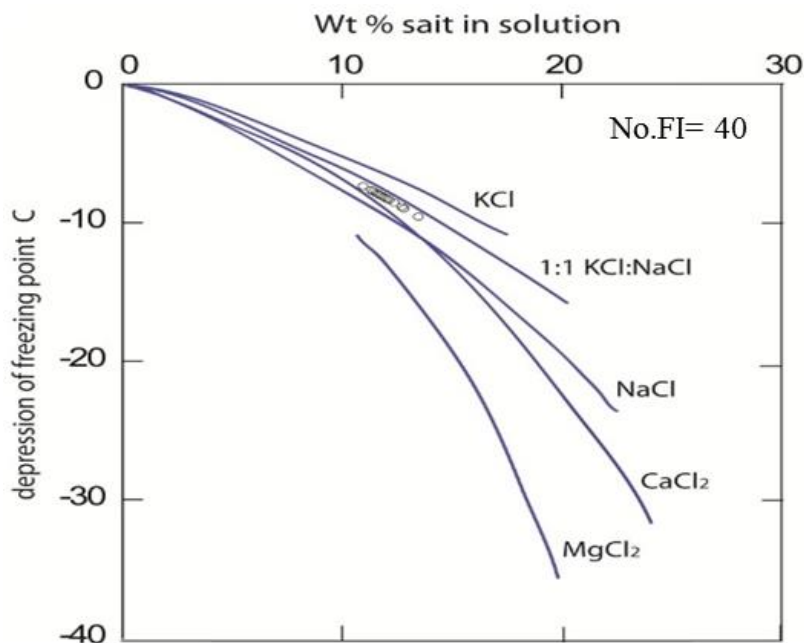
شکل ۱۰- چگالی محاسبه شده در کانسار درخشانیه بر مبنای داده‌های دمایی یکنواخت‌شدگی و شوری.

Fig. 10. Calculated density in Derakhshanieh deposit by homogenization temperature and salinity data.



شکل ۱۱- نمودار داده‌های فشار و دمایی همگن‌شدگی در کانسار درخشانیه، که نشان دهنده رابطه مستقیم و مثبت بین آنها می‌باشد.

Fig. 11. Chart of homogenization and pressure data at the Derakhshanieh deposit, showing the direct and positive relationship between them.



شکل ۱۲- نمودار شوری و نقطه ذوب نهایی سیال همراه با منحنی نمک در کانسار درخشانیه. افت دمای ذوب آب خالص تابعی است از درصد وزنی نمک در محلول کلرید سدیم-کلرید پتاسیم - دی کلرید کلسیم و دی کلرید منیزیم.

Fig. 12. Salinity and the last melting point of the fluid diagram with the salt curve in the Derakhshanieh region. The drop temperature in pure water melting as a function of the weight percentage of salt in solution NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> and MgCl<sub>2</sub>.

al., 1985)، نشان می‌دهد که ترکیب سامانه محلول کانی‌ساز در کانسار قله‌سوخته به سمت نمک CaCl<sub>2</sub> گرایش دارد (شکل ۱۶). این موضوع ضمن آنکه گویای آن است که ناقل‌های اصلی یون‌های فلزی از نوع کمپلکس‌های کلریدی بوده‌اند، که فراوانی رگچه‌های کلسیت در این کانسار نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

