

Original Research Paper

The occurrence of boiling process based on mineralogical, textural and fluid inclusion evidences in epithermal deposits: a case study of Chah-Morad deposit, Sistan and Baluchistan, Iran

Leila Amini¹ and Mohammad Maanijou^{1*}

¹Department of Geology, Faculty of Basic Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022 December 28

Accepted: 2023 July 21

Available online: 2023 December 22

Keywords:

Boiling

Fluid inclusion

Adularia

Epithermal

Chah-Morad

ABSTRACT

One of the common processes that lead to the formation and enrichment of precious metal deposits is boiling. The existence of a spatial relation between fluid boiling and deposition of precious metals is a valuable tool in exploration of epithermal deposits. Therefore, investigating of the process occurrence in epithermal deposits will be able to predict the continuation of exploration trend. Chah-Morad epithermal gold deposit is located in 75 km northwest of Bazman in the Sistan and Baluchistan Province and in the Makran-Chagai Magmatic Arc southeast of Iran. The mineralization in the Chah-Morad deposit occurred in 3 stages and in quartz veins that exist between the altered argillic alteration zone and dacite and rhyodacite sub-volcanic rocks. Textural mineralogical and fluid inclusions studies indicate the occurrence of the boiling process in this deposit. The most important kinds of evidence for the occurrence of this process are: a) the presence of adularia, b) platy calcite texture, c) breccia, crustiform-colloform textures, d) different liquid-vapor ratios of fluid inclusions, e) the increase in the salinity of fluid inclusions with the decrease in homogenization temperatures, f) the coexistence of fluid inclusions with different salinities and g) co-existing liquid single-phase fluid inclusions with vapor single-phase fluid inclusions. Therefore, the existence of boiling is confirmed in the Chah-Morad deposit.

1. Introduction

The rapid separation of a vapor phase due to an increase in temperature or a decrease in pressure is called “boiling”. The boiling process leads to the formation of vein deposits and

the enrichment of precious metals. The investigation of fluid inclusions and mineralogical and textural studies make it possible to understand the occurrence of the boiling process.

* Corresponding author: Mohammad Maanijou; E-mail: mohammad@basu.ac.ir

Citation:

Amini, L., and Maanijou, M., 2023. The occurrence of boiling process based on mineralogical, textural and fluid inclusion evidences in epithermal deposits: a case study of Chah-Morad deposit, Sistan and Baluchistan, Iran. Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(4), 130, 1-20. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378554.2046>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2023.378554.2046

 dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.1.4



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

The importance of this issue is that the spatial relationships between boiling and precious metal mineralization will provide a potentially valuable tool in the exploration for epithermal precious metal deposits.

The Chah-Morad deposit is located in 75 km northwest of Bazman, in the Makran-Chegai magmatic arc southeast of Iran (Fig. 1). The tectonic history and hydrothermal activities governing this deposit during geological time have caused the formation of many cracks and faults. As a result, mineralized siliceous veins formed hydrothermal bands (Fig. 2) that are hosted by altered dacite.

Due to importance of precious metals, the purpose of this article is to investigate the occurrence of boiling by studying the properties of fluid inclusions and doing textural and mineralogical studies in the Chah-Morad epithermal gold deposit. Geologists and mining engineers can use it to estimate correctly the continuation of their exploration activities in this deposit and similar deposits.

2. Research methodology

To achieve the goals of this research, 102 samples were collected from 8 exploratory boreholes and 23 field samples from different parts of the Chah-Morad epithermal gold deposit. In order to do textural and mineralogical studies, 45 polished thin sections were prepared and studied by using a polarizing microscope. On the basis of detailed observations in hand samples as well as microscopic studies of polished thin section samples, three generations of quartz were identified. Since mineralization has occurred in these three generations of quartz, some samples were selected and analyzed along with sphalerite mineral samples to investigate the characteristics of the fluid inclusion.

3. Results and Discussions

The epithermal deposits show features that directly or indirectly reveal the occurrence of the hydrothermal fluid boiling process. In this research, the occurrence of first boiling in the epithermal gold deposit of the Chah-Morad was investigated by studying the textural and mineralogical evidences as well as the studies of the fluid inclusions. The breccia structure in the Chah-Morad deposit (Fig. 3-A) is one of the most important common structures that is usually accepted as evidence of the boiling event. Crusty texture

in the Chah-Morad deposit is one of the other investigated textures that can be observed both in hand samples (Fig. 3-B) and in microscopic samples (Figs. 3-E, F). These textures exist because of rapid and periodic fluctuations in temperature, pressure, or fluid conditions. It is formed during boiling. Lattice calcite is another structure observed in the Chah-Morad deposit (Fig. 3-C). Many researchers have described the close relationship between the presence of bladed calcite and the occurrence of the boiling process in geothermal systems and have attributed this morphology to the rapid growth of calcite. Colloform texture is another texture observed in the Chah-Morad deposit (Fig. 3-D). Colloform texture occurs where the boiling and vapor loss of an ascending fluid is accompanied by sudden cooling that results in saturation of colloidal amorphous silica that is locally precipitated as a banded gel (Fig. 4).

Adularia (Fig. 3-G) and illite in the samples of the Chah-Morad deposit indicate the existence of an almost neutral condition. The cause of adularia deposition is the release of CO₂ during boiling, which increases the pH of the solution. As a result, the range of illite dissolution to adularia and its deposition are changed. Therefore, the presence of adularia is strong evidence of the boiling process (Fig. 5).

Investigations on fluid inclusions samples in the Chah-Morad deposit show the presence of fluid inclusions with different proportions of liquid and gas, or in other words, the coexistence of fluid inclusions rich in liquid with fluid inclusions rich in gas (Figs. 6 and 7) and the presence of boiling.

The increasing trend of fluid salinity with a decrease in homogenization temperature in the fluid inclusions was observed by examining the Wilkinson (2001) diagram in the samples of the Chah-Morad deposit, and this trend indicates the occurrence of boiling in this deposit.

Fluid inclusions with different salinities are evidences of the boiling of hydrothermal fluids and can be seen by examining the samples of the Chah-Morad deposit (Fig. 10).

4. Conclusion

In modern geothermal systems, after boiling begins at depth, this process in most places continues to the surface. Furthermore, the best gold grades occur at the base of the boiling zone where the upwardly migrating fluids begin to

boil. Therefore, the good evidence of boiling in shallow samples indicates that the base of the boiling zone and

suggests where precious metal mineralization is most likely to occur.

بررسی رخداد فرایند جوشش بر مبنای شواهد کانی‌شناسی، بافتی و میانبارهای سیال در کانسارهای اپی‌ترمال: مطالعه موردی کانسار چاه‌مراد، سیستان و بلوچستان، ایران

لیلا امینی^۱ و محمد معانی‌جو^{*}^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

جوشش یکی از فرایندهای متداول است که به تشکیل ذخایر رگه‌ای و غنی‌شدگی فلزات گرانبه‌ها می‌انجامد. وجود رابطه مکانی بین جوشش و نهشت فلزات گرانبه‌ها ابزاری ارزشمند در اکتشاف ذخایر اپی‌ترمال به‌شمار می‌رود. بنابراین بررسی رخداد این فرایند در کانسارهای اپی‌ترمال می‌تواند تخمین درستی از ادامه روند اکتشافی پیش‌رو قرار دهد. کانسار طلای اپی‌ترمال چاه‌مراد در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال باختر شهرستان بزمان، استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. از نظر جایگاه زمین‌شناختی، این کانسار در محدوده کمان ماگمایی مکران-چاگای در جنوب‌خاور ایران قرار گرفته است. کانه‌زایی طلا در کانسار چاه‌مراد در ۳ مرحله و به صورت رگه‌های سیلیسی در حدفاصل پهنه دگرسانی آرژلیک با سنگ میزبان داسیت و ریوداسیت رخ داده است. بررسی‌های بافتی، کانی‌شناسی و مطالعات میانبارهای سیال نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش در این کانسار است. از جمله مهم‌ترین شواهد رخداد این فرایند، می‌توان به حضور الف (آدولاریا، ب) کلسیت با بافت تیغه‌ای، (پ) بافت‌های برشی، کلوفرمی، قشری، (ت) وجود میانبارهایی با نسبت متفاوت مایع و بخار، (ث) افزایش شوری سیال با کاهش دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال، (ج) وجود میانبارهای سیال با شوری‌های متفاوت، (چ) همیافتی میانبارهای تک‌فازی سیال همراه با تک‌فازی بخار اشاره داشت. بنابراین، وجود رخداد جوشش، در کانسار چاه‌مراد تایید می‌گردد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

کلیدواژه‌ها:

جوشش

میانبارهای سیال

آدولاریا

اپی‌ترمال

چاه‌مراد

۱- پیش‌نوشتار

بخش‌های بالایی (۱ تا ۲ کیلومتر) سیستم‌های گرمایی فعال تحت تاثیر فرایند جوشش سیال‌های گرم بالارونده قرار می‌گیرند. به روند جدایش سریع یک فاز گازی به دلیل افزایش دما یا کاهش فشار «جوشش» می‌گویند (Roedder, 1984; Henley and Brown, 1985). جوشش فرایند اصلی کنترل‌کننده عوامل شیمیایی کلیدی همانند pH، ترکیب سیال و حلالیت مواد معدنی برای نهشت آن‌ها است (Koděra et al., 2014). جوشش و اختلاط دو فرایند متداول هستند که به تشکیل ذخایر رگه‌ای و غنی‌شدگی فلزات گرانبه‌ها همچون نهشته‌های طلا-نقره اپی‌ترمال می‌انجامد (Cole and Drummond, 1986; Scott and Watanabe, 1998; Henley and Ellis, 1983).

در بیشتر فرایندهای زمین‌شناسی، از مقیاس مولکولی واکنش سیال-سنگ تا مقیاس زمین‌ساخت جهانی، سیال‌های گرمایی نقش مهمی بازی می‌کنند. از آنجا که در فرایندهای زمین‌شناسی متفاوت میانبارهای سیال به دام افتاده در کانی‌ها نمونه‌های واقعی سیال‌های گرمایی قدیمی هستند، از این رو، می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد

محیط‌ها و فرایندهای زمین‌شناسی، که در آن مواد معدنی شکل گرفته‌اند، به ویژه ترکیب شیمیایی، دما و فشار سیالات را ارائه دهند (Sorby, 1858). در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی توسط پژوهشگران مختلف بر روی سامانه‌های زمین‌گرمایی فعال در کانسارهای اپی‌ترمال مختلف (Dong et al., 2018; Wang et al., 2019; Rinne et al., 2018; Zamanian et al., 2020؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۹؛ صالحی یزدی و همکاران، ۱۴۰۱؛ رحمانی، ۱۳۹۷) به ویژه بر روی میانبارهای سیال آن‌ها انجام شده است (Esmaili et al., 2015؛ فاضلی، ۱۳۹۷)، چرا که خواص سیال موجود در این سامانه‌ها، ارتباط نزدیک بین جوشش و کانی‌سازی را در محیط‌های اپی‌ترمال نشان داده است و با مطالعه این سیال‌ها در نمونه‌های کانه‌دار حاوی شواهد بافتی و کانی‌شناسی جوشش، می‌توان شرایط فیزیکی شیمیایی سیال کانه‌ساز در حال جوشش را تخمین زد (Hedenquist et al., 2004; Sillitoe and Hedenquist, 2003; Scott et al., 2014). جوشش به دو نوع اولیه و ثانویه تقسیم می‌شود. جوشش اولیه که موضوع مورد بررسی در این نوشتار است، در سیستم‌های ماگمایی رایج بوده و

^{*} نویسنده مسئول: محمد معانی‌جو؛ E-mail: mohammad@basu.ac.ir

ماخذنگاری:

امینی، ل. و معانی‌جو، م. ۱۴۰۲، بررسی رخداد فرایند جوشش بر مبنای شواهد کانی‌شناسی، بافتی و میانبارهای سیال در کانسارهای اپی‌ترمال: مطالعه موردی کانسار چاه‌مراد، سیستان و بلوچستان، ایران. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳، (۴)، ۱۳۰، ۲۰۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2023.378554.2046>

doi: 10.22071/gsj.2023.378554.2046



dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.4.1.4

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

روند اکتشافی و ملاک‌های اکتشافی موثر توسط زمین‌شناسان و مهندسان معدن در این کانسار و کانسارهای با شرایط زمین‌شناسی مشابه ارائه داد.