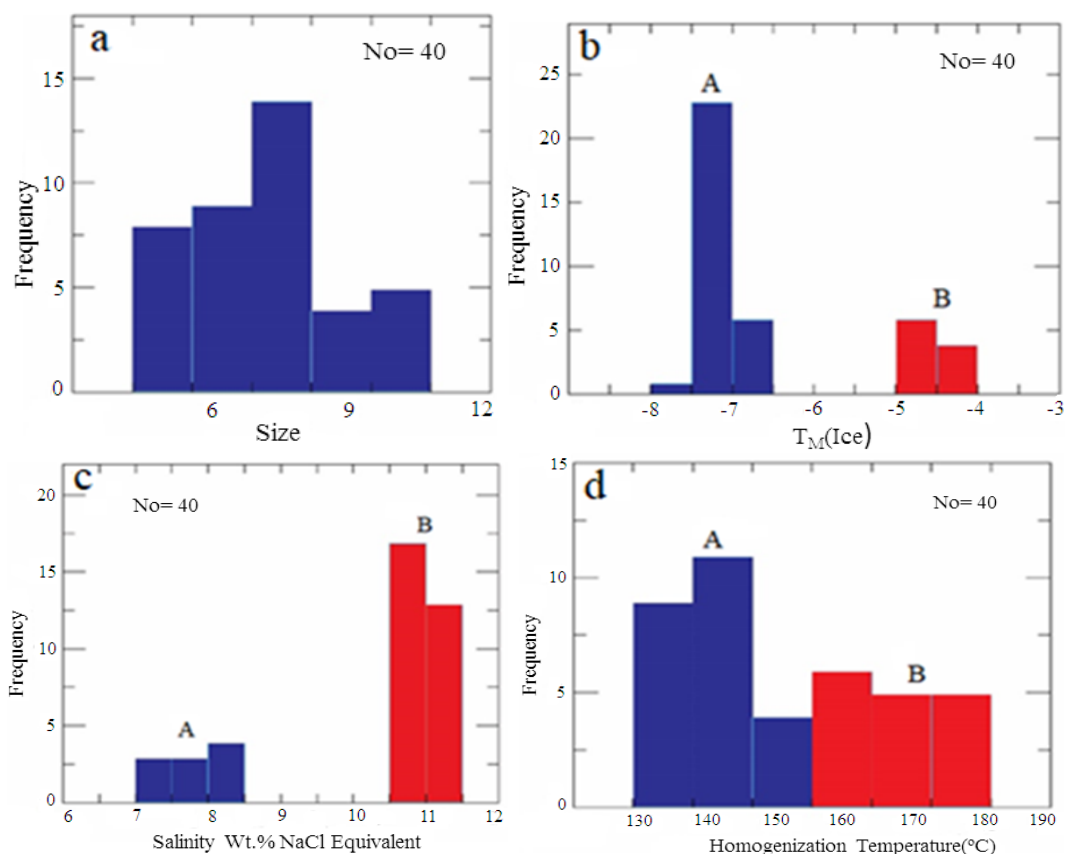
### نتیجه‌گیری

با توجه به داده‌های دمای همگن‌شدگی (Th) و شوری سیالات درگیر بدست آمده از سه کانسار چاه‌موسی، درخشانیه و قله‌سوخته که به ترتیب عبارتند از ۱۰۰ تا ۴۵۷، ۱۰۴ تا ۲۰۲ و ۱۳۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳ تا ۲۶، ۷/۸ تا ۱۴ و ۶ تا ۱۱/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام و ترسیم این داده‌ها در نمودار دمای همگن‌شدگی در مقابل شوری (Wilkinson, 2001). می‌توان گفت که این داده‌ها عمدتاً با یک شرایط کانه‌زایی گرمایی از نوع سطح دمایی (اپی‌ترمال) تطبیق دارند (شکل ۱۷). هر چند بر مبنای توزیع داده‌ها در نمودار فوق، برخی از داده‌های کانسار چاه‌موسی به محدوده کانسارهای پورفیری گرایش پیدا کرده‌اند، اما تا این مرحله از مطالعات، شواهد کافی از کانی‌سازی پورفیری در این منطقه بدست نیامده است.

بر اساس شوری و دمای همگن‌شدگی بدست آمده برای سیالات درگیر کانسار قله‌سوخته و ترسیم آنها در نمودار با خطوط هم‌چگال، مشخص می‌شود که چگالی سیال این کانسار از ۰/۹ تا ۱ گرم بر سانتیمتر مکعب تغییر می‌کند (شکل ۱۴).