۲- روش پژوهش

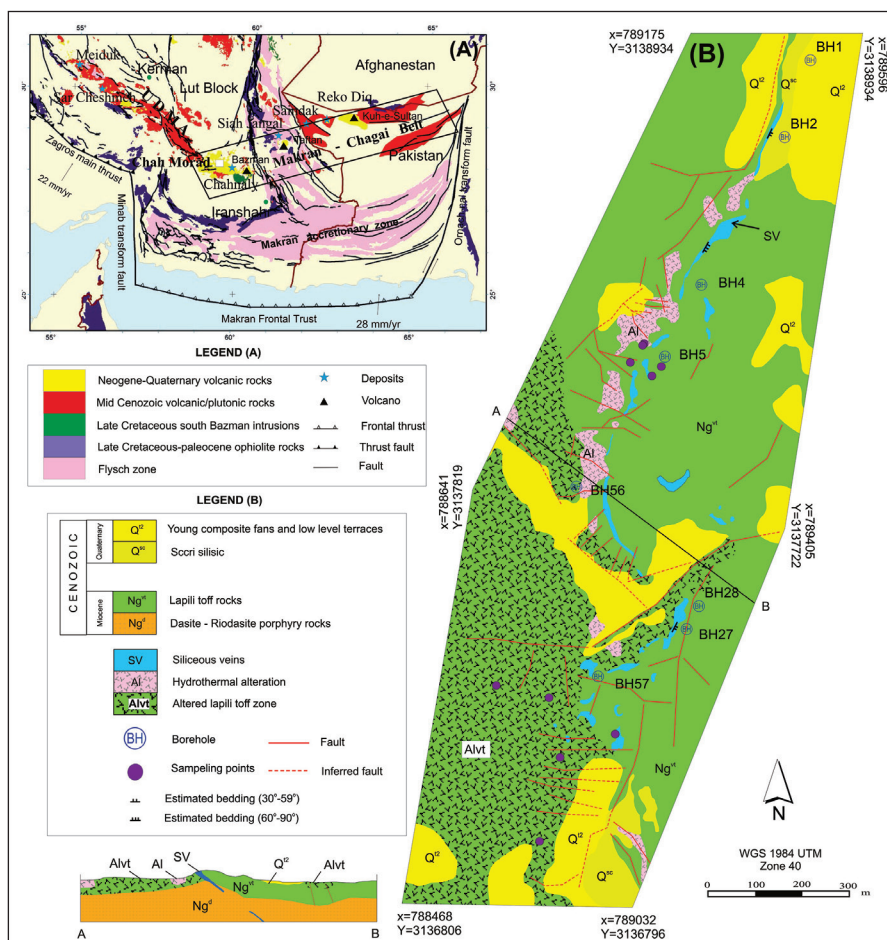
به منظور دستیابی به اهداف این نوشتار، ابتدا تعداد ۱۰۲ نمونه از ۸ گمانه اکتشافی برداشت شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و تعداد ۲۳ نمونه صحرایی از بخش‌های مختلف کانسار طلای اپی‌ترمال چاه‌مراد برداشت شد. موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. جهت انجام مطالعات بافتی و کانی‌شناسی، در مجموع ۴۵ مقطع نازک صیقلی در کارگاه تهیه مقطع سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه شد و در آزمایشگاه اداره کل زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کاسپین خاوری توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفتند. بر اساس مشاهدات دقیق در نمونه‌های دستی و همچنین مطالعات میکروسکوپی در نمونه‌های مقطع نازک صیقلی کانسار چاه‌مراد، سه نسل کوارتز تشخیص داده شد. از آنجا که کانی‌سازی در این سه نسل کوارتز رخ داده است (شکل‌های E-۲، F، G)، تعداد ۱۰ نمونه از آن‌ها به همراه نمونه‌هایی از کانی اسفالریت جهت بررسی ویژگی‌های میانبارهای سیال انتخاب شدند. در این بین، میانبارهای اولیه با اندازه بیش از ۵ میکرون مورد بررسی قرار گرفتند چرا که میانبارهای کوچک‌تر از ۴ میکرون فاقد ارزش دمایی هستند. مطالعات ریزدماسنجی (Microthermometry) با استفاده از دستگاه Linkam THMCG 600 که قادر به اندازه‌گیری محدوده دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد بوده و بهنجارسازی آن توسط C4H3CH3 در دمای ۹۵-°C و KNO₃ در دمای ۳۳۵°C صورت می‌پذیرد، در آزمایشگاه ریزدماسنجی دانشگاه تربیت مدرس مورد بررسی قرار گرفتند.

در اثر کاهش فشار در دما و ترکیب ثابت مذاب رخ می‌دهد، اما اگر خروج مواد فرار به صورت ایزوبار رخ دهد، سبب به وجود آمدن فرایند جوشش ثانویه خواهد شد (Candela, 1997).

کانسار طلای اپی‌ترمال چاه‌مراد با موقعیت جغرافیایی ۵۹° ۵۶' ۳۰" تا ۵۹° ۵۷' ۱۶" طول خاوری و ۲۸° ۲۰' ۴۳" تا ۲۸° ۱۹' ۳۰" عرض شمالی در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال باختری شهرستان بزمان، استان سیستان و بلوچستان واقع است. این کانسار از نظر جایگاه زمین‌شناسی، در محدوده کمان ماگمایی مکران-چاگای در جنوب خاور ایران قرار گرفته است. رخدادهای زمین‌ساختی-ماگمایی و فعالیت‌های گرمایی حاکم بر منطقه سبب به وجود آمدن ساختارهای گسلی متعدد و در نتیجه تشکیل رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار به شکل نواری، برش گرمایی با میزبان داسیت و ریوداسیت است. وجود رابطه مکانی بین جوشش و کانی‌سازی فلزات گرانبها، ابزار بالقوه ارزشمندی در اکتشاف ذخایر فلزات گرانبهای اپی‌ترمال به‌شمار می‌رود (Heald et al., 1987; Cooke and Simmons, 2000). شواهد مربوط به رخداد فرایند جوشش در رخنمون‌های سطحی گویای آن است که در موقعیت سیستم گرمایی، قاعده زون جوشش، در ژرفا قرار داشته و در صورت کانی‌سازی به احتمال زیاد، عیار بالایی از فلزات گرانبها را نشان خواهد داد. برعکس، در صورتی که رگه‌های کوارتز اپی‌ترمال موجود در سطح، نشانی دال بر وجود سیال‌های در حال جوش نداشته باشد، رخداد جوشش در ژرفای بیشتر در سامانه گرمایی بعد خواهد بود. از این رو، رگه کوارتز یاد شده، هدف مناسبی برای اکتشاف منظور نمی‌گردد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی رخداد جوشش توسط مطالعه ویژگی‌های سیال‌های به دام افتاده و مطالعات بافتی و کانی‌شناسی در کانسار طلای اپی‌ترمال چاه‌مراد است که با استفاده از شواهد به‌دست آمده، بتوان به تخمین درستی از ادامه

شکل ۱- کانسار طلای چاه‌مراد (A) موقعیت کانسار چاه‌مراد به صورت مربع سفید بر روی کمان ماگمایی مکران-چاگای در جنوب خاور ایران نشان داده شده است (Richards et al., 2012)؛ (B) نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار چاه‌مراد (امیدوار، ۱۴۰۰، با تغییرات).

Figure 1. Chah-Morad gold deposit A) The location of the Chah-Morad deposit on the Makran-Chagai Magmatic Arc in south-eastern Iran is shown with a white square (Richards et al., 2012); B) The Geological map of the Chah-Morad deposit on 1:1000 scale (Modified after Omidvar, 2022).



۳- داده‌ها و اطلاعات

۳-۱- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

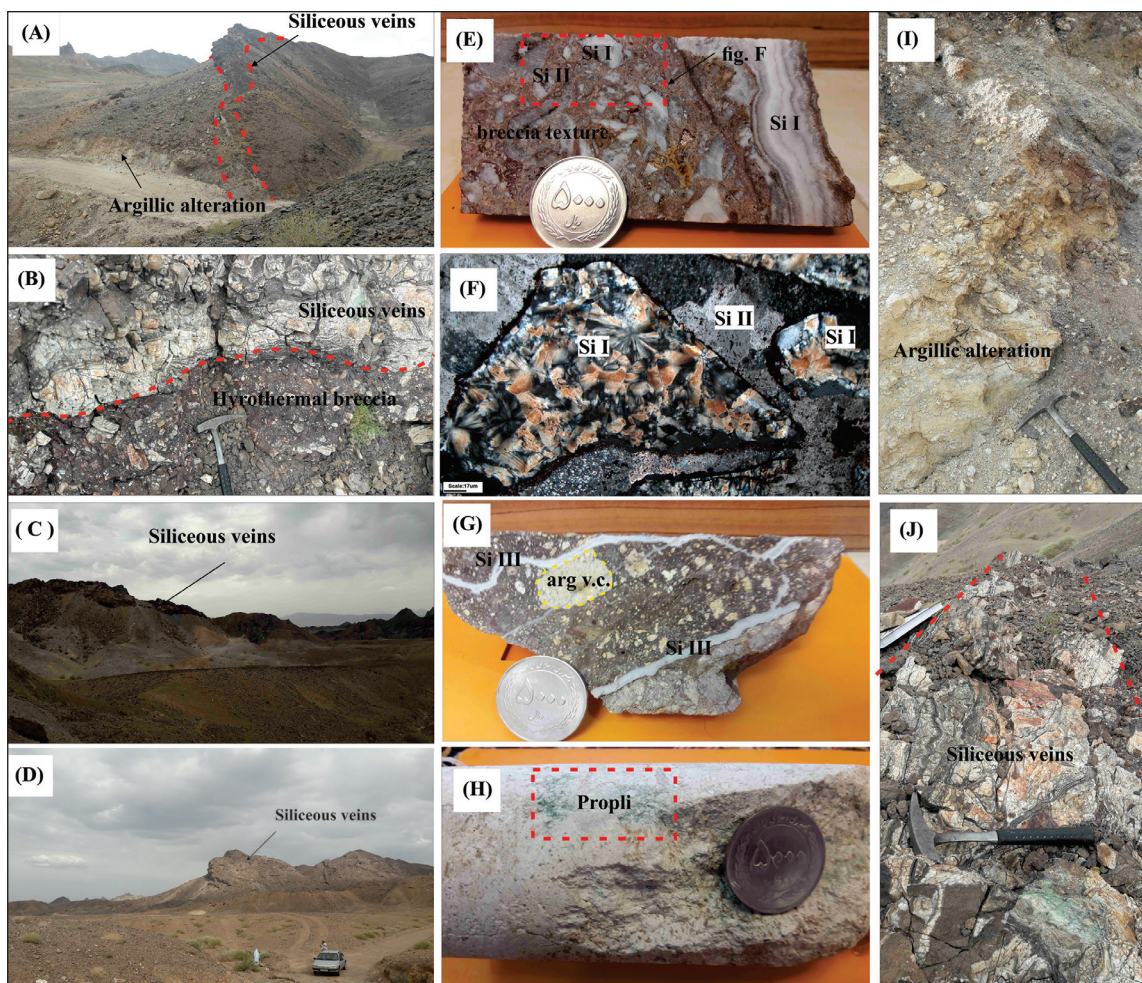
ایران زمین بخشی از کمربند کوهزایی آلپ هیمالیا می‌باشد که از بخش باختری اروپا شروع شده و پس از عبور از ترکیه، ایران، افغانستان تا نزدیکی اندونزی ادامه دارد (Sebere et al., 1997; Glennie, 2000). این کمربند در اثر باز و بسته شدن اقیانوس تیس جوان در محل برخورد دو بزرگ قاره اوراسیا و گندوانا به وجود آمده است (Berberian and King, 1981). در اثر فروانش تیس جوان به زیر ایران مرکزی به عنوان بخش جنوبی بزرگ قاره اوراسیا، پهنه دگرگونی سندج-سیرجان و کمان ماگمایی ارومیه - دختر پدید آمده‌اند (Agard et al., 2005; Aliani et al., 2012). همراه با بخش باختری کمان ماگمایی ارومیه - دختر، ناحیه مکران در نتیجه فروانش پوسته اقیانوسی عمان به زیر پوسته قاره‌ای جنوب خاوری ایران مرکزی به وجود آمده است که از ۱۰۰ میلیون سال پیش شروع و تاکنون ادامه دارد (Richards and Sholeh, 2016; Sholeh et al., 2016) و سبب به وجود آمدن آتش‌فشان‌هایی همچون بزمان و ایجاد کمان ماگمایی مکران-چاگای شده است (شکل ۱) (Biabangard and Moradian, 2008; Siddiqui et al., 2009).

کانسار طلای اپی‌ترمال چاه‌مراد از نظر زمین‌شناسی، در کمان ماگمایی مکران-چاگای به طول ۵۰۰ کیلومتر و عرض ۱۵۰ کیلومتر (Ghalamghash et al., 2018)؛ شیعیان و همکاران، ۱۳۹۴) قرار دارد (شکل ۱-۱). با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ کانسار چاه‌مراد (امیدوار، ۱۴۰۰)، واحدهای سنگی محدوده شامل داسیت تا ریوداسیت پورفیری با سن میوسن (Ng^d)، لاپیلی توف (Ng^v)، و نهشته‌های جوان کوآرتز (Q^{sc}) و (Q^{12}) است. واحدهای دگرسان شده (Al)، لاپیلی توف سیلیسی شده (Ng^{Alv}) و رگه‌های سیلیسی کانه‌دار (Sv) نیز در این محدوده رخنمون دارند (شکل ۱-۱). واحد داسیت تا ریوداسیت با بافت پورفیریک در منطقه رخنمون بسیار ناچیزی دارد و بیشتر در گمانه‌های حفاری بعد از ژرفای ۳۰ الی ۴۰ متری نمایان می‌شود. واحد خاکستری رنگ لاپیلی توف که نسبت به دیگر واحدها مرتفع‌تر بوده و دارای لایه‌بندی آذرآواری با شیبی به سمت باختر و روندی تقریبی شمالی-جنوبی است، در بخش خاور و شمال‌خاوری محدوده مورد بررسی رخنمون دارد. واحد لاپیلی توف سیلیسی شده در بخش جنوب‌باختری منطقه پروتزد دارد که دارای کانی‌های پلاژیوکلاز سالم یا به شدت تجزیه شده، درشت بلورهای کوآرتز، کانی‌های مافیک دگرسان‌شده و رگچه‌ها و حفرات سیلیسی فراوان است.