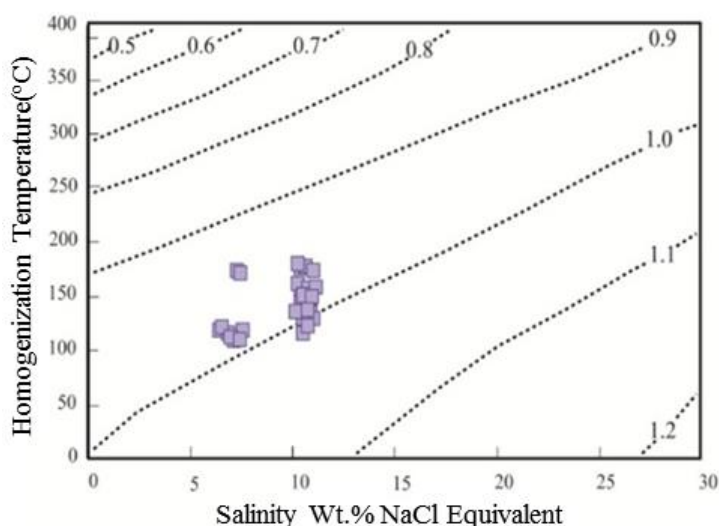
ترسیم داده‌های حاصل از آخرین دمای ذوب تکه‌های یخ در مقابل شوری سیالات درگیر، نشان می‌دهد بین این دو رابطه مستقیم وجود دارد (شکل ۱۵a). بررسی‌ها نشان می‌دهد، بین اندازه سیال درگیر و دمای همگن‌شدگی رابطه مستقیم برقرار است، به طوری که سیالات درگیری که اندازه‌های بیشتری دارند، از درجه یکنواخت‌شدگی بالاتری نیز برخوردار هستند (شکل ۱۵b). برای این کانسار نیز با استفاده از دمای همگن‌شدگی و بهره‌گیری از نمودار منحنی نقطه جوش (Shepherd et al., 1985; Hass, 1971) فشار حاکم بر سیال کانی‌ساز در منطقه کانسار قله‌سوخته، دو محدوده فشاری ۱۲ و ۲۴ بار بدست آمد (شکل ۱۵c) که رابطه مثبت و مستقیمی با دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر نشان می‌دهند. داده‌های ترسیم شده، نشان می‌دهند افزایش فشار منجر به افزایش دمای همگن‌شدگی نیز می‌شود (شکل ۱۵d). با ترسیم داده‌های شوری و سرمایه‌بند بدست آمده از مطالعات سیالات درگیر کانسار قله‌سوخته در نمودار افت دمای ذوب آب خالص به عنوان تابعی از درصد وزنی نمک در محلول (Shepherd et





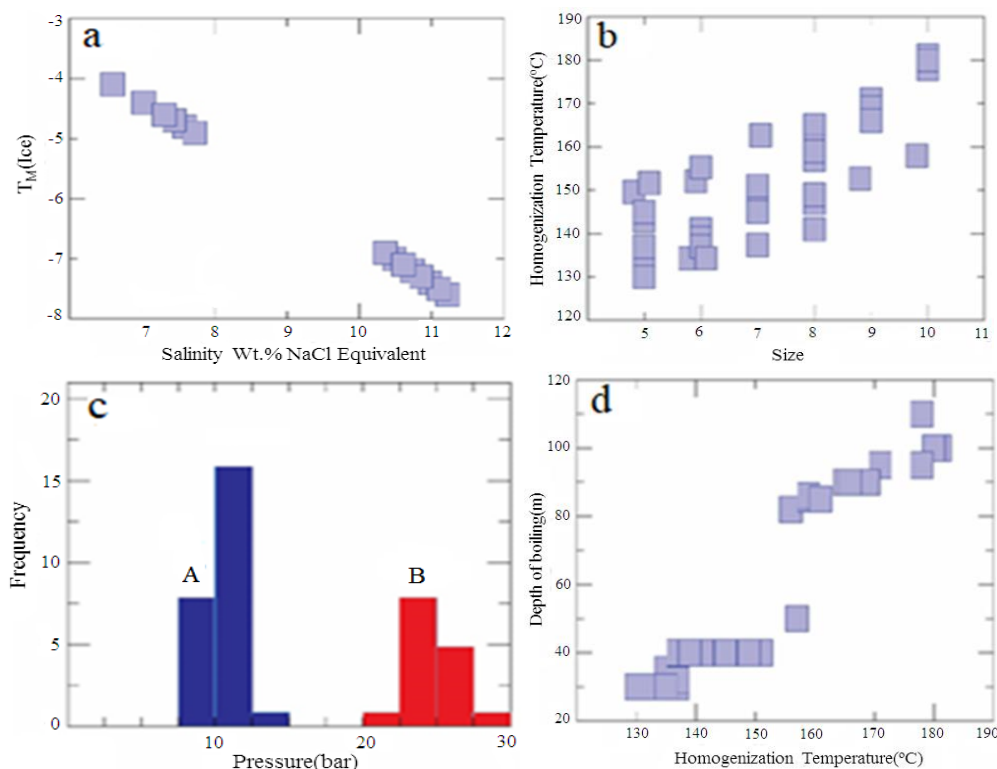
شکل ۱۳- نمودارهای فراوانی داده‌های ریزدماسنجی کانسار قله‌سوخته؛ (a) نمودار فراوانی اندازه سیالات درگیر مطالعه شده، (b) نمودار فراوانی دمای نهایی ذوب یخ، (c) نمودار فراوانی شوری و (d) نمودار فراوانی دماهای همگن‌شدگی.