رگه سیلیسی کانه‌دار به شکل نواری، برش گرمایی و سیلیسی بی‌شکل (شکل‌های ۲-۱، ۲-۲، ۲-۳، ۲-۴، ۲-۵، ۲-۶، ۲-۷، ۲-۸، ۲-۹، ۲-۱۰، ۲-۱۱، ۲-۱۲، ۲-۱۳، ۲-۱۴، ۲-۱۵، ۲-۱۶، ۲-۱۷، ۲-۱۸، ۲-۱۹، ۲-۲۰، ۲-۲۱، ۲-۲۲، ۲-۲۳، ۲-۲۴، ۲-۲۵، ۲-۲۶، ۲-۲۷، ۲-۲۸، ۲-۲۹، ۲-۳۰، ۲-۳۱، ۲-۳۲، ۲-۳۳، ۲-۳۴، ۲-۳۵، ۲-۳۶، ۲-۳۷، ۲-۳۸، ۲-۳۹، ۲-۴۰، ۲-۴۱، ۲-۴۲، ۲-۴۳، ۲-۴۴، ۲-۴۵، ۲-۴۶، ۲-۴۷، ۲-۴۸، ۲-۴۹، ۲-۵۰، ۲-۵۱، ۲-۵۲، ۲-۵۳، ۲-۵۴، ۲-۵۵، ۲-۵۶، ۲-۵۷، ۲-۵۸، ۲-۵۹، ۲-۶۰، ۲-۶۱، ۲-۶۲، ۲-۶۳، ۲-۶۴، ۲-۶۵، ۲-۶۶، ۲-۶۷، ۲-۶۸، ۲-۶۹، ۲-۷۰، ۲-۷۱، ۲-۷۲، ۲-۷۳، ۲-۷۴، ۲-۷۵، ۲-۷۶، ۲-۷۷، ۲-۷۸، ۲-۷۹، ۲-۸۰، ۲-۸۱، ۲-۸۲، ۲-۸۳، ۲-۸۴، ۲-۸۵، ۲-۸۶، ۲-۸۷، ۲-۸۸، ۲-۸۹، ۲-۹۰، ۲-۹۱، ۲-۹۲، ۲-۹۳، ۲-۹۴، ۲-۹۵، ۲-۹۶، ۲-۹۷، ۲-۹۸، ۲-۹۹، ۲-۱۰۰، ۲-۱۰۱، ۲-۱۰۲، ۲-۱۰۳، ۲-۱۰۴، ۲-۱۰۵، ۲-۱۰۶، ۲-۱۰۷، ۲-۱۰۸، ۲-۱۰۹، ۲-۱۱۰، ۲-۱۱۱، ۲-۱۱۲، ۲-۱۱۳، ۲-۱۱۴، ۲-۱۱۵، ۲-۱۱۶، ۲-۱۱۷، ۲-۱۱۸، ۲-۱۱۹، ۲-۱۲۰، ۲-۱۲۱، ۲-۱۲۲، ۲-۱۲۳، ۲-۱۲۴، ۲-۱۲۵، ۲-۱۲۶، ۲-۱۲۷، ۲-۱۲۸، ۲-۱۲۹، ۲-۱۳۰، ۲-۱۳۱، ۲-۱۳۲، ۲-۱۳۳، ۲-۱۳۴، ۲-۱۳۵، ۲-۱۳۶، ۲-۱۳۷، ۲-۱۳۸، ۲-۱۳۹، ۲-۱۴۰، ۲-۱۴۱، ۲-۱۴۲، ۲-۱۴۳، ۲-۱۴۴، ۲-۱۴۵، ۲-۱۴۶، ۲-۱۴۷، ۲-۱۴۸، ۲-۱۴۹، ۲-۱۵۰، ۲-۱۵۱، ۲-۱۵۲، ۲-۱۵۳، ۲-۱۵۴، ۲-۱۵۵، ۲-۱۵۶، ۲-۱۵۷، ۲-۱۵۸، ۲-۱۵۹، ۲-۱۶۰، ۲-۱۶۱، ۲-۱۶۲، ۲-۱۶۳، ۲-۱۶۴، ۲-۱۶۵، ۲-۱۶۶، ۲-۱۶۷، ۲-۱۶۸، ۲-۱۶۹، ۲-۱۷۰، ۲-۱۷۱، ۲-۱۷۲، ۲-۱۷۳، ۲-۱۷۴، ۲-۱۷۵، ۲-۱۷۶، ۲-۱۷۷، ۲-۱۷۸، ۲-۱۷۹، ۲-۱۸۰، ۲-۱۸۱، ۲-۱۸۲، ۲-۱۸۳، ۲-۱۸۴، ۲-۱۸۵، ۲-۱۸۶، ۲-۱۸۷، ۲-۱۸۸، ۲-۱۸۹، ۲-۱۹۰، ۲-۱۹۱، ۲-۱۹۲، ۲-۱۹۳، ۲-۱۹۴، ۲-۱۹۵، ۲-۱۹۶، ۲-۱۹۷، ۲-۱۹۸، ۲-۱۹۹، ۲-۲۰۰، ۲-۲۰۱، ۲-۲۰۲، ۲-۲۰۳، ۲-۲۰۴، ۲-۲۰۵، ۲-۲۰۶، ۲-۲۰۷، ۲-۲۰۸، ۲-۲۰۹، ۲-۲۱۰، ۲-۲۱۱، ۲-۲۱۲، ۲-۲۱۳، ۲-۲۱۴، ۲-۲۱۵، ۲-۲۱۶، ۲-۲۱۷، ۲-۲۱۸، ۲-۲۱۹، ۲-۲۲۰، ۲-۲۲۱، ۲-۲۲۲، ۲-۲۲۳، ۲-۲۲۴، ۲-۲۲۵، ۲-۲۲۶، ۲-۲۲۷، ۲-۲۲۸، ۲-۲۲۹، ۲-۲۳۰، ۲-۲۳۱، ۲-۲۳۲، ۲-۲۳۳، ۲-۲۳۴، ۲-۲۳۵، ۲-۲۳۶، ۲-۲۳۷، ۲-۲۳۸، ۲-۲۳۹، ۲-۲۴۰، ۲-۲۴۱، ۲-۲۴۲، ۲-۲۴۳، ۲-۲۴۴، ۲-۲۴۵، ۲-۲۴۶، ۲-۲۴۷، ۲-۲۴۸، ۲-۲۴۹، ۲-۲۵۰، ۲-۲۵۱، ۲-۲۵۲، ۲-۲۵۳، ۲-۲۵۴، ۲-۲۵۵، ۲-۲۵۶، ۲-۲۵۷، ۲-۲۵۸، ۲-۲۵۹، ۲-۲۶۰، ۲-۲۶۱، ۲-۲۶۲، ۲-۲۶۳، ۲-۲۶۴، ۲-۲۶۵، ۲-۲۶۶، ۲-۲۶۷، ۲-۲۶۸، ۲-۲۶۹، ۲-۲۷۰، ۲-۲۷۱، ۲-۲۷۲، ۲-۲۷۳، ۲-۲۷۴، ۲-۲۷۵، ۲-۲۷۶، ۲-۲۷۷، ۲-۲۷۸، ۲-۲۷۹، ۲-۲۸۰، ۲-۲۸۱، ۲-۲۸۲، ۲-۲۸۳، ۲-۲۸۴، ۲-۲۸۵، ۲-۲۸۶، ۲-۲۸۷، ۲-۲۸۸، ۲-۲۸۹، ۲-۲۹۰، ۲-۲۹۱، ۲-۲۹۲، ۲-۲۹۳، ۲-۲۹۴، ۲-۲۹۵، ۲-۲۹۶، ۲-۲۹۷، ۲-۲۹۸، ۲-۲۹۹، ۲-۳۰۰، ۲-۳۰۱، ۲-۳۰۲، ۲-۳۰۳، ۲-۳۰۴، ۲-۳۰۵، ۲-۳۰۶، ۲-۳۰۷، ۲-۳۰۸، ۲-۳۰۹، ۲-۳۱۰، ۲-۳۱۱، ۲-۳۱۲، ۲-۳۱۳، ۲-۳۱۴، ۲-۳۱۵، ۲-۳۱۶، ۲-۳۱۷، ۲-۳۱۸، ۲-۳۱۹، ۲-۳۲۰، ۲-۳۲۱، ۲-۳۲۲، ۲-۳۲۳، ۲-۳۲۴، ۲-۳۲۵، ۲-۳۲۶، ۲-۳۲۷، ۲-۳۲۸، ۲-۳۲۹، ۲-۳۳۰، ۲-۳۳۱، ۲-۳۳۲، ۲-۳۳۳، ۲-۳۳۴، ۲-۳۳۵، ۲-۳۳۶، ۲-۳۳۷، ۲-۳۳۸، ۲-۳۳۹، ۲-۳۴۰، ۲-۳۴۱، ۲-۳۴۲، ۲-۳۴۳، ۲-۳۴۴، ۲-۳۴۵، ۲-۳۴۶، ۲-۳۴۷، ۲-۳۴۸، ۲-۳۴۹، ۲-۳۵۰، ۲-۳۵۱، ۲-۳۵۲، ۲-۳۵۳، ۲-۳۵۴، ۲-۳۵۵، ۲-۳۵۶، ۲-۳۵۷، ۲-۳۵۸، ۲-۳۵۹، ۲-۳۶۰، ۲-۳۶۱، ۲-۳۶۲، ۲-۳۶۳، ۲-۳۶۴، ۲-۳۶۵، ۲-۳۶۶، ۲-۳۶۷، ۲-۳۶۸، ۲-۳۶۹، ۲-۳۷۰، ۲-۳۷۱، ۲-۳۷۲، ۲-۳۷۳، ۲-۳۷۴، ۲-۳۷۵، ۲-۳۷۶، ۲-۳۷۷، ۲-۳۷۸، ۲-۳۷۹، ۲-۳۸۰، ۲-۳۸۱، ۲-۳۸۲، ۲-۳۸۳، ۲-۳۸۴، ۲-۳۸۵، ۲-۳۸۶، ۲-۳۸۷، ۲-۳۸۸، ۲-۳۸۹، ۲-۳۹۰، ۲-۳۹۱، ۲-۳۹۲، ۲-۳۹۳، ۲-۳۹۴، ۲-۳۹۵، ۲-۳۹۶، ۲-۳۹۷، ۲-۳۹۸، ۲-۳۹۹، ۲-۴۰۰، ۲-۴۰۱، ۲-۴۰۲، ۲-۴۰۳، ۲-۴۰۴، ۲-۴۰۵، ۲-۴۰۶، ۲-۴۰۷، ۲-۴۰۸، ۲-۴۰۹، ۲-۴۱۰، ۲-۴۱۱، ۲-۴۱۲، ۲-۴۱۳، ۲-۴۱۴، ۲-۴۱۵، ۲-۴۱۶، ۲-۴۱۷، ۲-۴۱۸، ۲-۴۱۹، ۲-۴۲۰، ۲-۴۲۱، ۲-۴۲۲، ۲-۴۲۳، ۲-۴۲۴، ۲-۴۲۵، ۲-۴۲۶، ۲-۴۲۷، ۲-۴۲۸، ۲-۴۲۹، ۲-۴۳۰، ۲-۴۳۱، ۲-۴۳۲، ۲-۴۳۳، ۲-۴۳۴، ۲-۴۳۵، ۲-۴۳۶، ۲-۴۳۷، ۲-۴۳۸، ۲-۴۳۹، ۲-۴۴۰، ۲-۴۴۱، ۲-۴۴۲، ۲-۴۴۳، ۲-۴۴۴، ۲-۴۴۵، ۲-۴۴۶، ۲-۴۴۷، ۲-۴۴۸، ۲-۴۴۹، ۲-۴۵۰، ۲-۴۵۱، ۲-۴۵۲، ۲-۴۵۳، ۲-۴۵۴، ۲-۴۵۵، ۲-۴۵۶، ۲-۴۵۷، ۲-۴۵۸، ۲-۴۵۹، ۲-۴۶۰، ۲-۴۶۱، ۲-۴۶۲، ۲-۴۶۳، ۲-۴۶۴، ۲-۴۶۵، ۲-۴۶۶، ۲-۴۶۷، ۲-۴۶۸، ۲-۴۶۹، ۲-۴۷۰، ۲-۴۷۱، ۲-۴۷۲، ۲-۴۷۳، ۲-۴۷۴، ۲-۴۷۵، ۲-۴۷۶، ۲-۴۷۷، ۲-۴۷۸، ۲-۴۷۹، ۲-۴۸۰، ۲-۴۸۱، ۲-۴۸۲، ۲-۴۸۳، ۲-۴۸۴، ۲-۴۸۵، ۲-۴۸۶، ۲-۴۸۷، ۲-۴۸۸، ۲-۴۸۹، ۲-۴۹۰، ۲-۴۹۱، ۲-۴۹۲، ۲-۴۹۳، ۲-۴۹۴، ۲-۴۹۵، ۲-۴۹۶، ۲-۴۹۷، ۲-۴۹۸، ۲-۴۹۹، ۲-۵۰۰، ۲-۵۰۱، ۲-۵۰۲، ۲-۵۰۳، ۲-۵۰۴، ۲-۵۰۵، ۲-۵۰۶، ۲-۵۰۷، ۲-۵۰۸، ۲-۵۰۹، ۲-۵۱۰، ۲-۵۱۱، ۲-۵۱۲، ۲-۵۱۳، ۲-۵۱۴، ۲-۵۱۵، ۲-۵۱۶، ۲-۵۱۷، ۲-۵۱۸، ۲-۵۱۹، ۲-۵۲۰، ۲-۵۲۱، ۲-۵۲۲، ۲-۵۲۳، ۲-۵۲۴، ۲-۵۲۵، ۲-۵۲۶، ۲-۵۲۷، ۲-۵۲۸، ۲-۵۲۹، ۲-۵۳۰، ۲-۵۳۱، ۲-۵۳۲، ۲-۵۳۳، ۲-۵۳۴، ۲-۵۳۵، ۲-۵۳۶، ۲-۵۳۷، ۲-۵۳۸، ۲-۵۳۹، ۲-۵۴۰، ۲-۵۴۱، ۲-۵۴۲، ۲-۵۴۳، ۲-۵۴۴، ۲-۵۴۵، ۲-۵۴۶، ۲-۵۴۷، ۲-۵۴۸، ۲-۵۴۹، ۲-۵۵۰، ۲-۵۵۱، ۲-۵۵۲، ۲-۵۵۳، ۲-۵۵۴، ۲-۵۵۵، ۲-۵۵۶، ۲-۵۵۷، ۲-۵۵۸، ۲-۵۵۹، ۲-۵۶۰، ۲-۵۶۱، ۲-۵۶۲، ۲-۵۶۳، ۲-۵۶۴، ۲-۵۶۵، ۲-۵۶۶، ۲-۵۶۷، ۲-۵۶۸، ۲-۵۶۹، ۲-۵۷۰، ۲-۵۷۱، ۲-۵۷۲، ۲-۵۷۳، ۲-۵۷۴، ۲-۵۷۵، ۲-۵۷۶، ۲-۵۷۷، ۲-۵۷۸، ۲-۵۷۹، ۲-۵۸۰، ۲-۵۸۱، ۲-۵۸۲، ۲-۵۸۳، ۲-۵۸۴، ۲-۵۸۵، ۲-۵۸۶، ۲-۵۸۷، ۲-۵۸۸، ۲-۵۸۹، ۲-۵۹۰، ۲-۵۹۱، ۲-۵۹۲، ۲-۵۹۳، ۲-۵۹۴، ۲-۵۹۵، ۲-۵۹۶، ۲-۵۹۷، ۲-۵۹۸، ۲-۵۹۹، ۲-۶۰۰، ۲-۶۰۱، ۲-۶۰۲، ۲-۶۰۳، ۲-۶۰۴، ۲-۶۰۵، ۲-۶۰۶، ۲-۶۰۷، ۲-۶۰۸، ۲-۶۰۹، ۲-۶۱۰، ۲-۶۱۱، ۲-۶۱۲، ۲-۶۱۳، ۲-۶۱۴، ۲-۶۱۵، ۲-۶۱۶، ۲-۶۱۷، ۲-۶۱۸، ۲-۶۱۹، ۲-۶۲۰، ۲-۶۲۱، ۲-۶۲۲، ۲-۶۲۳، ۲-۶۲۴، ۲-۶۲۵، ۲-۶۲۶، ۲-۶۲۷، ۲-۶۲۸، ۲-۶۲۹، ۲-۶۳۰، ۲-۶۳۱، ۲-۶۳۲، ۲-۶۳۳، ۲-۶۳۴، ۲-۶۳۵، ۲-۶۳۶، ۲-۶۳۷، ۲-۶۳۸، ۲-۶۳۹، ۲-۶۴۰، ۲-۶۴۱، ۲-۶۴۲، ۲-۶۴۳، ۲-۶۴۴، ۲-۶۴۵، ۲-۶۴۶، ۲-۶۴۷، ۲-۶۴۸، ۲-۶۴۹، ۲-۶۵۰، ۲-۶۵۱، ۲-۶۵۲، ۲-۶۵۳، ۲-۶۵۴، ۲-۶۵۵، ۲-۶۵۶، ۲-۶۵۷، ۲-۶۵۸، ۲-۶۵۹، ۲-۶۶۰، ۲-۶۶۱، ۲-۶۶۲، ۲-۶۶۳، ۲-۶۶۴، ۲-۶۶۵، ۲-۶۶۶، ۲-۶۶۷، ۲-۶۶۸، ۲-۶۶۹، ۲-۶۷۰، ۲-۶۷۱، ۲-۶۷۲، ۲-۶۷۳، ۲-۶۷۴، ۲-۶۷۵، ۲-۶۷۶، ۲-۶۷۷، ۲-۶۷۸، ۲-۶۷۹، ۲-۶۸۰، ۲-۶۸۱، ۲-۶۸۲، ۲-۶۸۳، ۲-۶۸۴، ۲-۶۸۵، ۲-۶۸۶، ۲-۶۸۷، ۲-۶۸۸، ۲-۶۸۹، ۲-۶۹۰، ۲-۶۹۱، ۲-۶۹۲، ۲-۶۹۳، ۲-۶۹۴، ۲-۶۹۵، ۲-۶۹۶، ۲-۶۹۷، ۲-۶۹۸، ۲-۶۹۹، ۲-۷۰۰، ۲-۷۰۱، ۲-۷۰۲، ۲-۷۰۳، ۲-۷۰۴، ۲-۷۰۵، ۲-۷۰۶، ۲-۷۰۷، ۲-۷۰۸، ۲-۷۰۹، ۲-۷۱۰، ۲-۷۱۱، ۲-۷۱۲، ۲-۷۱۳، ۲-۷۱۴، ۲-۷۱۵، ۲-۷۱۶، ۲-۷۱۷، ۲-۷۱۸، ۲-۷۱۹، ۲-۷۲۰، ۲-۷۲۱، ۲-۷۲۲، ۲-۷۲۳، ۲-۷۲۴، ۲-۷۲۵، ۲-۷۲۶، ۲-۷۲۷، ۲-۷۲۸، ۲-۷۲۹، ۲-۷۳۰، ۲-۷۳۱، ۲-۷۳۲، ۲-۷۳۳، ۲-۷۳۴، ۲-۷۳۵، ۲-۷۳۶، ۲-۷۳۷، ۲-۷۳۸، ۲-۷۳۹، ۲-۷۴۰، ۲-۷۴۱، ۲-۷۴۲، ۲-۷۴۳، ۲-۷۴۴، ۲-۷۴۵، ۲-۷۴۶، ۲-۷۴۷، ۲-۷۴۸، ۲-۷۴۹، ۲-۷۵۰، ۲-۷۵۱، ۲-۷۵۲، ۲-۷۵۳، ۲-۷۵۴، ۲-۷۵۵، ۲-۷۵۶، ۲-۷۵۷، ۲-۷۵۸، ۲-۷۵۹، ۲-۷۶۰، ۲-۷۶۱، ۲-۷۶۲، ۲-۷۶۳، ۲-۷۶۴، ۲-۷۶۵، ۲-۷۶۶، ۲-۷۶۷، ۲-۷۶۸، ۲-۷۶۹، ۲-۷۷۰، ۲-۷۷۱، ۲-۷۷۲، ۲-۷۷۳، ۲-۷۷۴، ۲-۷۷۵، ۲-۷۷۶، ۲-۷۷۷، ۲-۷۷۸، ۲-۷۷۹، ۲-۷۸۰، ۲-۷۸۱، ۲-۷۸۲، ۲-۷۸۳، ۲-۷۸۴، ۲-۷۸۵، ۲-۷۸۶، ۲-۷۸۷، ۲-۷۸۸، ۲-۷۸۹، ۲-۷۹۰، ۲-۷۹۱، ۲-۷۹۲، ۲-۷۹۳، ۲-۷۹۴، ۲-۷۹۵، ۲-۷۹۶، ۲-۷۹۷، ۲-۷۹۸، ۲-۷۹۹، ۲-۸۰۰، ۲-۸۰۱، ۲-۸۰۲، ۲-۸۰۳، ۲-۸۰۴، ۲-۸۰۵، ۲-۸۰۶، ۲-۸۰۷، ۲-۸۰۸، ۲-۸۰۹، ۲-۸۱۰، ۲-۸۱۱، ۲-۸۱۲، ۲-۸۱۳، ۲-۸۱۴، ۲-۸۱۵، ۲-۸۱۶، ۲-۸۱۷، ۲-۸۱۸، ۲-۸۱۹، ۲-۸۲۰، ۲-۸۲۱، ۲-۸۲۲، ۲-۸۲۳، ۲-۸۲۴، ۲-۸۲۵، ۲-۸۲۶، ۲-۸۲۷، ۲-۸۲۸، ۲-۸۲۹، ۲-۸۳۰، ۲-۸۳۱، ۲-۸۳۲، ۲-۸۳۳، ۲-۸۳۴، ۲-۸۳۵، ۲-۸۳۶، ۲-۸۳۷، ۲-۸۳۸، ۲-۸۳۹، ۲-۸۴۰، ۲-۸۴۱، ۲-۸۴۲، ۲-۸۴۳، ۲-۸۴۴، ۲-۸۴۵، ۲-۸۴۶، ۲-۸۴۷، ۲-۸۴۸، ۲-۸۴۹، ۲-۸۵۰، ۲-۸۵۱، ۲-۸۵۲، ۲-۸۵۳، ۲-۸۵۴، ۲-۸۵۵، ۲-۸۵۶، ۲-۸۵۷، ۲-۸۵۸، ۲-۸۵۹، ۲-۸۶۰، ۲-۸۶۱، ۲-۸۶۲، ۲-۸۶۳، ۲-۸۶۴، ۲-۸۶۵، ۲-۸۶۶، ۲-۸۶۷، ۲-۸۶۸، ۲-۸۶۹، ۲-۸۷۰، ۲-۸۷۱، ۲-۸۷۲، ۲-۸۷۳، ۲-۸۷۴، ۲-۸۷۵، ۲-۸۷۶، ۲-۸۷۷، ۲-۸۷۸، ۲-۸۷۹، ۲-۸۸۰، ۲-۸۸۱، ۲-۸۸۲، ۲-۸۸۳، ۲-۸۸۴، ۲-۸۸۵، ۲-۸۸۶، ۲-۸۸۷، ۲-۸۸۸، ۲-۸۸۹، ۲-۸۹۰، ۲-۸۹۱، ۲-۸۹۲، ۲-۸۹۳، ۲-۸۹۴، ۲-۸۹۵، ۲-۸۹۶، ۲-۸۹۷، ۲-۸۹۸، ۲-۸۹۹، ۲-۹۰۰، ۲-۹۰۱، ۲-۹۰۲، ۲-۹۰۳، ۲-۹۰۴، ۲-۹۰۵، ۲-۹۰۶، ۲-۹۰۷، ۲-۹۰۸، ۲-۹۰۹، ۲-۹۱۰، ۲-۹۱۱، ۲-۹۱۲، ۲-۹۱۳، ۲-۹۱۴، ۲-۹۱۵، ۲-۹۱۶، ۲-۹۱۷، ۲-۹۱۸، ۲-۹۱۹، ۲-۹۲۰، ۲-۹۲۱، ۲-۹۲۲، ۲-۹۲۳، ۲-۹۲۴، ۲-۹۲۵، ۲-۹۲۶، ۲-۹۲۷، ۲-۹۲۸، ۲-۹۲۹، ۲-۹۳۰، ۲-۹۳۱، ۲-۹۳۲، ۲-۹۳۳، ۲-۹۳۴، ۲-۹۳۵، ۲-۹۳۶، ۲-۹۳۷، ۲-۹۳۸، ۲-۹۳۹، ۲-۹۴۰، ۲-۹۴۱، ۲-۹۴۲، ۲-۹۴۳، ۲-۹۴۴، ۲-۹۴۵، ۲-۹۴۶، ۲-۹۴۷، ۲-۹۴۸، ۲-۹۴۹، ۲-۹۵۰، ۲-۹۵۱، ۲-۹۵۲، ۲-۹۵۳، ۲-۹۵۴، ۲-۹۵۵، ۲-۹۵۶، ۲-۹۵۷، ۲-۹۵۸، ۲-۹۵۹، ۲-۹۶۰، ۲-۹۶۱، ۲-۹۶۲، ۲-۹۶۳، ۲-۹۶۴، ۲-۹۶۵، ۲-۹۶۶، ۲-۹۶۷، ۲-۹۶۸، ۲-۹۶۹، ۲-۹۷۰، ۲-۹۷۱، ۲-۹۷۲، ۲-۹۷۳، ۲-۹۷۴، ۲-۹۷۵، ۲-۹۷۶، ۲-۹۷۷، ۲-۹۷۸، ۲-۹۷۹، ۲-۹۸۰، ۲-۹۸۱، ۲-۹۸۲، ۲-۹۸۳، ۲-۹۸۴، ۲-۹۸۵، ۲-۹۸۶، ۲-۹۸۷، ۲-۹۸۸، ۲-۹۸۹، ۲-۹۹۰، ۲-۹۹۱، ۲-۹۹۲، ۲-۹۹۳، ۲-۹۹۴، ۲-۹۹۵، ۲-۹۹۶، ۲-۹۹۷، ۲-۹۹۸، ۲-۹۹۹، ۲-۱۰۰۰، ۲-۱۰۰۱، ۲-۱۰۰۲، ۲-۱۰۰۳، ۲-۱۰۰۴، ۲-۱۰۰۵، ۲-۱۰۰۶، ۲-۱۰۰۷، ۲-۱۰۰۸، ۲-۱۰۰۹، ۲-۱۰۱۰، ۲-۱۰۱۱، ۲-۱۰۱۲، ۲-۱۰۱۳، ۲-۱۰۱۴، ۲-۱۰۱۵، ۲-۱۰۱۶، ۲-۱۰۱۷، ۲-۱۰۱۸، ۲-۱۰۱۹، ۲-۱۰۲۰، ۲-۱۰۲۱، ۲-۱۰۲۲، ۲-۱۰۲۳، ۲-۱۰۲۴، ۲-۱۰۲۵، ۲-۱۰