Fig. 13. Frequency diagrams of microthermometric data from Qoleh Sookhteh deposit; (a) Frequency of the size of the studied fluid inclusions, (b) Frequency diagrams of  $T_{m(ice)}$ , (c) Frequency diagram of salinity, and (d) Frequency diagram of homogenization temperature.



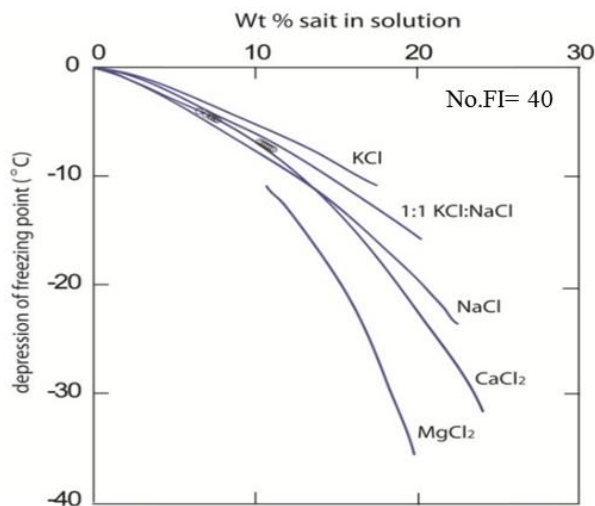
شکل ۱۴- چگالی محاسبه شده در کانسار قله‌سوخته بر مبنای داده‌های دمای یکنواخت‌شدگی و شوری.

Fig. 14. Calculated density in Qoleh Sookhteh deposit by homogenization temperature and salinity data.



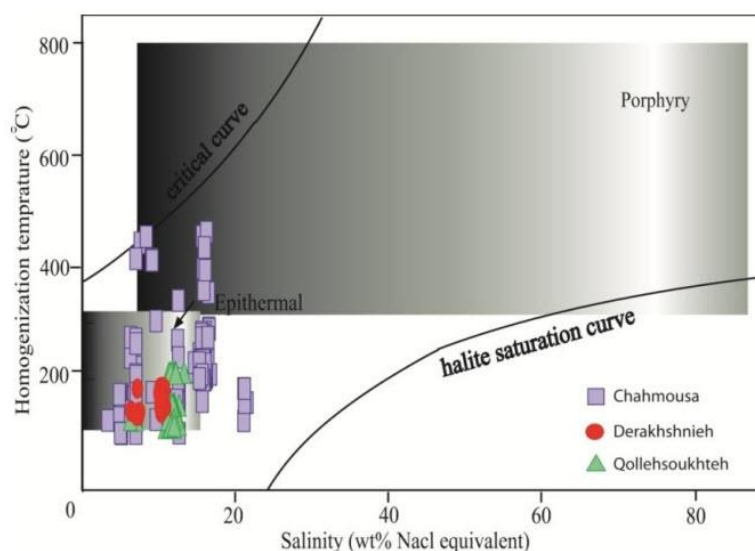
شکل ۱۵- (a) نمودار شوری در مقابل دمای ذوب نهایی یخ کانسار قله سوخته، (b) نمودار دمای همگن‌شدگی در مقابل اندازه سیالات درگیر نمونه‌های کانسار قله سوخته، (c) نمودار هیستوگرام فشار در زمان تشکیل و (d) نمودار داده‌های دمای همگن‌شدگی و فشار که حاکی از رابطه مستقیم و مثبت بین آنها است.