بافت شانه‌ای است. از این بین، بافت‌هایی مورد بررسی قرار گرفتند که نشان‌دهنده فرایند جوشش هستند.

مثل ژئودی و دندان سگی، گل کلمی، کلوفرمی، تیغه‌ای، حفره‌ای و بافت‌های موزائیکی، بافت قشری، بافت کلوفرمی، بافت شعله‌ای، بافت توده‌ای، بافت منطقه‌ای،



شکل ۲- رخنمون رگه سیلیسی (A, B, C, D, J)، نسل‌های مختلف کوارتز (E, F, G)، دگرسانی پروپلیتیک (H) و دگرسانی آرژیلیک (A, I, G) در کانسار طلای چاه‌مراد. (مخفف‌ها: Si I: نسل اول کوارتز، Si II: نسل دوم کوارتز، Si III: نسل سوم کوارتز، arg. v.c: قطعه سنگ آتشفشانی (ولکانیک) آرژیلیکی شده، propili: دگرسانی پروپلیتیک).

Figure 2. The outcrop of siliceous veins (A, B, C, D, J), different generations of quartz (E, F, G) and argillic alteration (A, I, G) in the gold deposit of Chah-Morad. (Abbreviations: Si I: the first generation of quartz, Si II: the second generation of quartz, Si III: the third generation of quartz, arg.v.c: argillic volcanic rock, propili: propylitic alteration).