Fig. 15. (a) Salinity vs.  $T_{m_{ice}}$  diagram of the Qoleh Sookhteh deposit, (b) Homogenization temperature vs. size diagram for samples from the Qoleh Sookhteh deposit, (c) Histogram diagram of pressure in formation time, and (d) Chart of homogenization temperature and pressure data showing the direct and positive relationship between them.



شکل ۱۶- نمودار شوری و نقطه ذوب نهایی سیال همراه با منحنی نمک در کانسار قله سوخته. افت دمای ذوب آب خالص تابعی است از درصد وزنی نمک در محلول کلرید سدیم-کلرید پتاسیم - دی کلرید کلسیم و دی کلرید منیزیم.

Fig. 16. Salinity and the last melting point of the fluid diagram with the salt curve in the Qoleh Sookhteh region. The temperature dropping in pure water melting as a function of the weight percentage of salt in solution NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, and MgCl<sub>2</sub>.



شکل ۱۷- نمودار دمای همگن‌شدگی در مقابل شوری که محدوده‌های شاخص برای سیالات درگیر از انواع مختلف کانسارها را نشان می‌دهد.  
 Fig. 18. Th vs. salinity diagram illustrating typical ranges for fluid inclusions from different deposit types (Wilkinson, 2001).

و این سامانه در زمان کانی‌سازی، تا عمقی در حدود ۱۰۰ متری زیر سطح زمین استقرار یافته است.

### قدردانی

نویسندگان مقاله، بر خود لازم می‌دانند که از مدیریت محترم شرکت میدکو به خاطر مساعدت اقامت در کمپ معدن، جهت مطالعات صحرایی و انجام نمونه‌برداری سپاسگزاری نمایند. همچنین لازم است از حمایت‌های مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه دامغان از انجام آنالیزها و مطالعات آزمایشگاهی این پیشنهاد، تقدیر و تشکر شود.

به طور خاص، می‌توان گفت، تحول سیالات کانه‌ساز در کانسارهای مورد مطالعه، عمدتاً تحت تاثیر فرایندهای سردشدگی، جوشش و اختلاط با آب‌های جوی صورت گرفته است. با توجه به استنباط دو سامانه محلول مداخله کننده ( $H_2O-NaCl-KCl$  و  $H_2O-CaCl_2-MgCl_2$ )، در کانی‌سازی کانسارهای مورد نظر، نقش کمپلکس‌های کلریدی در انتقال یون‌های فلزی در سیالات کانی‌ساز، غیر قابل انکار است. بر مبنای دامنه‌های فشاری محاسبه شده از داده‌های سیالات درگیر برای کانسارهای چاه‌موسی، درخشانیه و قله‌سوخته، می‌توان گفت که رژیم فشاری حاکم بر محیط کانه‌زایی این مناطق از نوع هیدروستاتیکی بوده