کاهش تراوایی گسل، در اثر نهشت ماده معدنی یا حرکت گسل و جوشش، در اثر فرایندهای شیمیایی، اشاره کرد (Parry and Bruhn, 1990). بیشتر شکستگی‌های هیدرولیکی در یک رژیم کششی تولید می‌شوند اگرچه ممکن است در یک محیط فشاری هم رخ دهند. ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی سبب کاهش ناگهانی فشار و در نتیجه گسترش بافت‌های برشی می‌شود. با توجه به گستردگی این بافت در کانسار چاه‌مراد، ۲۰ cm تا ۳ m، می‌توان رخداد آن را به فرایند جوشش نسبت داد.

بافت قشری یا پوسته‌ای در کانسار چاه‌مراد از دیگر بافت‌های مورد بررسی می‌باشد که می‌توان آن را هم در نمونه‌های دستی (شکل ۳- B) و هم در نمونه‌های میکروسکوپی (شکل‌های ۳- E, F) مشاهده کرد. در نمونه‌های دستی هر یک از نوارها دارای ۵/۵ تا ۵ میلی‌متر سبتر هستند و از کوارتزهای نهان‌بلورین تا درشت‌بلور

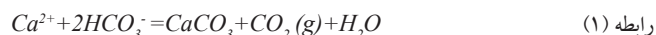
بافت برشی در کانسار چاه‌مراد (شکل ۳- A) از مهم‌ترین بافت‌های متداولی است که معمولاً به عنوان شاهدهی بر رخداد جوشش پذیرفته می‌شوند (Taylor, 1971; Berger and Eimon, 1983; Cole and Drummond, 1986; Jobson et al., 1994; Jébrak, 1997). پژوهشگران مختلف همانند جبراک (Jébrak, 1997) برش‌های گرمایی را یکی از انواع برش‌ها معرفی می‌کند که در آن قطعات سنگی با محلول گرمایی در تعادل است. این قطعات در کانسار چاه‌مراد معمولاً قطعات زاویه‌دار سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-آواری و همچنین قطعات رگه‌های کوارتزهای قبلی هستند. این بافت در اثر ایجاد شکستگی‌های هیدرولیکی در رگه به وجود می‌آید که ناشی از افزایش فشار سیال است (امرای و نیرومند، ۱۳۹۵). افزایش فشار سیال ممکن است منشاهاى مختلفی داشته باشد که از جمله آن می‌توان به

همزیستی میان‌بهارهای سیال غنی از مایع و بخار در کلسیت‌های تیغه‌ای اغلب گویای رخداد فرایند جوشش سیال در زمان تشکیل این کلسیت‌ها است (Maanijou and Ferdowsi, 2021; Simmons and et al., 2007).

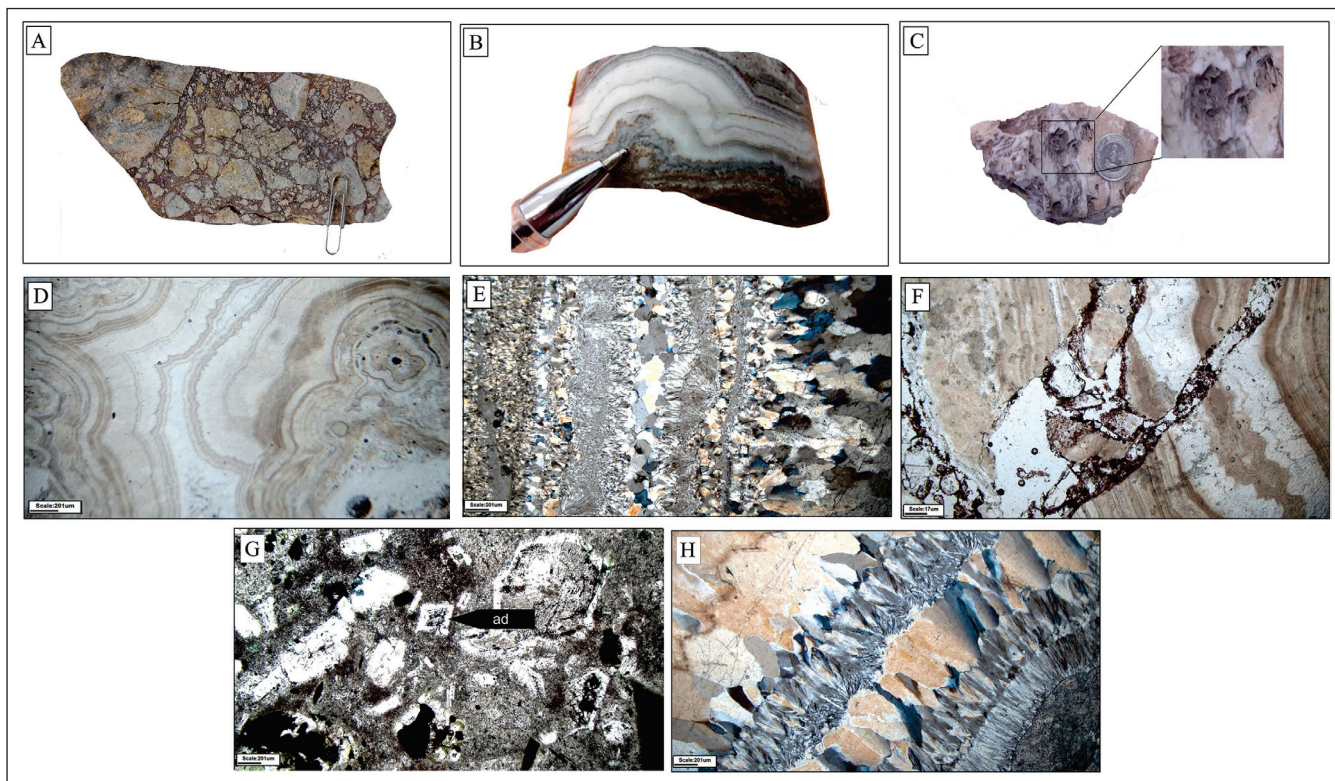
بافت کلوفرمی یکی دیگر از بافت‌های مشاهده شده در کانسار چاه‌مراد است (شکل ۳- D). راجرز (Rogers, 1918) برای توصیف سیلیس با شکل گرد یا خوشه انگوری که به صورت نوارهای پیوسته ظهور می‌یابند، اصطلاح «کلوفرم» را معرفی کرده است. در نمونه‌های مورد بررسی در کانسار چاه‌مراد، هر یک از لایه‌های موجود در این بافت دارای ۰/۲ تا ۶ میلی متر ستبر است. مشاهدات میکروسکوپی این نمونه‌ها نشان‌دهنده تکاملی از سیلیس نهان‌بلورین به کوارتز دانه‌درشت با بافت موزاییکی در این بافت است که با نوارهایی از سیلیس ریزدانه در محل تماس با سنگ دیواره، و افزایش اندازه دانه‌ها به سمت مرکز رگه مشخص می‌شوند. بافت کلوفرمی در جایی به وجود می‌آید که جوشش و از بین رفتن بخار یک سیال در حال صعود، با سرد شدن ناگهانی همراه شده و منجر به اشباع سیلیس بی‌شکل (آمورف) کلوییدی شده که به طور محلی به صورت یک ژل به شکل نواری رسوب می‌کند (Hedenquist and Arribas, 2017). بر اساس مطالعات هنلی و هیوز (Henley and Hughes, 2000) این بافت در حین باز شدن سریع شکستگی‌هایی که سبب افت فشار و سرد شدن سریع شده، ایجاد می‌شود. بافت کلوفرمی سیلیسیک بافت نهشتی اولیه است که برای نشان دادن رسوب سریع و دما پائین سیلیس کلسدونی در فضای باز در سامانه‌های کم‌ژرفای ترمال برای ایجاد نوار متناوب تفسیر شده است (Roedder, 1984; Bodnar et al., 1985; Fournier, 1985).

تشکیل شده‌اند. تغییر اندازه دانه در این بافت شبیه به نهشت توالی‌های رو به بالا در سنگ‌های رسوبی است (Simpson, 1996). بافت پوسته‌ای که عموماً یک بافت نهشتی اولیه است، در نتیجه نوسانات سریع و دوره‌ای دما، فشار یا شرایط سیال در حین جوشش ایجاد می‌شود (Dong and Morrison, 1995). این بافت اغلب دارای نواربندی کلوفرمی است که به‌طور چیره نسبت به هر دو دیواره به صورت متقارن توزیع می‌شود، اما گاهی در اثر تبلور مجدد نوارهای کوارتز و کلسدونی اولیه تا حدی از بین می‌روند (Adams, 1920).

کلسیت تیغه‌ای یکی دیگر از ساخت‌های مشاهده شده در کانسار چاه‌مراد است (شکل ۳- C). تراکم کلسیت تیغه‌ای که بافت‌های شبکه‌ای را تشکیل می‌دهد و کوارتزهای شبه کلسیتی، از ویژگی‌های آشکار رگه‌های اپی‌ترمال هستند (Hedenquist et al., 2004; Cooke and Simmons, 2000). ارتباط نزدیک بین حضور کلسیت تیغه‌ای و رخداد فرایند جوشش در سامانه‌های گرمایی را توصیف کرده‌اند و این ریخت‌شناسی را به رشد سریع کلسیت نسبت داده‌اند چرا که مطابق با رابطه (۱) دی‌اکسید کربن در حین جوشش به صورت فاز بخار از بین خواهد رفت (Browne, 1978):



به این ترتیب، کلسیت به صورت تیغه‌ای و در نزدیکی سطح جوشش اولیه به صورت عمودی در نزدیکی ژرفای ۲۰۰ تا ۲۵۰ متری و مطابق با بیشینه ژرفای کانی‌سازی فلزات گرانبها در رگه‌ها و گاه در حضور آدولاریا در سنگ‌های دگرسان‌شده اطراف در مجاورت توده معدنی نهشته می‌شود (Simmons and Brown, 2000).



شکل ۳- شواهد کانی‌شناسی و بافتی نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش در کانسار چاه‌مراد. (A) بافت برشی؛ (B) بافت قشری-کلوفرمی؛ (C) بافت کلسیت تیغه‌ای؛ (D) بافت کلوفرمی (نور XPL)؛ (E) بافت قشری (نور PPL)؛ (F) بافت قشری قطع شده با رگه‌های برشی (نور PPL)؛ (G) آدولاریا (ad) (نور XPL)؛ (H) بافت شعله‌ای (نور PPL).

Figure 3. Mineralogical and textural evidence indicating the occurrence of the boiling process in Chah-Morad deposit. A) Breccia texture; B) Crustiform texture; C) Lattice calcite texture; D) Colloform texture (XPL light); E) Crustiform texture (PPL light); F) Crustiform texture intersected by breccia veins (PPL light); G) Adularia (XPL light); H) Flame texture (PPL light).

نهشته می‌شود که اشباع بیش از حد سیلیس در پاسخ به سرد شدن سریع و کاهش فشار همراه با ته‌نشینی سیلیس بی‌شکل رخ دهد (Henley and Hughes, 2000). سیلیس‌های توده‌ای (کوارتز) از جمله بافت‌های مشاهده شده در کانسار چاه‌مراد هستند. این اصطلاح به رگه‌های کوارتزی اشاره می‌کند که دارای بافت همگن هستند، هیچگونه نواربندی، شکستگی یا تغییر شکل نشان نمی‌دهند (Dong et al., 1995). این نوع سیلیس اغلب به دلیل داشتن میانبراهای سیال بسیار کوچک در کوارتز (> 2 میکرومتر) در نمونه‌های دستی شیری رنگ است. بافت توده‌ای نشان‌دهنده یک ویژگی اصلی اولیه بوده که در طی نهشت آهسته در شرایط به نسبت سازگار در فضای باز شکل گرفته و با جوشش ارتباطی ندارد.

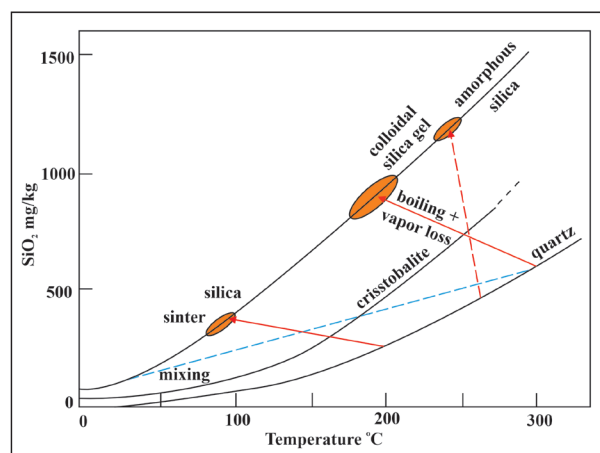
۴-۲- شواهد کانی‌شناسی دال بر رخداد جوشش

مطالعات کانی‌شناسی، کانی‌نگاری و بافتی و ساختی در نمونه‌های برداشت شده از کانسار چاه‌مراد، نشان‌دهنده رخداد ۳ مرحله کانی‌زایی است (شکل ۵). در مرحله اول کانی‌زایی، جایی که جوشش رخ داد کوارتز نسل اول، که گاه در اثر فرایندهای گرمایی همچون جوشش برشی شده‌اند و حاوی ماده معدنی طلا به صورت قطعات نانو در پیریت نسل اول و الکتروم هستند به همراه آدولاریا، کلسیت تیغه‌ای، کلسدون و کالکوپریت نهشته می‌شود. مرحله دوم کانی‌زایی مرحله توسعه فرایند گرمایی است. در این مرحله، کوارتز نسل دوم که قطعات برشی گرمایی را سیمانی کرده و مابین آن‌ها قرار گرفته‌اند، پیریت نسل دوم، کالکوپریت به همراه ماده معدنی طلا، الکتروم، گالن، اسفالریت، بورنیت و آدولاریا نهشته شده‌اند. در مرحله سوم کانی‌زایی کوارتز نسل سوم، پیریت نسل سوم، مولیدنیت، گالن و اسفالریت تشکیل شده‌اند. نسل سوم کوارتز که دارای میزان کمتری از ماده معدنی است به صورت رگچه‌های کوچک در مراحل انتهایی در دو نسل قبلی تریق شده‌اند. پس از فرایند کانه‌زایی، همزمان با فرایندهای برون‌زاد (سوپرژن) و در نتیجه اکسیداسیون سولفیدها، کانی‌های هماتیت، گوتیت، مالاکیت، لیمونیت و کانی‌های کولیت، دیژنیت و کانی‌های رسی تشکیل شدند. در این بین، کانی‌هایی که به نحوی در فرایند جوشش دخیل هستند، مورد بررسی قرار گرفتند.

حضور کانی آدولاریا (شکل ۳-G) و ایلیت در نمونه‌های کانسار چاه‌مراد نشان‌دهنده وجود یک شرایط تقریباً خنثی است. آدولاریا به‌طور معمول در رگه‌ها همراه با کوارتز و کلسیت تیغه‌ای و در سنگ‌های میزبان مخازن زمین‌گرمایی به صورت بلورهای میکروسکوپی یافت می‌شود (Browne, 1978; Simpson et al., 1995). علت نهشت آدولاریا، آزاد شدن CO_2 در هنگام جوشش است که سبب افزایش pH محلول و در نتیجه، تغییر از دامنه انحلال ایلیت به آدولاریا و نهشت آن می‌شود (André-Mayer et al., 2002; Browne and Ellis, 1970) به همین علت، وجود آدولاریا شواهدی قوی از فرایند جوشش و نفوذپذیری مناسب شناخته شده است.

بررسی سامانه‌های گرمایی نشان‌دهنده رابطه مکانی و زمانی بین جوشش و کانی‌سازی فلزات گرانبها می‌باشد و این ارتباط از نظر تئوری و مطالعات انحلال‌پذیری طلا ثابت شده است. انحلال‌پذیری طلا در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد به عنوان تابعی از pH سیال و حالت اکسیداسیون در شکل ۶ نشان داده شده است. این شکل حوضه‌های ثبات فازهای آهن‌دار مانند هماتیت، پیریت، مگنتیت و پیروتیت را برای اکتیویته گوگرد معادل ۰/۰۱ نشان می‌دهد. ایلیت و آدولاریا کانی‌های معمول در دگرسانی در سامانه‌های اپی‌ترمال هستند، شکل ۶ با فرض غلظت K^+ معادل 5×10^{-3} و غلظت Mg^{2+} معادل 4×10^{-5} مرز تعادل ایلیت-آدولاریا را در زمان تعادل با سیلیس بی‌شکل و نیز در زمان تعادل با کوارتز در دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد، نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که اگر سیال به‌طور ناگهانی در پاسخ به جوشش شروع به رسوب سیلیس بی‌شکل کند، pH سیال در تعادل با ایلیت-آدولاریا و کوارتز بیش از یک واحد pH کاهش می‌یابد. این امر به کاهش حلالیت طلا و در نتیجه نهشت طلا می‌انجامد.

ماهیت کلوفرمی بسیاری از نوارهای سیلیسی از نظر بافتی شبیه به نوارهای سیلیس بی‌شکلی است که در لوله‌های سطحی چاه‌های زمین گرمایی یافت می‌شود. بر این اساس، همان‌گونه که برای سینترهای (Sinter) سیلیس شرح داده شده است (Herdianita et al., 2000)، استنباط می‌شود که این سیلیس در ابتدا به صورت سیلیس بی‌شکل بوده و سپس به صورت کوارتز بلورین نهشت می‌کند. با فرض صحیح انگاشتن این نتیجه، از دست رفتن بخار و جوشش باید برای انحلال تاجدایش در سیلیس بی‌شکل رخ دهد بنابراین می‌توان گفت حضور چنین بافتی در کوارتزهای نواری و حفره‌های برشی شواهدی از جوشش و پتانسیل رسوب طلا است (شکل ۴) (Hedenquist and Arribas, 2017).



شکل ۴- نمودار حلالیت سیلیس در برابر دما برای کوارتز، کریستوبالیت و سیلیس بی‌شکل. جوشش و از بین رفتن بخار در شرایط متعادل (خطوط قرمز) در نتیجه سرد شدن سیال سبب می‌شود به جای تشکیل کوارتز سیلیس بی‌شکل به صورت سینتر یا کلویدی تشکیل شود؛ از دست دادن بخار تعادل در شرایط غیر متعادل (به عنوان مثال، در حین فشار شدید؛ خط چین قرمز) با کاهش دمای به نسبت کمی می‌تواند سبب تشکیل کلویدهای سیلیسی شود. اختلاط هر سیال ژرف با آب‌های زیرزمینی کم‌ژرفا (سرد یا بخار گرم) سبب شکل‌گیری سیلیس بی‌شکل نمی‌شود (خط چین آبی) (Hedenquist and Arribas, 2017).

Figure 4. Silica solubility vs. temperature for quartz, cristobalite and amorphous silica. Boiling and equilibrium vapor loss (red lines) results in the cooling liquid to shift from quartz to amorphous silica as sinter or colloid deposition; non-equilibrium vapor loss (e.g., during sharp depressurization; dashed red line) with relatively slight temperature decreases can cause the formation of silica colloids. Mixing of any deep liquid with a shallow groundwater (cool or steam-heated) will not cause the formation of amorphous silica (dashed blue line) (Hedenquist and Arribas, 2017).

بافت فراوان بعدی بافت شعله‌ای کوارتز است (شکل ۳-H). تصور می‌شود که این بافت که نتیجه تبلور مجدد دانه‌های بسیار ریز کلسدون فیبری با سطوح بیرونی گرد که منشأ آن ژل سیلیسی دارند، باشد (Dong et al., 1995). ژل سیلیسی زمانی

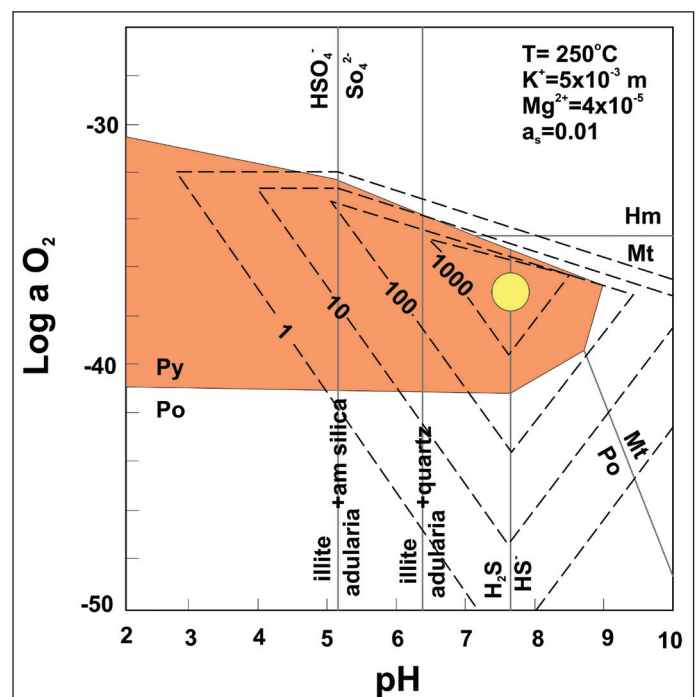
شکل ۵- توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار چاه‌مراد.

Figure 5. Mineral paragenetic sequence of Chah-Morad epithermal deposit.

Gangue/ore minerals		Mineralization			Post Mineralization
		Stage I	Stage II	Stage III	
Quartz	Quartz I				
	Quartz II				
	Quartz III				
Pyrite	pyrite I				
	pyrite II				
	Pyrite III				
Chalcopyrite					
Gold nanoparticles in pyrite					
Electrum					
Sphalerite					
galena					
Bornite					
Molybdenite					
Adularia					
Calcite					
Chalcedony					
Covellite, digenite					
Hematite					
Limonite					
Goethite					
Malachite					
Clay mineral					

شکل ۶- نمودار حلالیت طلا به عنوان تابعی از pH و حالت اکسیداسیون ($\log f_{H_2}$) یا ($\log f_{O_2}$). حلالیت در دمای 250°C ، فعالیت گوگرد کل 0.01، غلظت یون پتاسیم 5×10^{-3} مول (K^+) و غلظت یون منیزیم 4×10^{-5} مول (Mg^{2+}) محاسبه می‌شود. منحنی تعادل آدولاریا - ایلیت از داده‌های هلگسون (Helgeson, 1969) و منحنی حلالیت‌های سیلیس بی‌شکل و کوارتز از گونارسون آرنورسون (Gunnarsson and Arnórsson, 2000) محاسبه شده است. پیشینه حلالیت طلا با دایره زرد و خطوط حلالیت طلا (بر حسب ppb) با خط چین نشان داده شده است (Hm: هماتیت، Py: پیریت، Mt: مگنتیت و Po: پیرروتیت). (برگرفته از هنلی و براون (Henley and Brown, 1985) و شنبرگر و بارنز (Shenberger and Barnes, 1989)).