### منابع

- Bodnar, R.J., Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for  $H_2O-NaCl$  fluid inclusions. In Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications, B. De Vivo and M L. Frezzotti, eds., Blacksburg, pp 117-130.
- Borisenko, A.S., 1977. Study of the salt composition of solutions in gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Geology and Geophysics* 18, 11-19.
- Crawford, M.L., 1981. Fluid inclusions in metamorphic rocks low and medium grade, application to Petrology. *Mineralogical Association of Canada* 1, 157-181.
- Eshraghi, S.A., 2003. Geological map and geological report of 1: 100,000 Moalleman, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Fard, M., Rastad, E., Ghaderi, M., 2006. Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of central Iran and the role of rhyolitic intrusions. *Journal of Sciences* 17, 327-335.
- Haas, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology* 66, 940-946.
- Hajalilou, B., 2012. Final Report of Exploration in Ali Javad Area. Ministry of Industry, Mine and Trading, MehrAsl Company. (In Persian).
- Hassan-Nezhad, A.A., Moore, F., 2006. A stable isotope and fluid inclusion study of the Qaleh-Zari Cu-Au-Ag deposit, Khorasan province, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 27, 805-818.

- Hushmandzadeh, A.R., Alavi, M.N., Haghypour, A.A., 1978. Evolution of geological phenomenon in Toroud area (Precambrian to recent), Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Report H5.
- Imamjome, A., Rastad, E., Bouzari, F., Rashidnezhad, N., 2009. An introduction to individual disseminated veinlet and vein mineralization system of Cu (Pb-Zn) in the ChahMessi and GholeKaftaran mining district, eastern part of the Troud\_Chah Shirin magmatic arc. *Geosciences* 18, 112-125.
- Kant, W., Warmada, W., Idrus, A., Setijadji, L.D., Watanabe, K., 2012. Fluid inclusion study of the polymetallic epithermal quartz veins at Soripesa Prospect Area, Sumbawa island, Indonesia. *Journal of Applied Geology* 4, 77-89.
- Khalaj, M., 2012. Survey and relationship of copper ore in Chah Musa, Derakhshaniyeh and QolehSoukhteh areas with linear structures with respect to the parameters of geochemical, alteration and fluid inclusions in the south of Damghan, M.Sc Thesis, Damghan University, Iran.
- Mehrabi, B., Ghasemi, M.S., Tale, E.F., 2014. Comparative of polymetallic epithermal mineralization in Cheshmeh Hafez and Chalo ore deposits, Troud\_ChahShirin zone, Semnan Province. *Geosciences* 24, 105-118.
- Mehrabi, B., Ghasemi, S.M., Tale, F.E., 2015. Structural control on epithermal mineralization in the Troud-Chah Shirin belt using point pattern and Fry analyses, north of Iran. *Geotectonics* 49, 320-331.
- Nabavi, M.H., 1976. A Preface to Iran's Geology. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, p. 109.
- Rashidnezhad, N., 1992. The Au (Cu) Baghu mineralization: Petrological and magmatic evolution relationship, M.Sc Thesis, University of Kharazmi, Iran.
- Roedder, E., 1958. Technique for the extraction and partial chemical analysis of fluid-filled inclusions from minerals. *Economic Geology* 53, 235-269.
- Roedder, E., 1984. Fluid Inclusions. In: Ribhe, P.H., Ed., *Reviews in Mineralogy* 12, Mineralogical Society of America, Washington DC.
- Roedder, E., 1992. Fluid Inclusion Evidence for Immiscibility in Magmatic Differentiation. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 56, 5-20.
- Shamanian, G.H., Hedenquist, J.W., Hattori, K.H., Hassanzadeh, J., 2004. The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, northern Iran. *Economic Geology* 99, 691-712.
- Shepherd, T.J., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies, Glasgow and London Distributed in the USA by Chapman and Hall New York.
- Tajeddin, H., 1999. Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Darestan gold occurrences, south of Damghan, M.Sc Thesis, Tarbiat Moddares University, Iran.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos* 55, 1-4.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid Inclusions in Hydrothermal Ore Deposits. *Lithos* 55, 229-272.
- Zarasvandi, A., Zaheri, N., Pourkaseb, H., Chrachi, A., Bagheri, H., 2014. Geochemistry and fluid-inclusion micro thermometry of the Farsesh barite deposit, Iran. *Geologos* 20, 201-214.