Figure 6. Solubility of gold as a function of pH and oxidation state ($\log f_{O_2}$ or $\log f_{H_2}$). The solubility is calculated at a temperature of 250°C , total sulfur activity of 0.01, potassium ion concentration (K^+) of 5×10^{-3} molal and magnesium ion concentration (Mg^{2+}) of 4×10^{-5} molal. Illite-adularia equilibria are calculated from data in Helgeson (1969) and amorphous silica and quartz solubilities from Gunnarsson and Arnórsson (2000). Maximum gold solubility is represented by the yellow circle, and gold solubility contours (in ppb) are shown by dashed lines. (Hm: Hematite, Py: pyrite, Mt: magnetite and Po: pyrrhotite). (After Henley and Brown, 1985, and Shenberger and Barnes, 1989).



شواهدی از جوشش ارائه دهند. کانت و همکاران (Canet et al., 2011) با در نظر گرفتن دو مولفه دما و فشار تکامل سیال و به دام افتادن آن را به صورت سیال درگیر توصیف کرده و دو مسیر را برای سیالی که به صورت آدیاباتیک به سمت بالا در حرکت است، توصیف می کنند (شکل ۷). مسیر اول (A) سیالی را نشان می دهد که در حین بالا آمدن به صورت همگن به دام می افتد و میانبرهای آبگینی را در سطوح پایین یک سیستم گرمایی تشکیل می دهد. مسیر تکامل میانبار سیال از لحظه تشکیل با یک ایزوکور (خط چگالی ثابت، فلش های سیاه)، تا قطع منحنی L+V محدود می شود. توجه داشته باشید در این مسیر دمای همگن شدگی (T_h) کمتر از دمای به دام افتادن (T_i) خواهد بود؛ و به این ترتیب، شرایط دما و فشار را نمی توان در هنگام تشکیل میانبار سیال به طور مستقیم از T_h استنباط کرد.

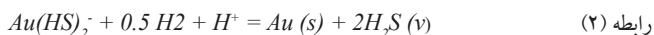
مسیر دوم (B) سیالی را نشان می دهد که در هنگام جوشش، در سطوح کم ژرفا همان سیستم گرمایی به صورت ناهمگن به دام افتاده است. در طی این مسیر هم میانبرهای غنی از مایع و هم میانبرهای غنی از گاز تشکیل می شوند. در این حالت، T_i معادل مقادیر T_h برای میانبرهای غنی از مایع است و فشار به دام افتادن (Pt) می تواند به طور مستقیم از منحنی جوشش استنباط شود. با توجه به حضور میانبرهای سیال با نسبت های مختلف مایع و گاز می توان نتیجه گرفت که جریان سیال در این کانسار مسیر دوم را گذرانده که خود گویای رخداد جوشش است.

شکل ۷- تکامل و به دام افتادن سیال به صورت میانبار با در نظر گرفتن دو مولفه دما (T) - فشار (P) (Canet et al., 2011). (مخفف ها: T_h : دمای همگن شدگی، T_i : دمای به دام افتادن، T.P.: نقطه سه گانه محل وجود سه فاز جامد، مایع، گاز، C.P.: نقطه بحرانی).

Figure 7. Fluid evolution and its entrapment as fluid inclusions, in the temperature (T) – pressure (P) (Canet et al., 2011). (Abbreviations: T_h : homogenization temperature, T_i : trapping temperature, T.P.: triple point where three phases exist, solid, liquid, gas, C.P.: critical point).

گروه ششم میانبرهای سیال تک فازی سیال (L) (شکل های ۸- A, J). در این بین، حضور میانبرهای سیال با نسبت های متفاوت از مایع و گاز یا به عبارتی همزیستی میانبرهای سیال غنی از مایع با میانبرهای سیال غنی از گاز که شکل نمادین (شماتیک) آن به صورت شکل های ۸- K, L قابل مشاهده است و نیز همیافتی میانبرهای سیال تک فازی مایع با میانبرهای سیال تک فازی گاز وجود رخداد جوشش را در کانسار چاه مراد تایید قرار می دهد (Bodnar et al., 1985; Haas, 1971; Van den Kerkhof and Hein, 2001; Maanijou et al., 2012; Hedenquist and Henley, 1985).

فرض این که طلا به صورت کمپلکس بی سولفیدی حمل می شود، جوشش یک محلول منجر به مصرف یون هیدروژن pH افزایش می یابد و از دست دادن عامل کمپلکس کننده طلا طبق رابطه (۲) می شود.



جوشش همچنین به از دست دادن CO_2 محلول می انجامد که به نوبه خود مطابق با رابطه (۳) منجر به افزایش pH می شود.



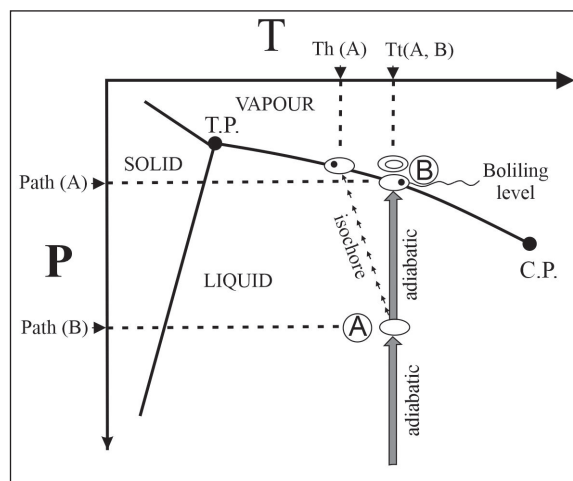
ته نشست پیریت همچنین با حذف عامل کمپلکس ساز مسئول انتقال طلا (گوگرد) طبق رابطه (۴) باعث ته نشست طلا می شود.



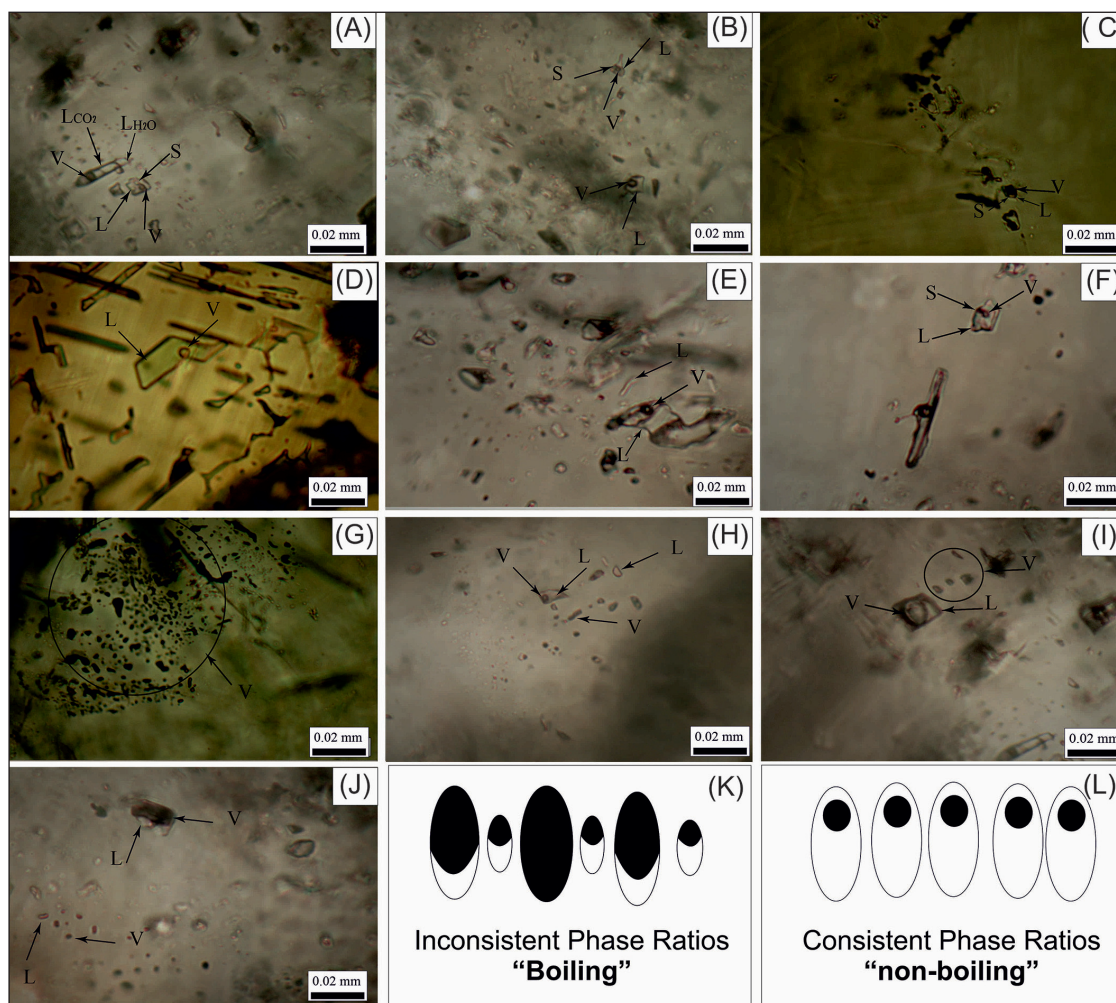
احتمالا بیشتر سیالات کانه ساز اپی ترمال در ابتدا اشباع از طلا نیستند، بلکه در نتیجه تغییرات در محیط شیمیایی و فیزیکی در محل رسوب به اشباع رسیده و سبب نهشت طلا می شوند. با این حال، همان گونه که در بالا گفته شد، جوشش، نهشت پیریت و تغییر از نهشت کوارتز به نهشت سیلیس بی شکل، همگی سبب تغییر در pH و یا فعالیت گوگردی سیال می شوند که می تواند به ته نشست طلا بیانجامد (Bigdeli et al., 2021).

۳-۴- شواهد میانبرهای سیال دال بر رخداد جوشش

افزون بر معیارهای بافتی و کانیشناسی یاد شده، میانبرهای سیال نیز می توانند



بررسی های صورت پذیرفته در نمونه های میانبرهای سیال در کانسار طلای چاه مراد، نشان می دهد این میانبرها بر اساس تعداد فاز و نسبت جامد، مایع و گاز به ۶ گروه تقسیم می شوند: گروه اول میانبرهای سیال چند فازی گاز + مایع + مایع (L+V) (شکل ۸- A)، گروه دوم میانبرهای سیال چند فازی مایع + گاز + جامد (L+V+S) (شکل های ۸- B, C, F)، گروه سوم میانبرهای سیال دو فازی غنی از مایع (L+V) با بیشترین فراوانی (شکل های ۸- D, E)، گروه چهارم میانبرهای سیال دو فازی از غنی از بخار (V+L) (شکل های ۸- I, J)، گروه پنجم میانبرهای سیال تک فازی گازی (V) (شکل های ۸- G, H, J).

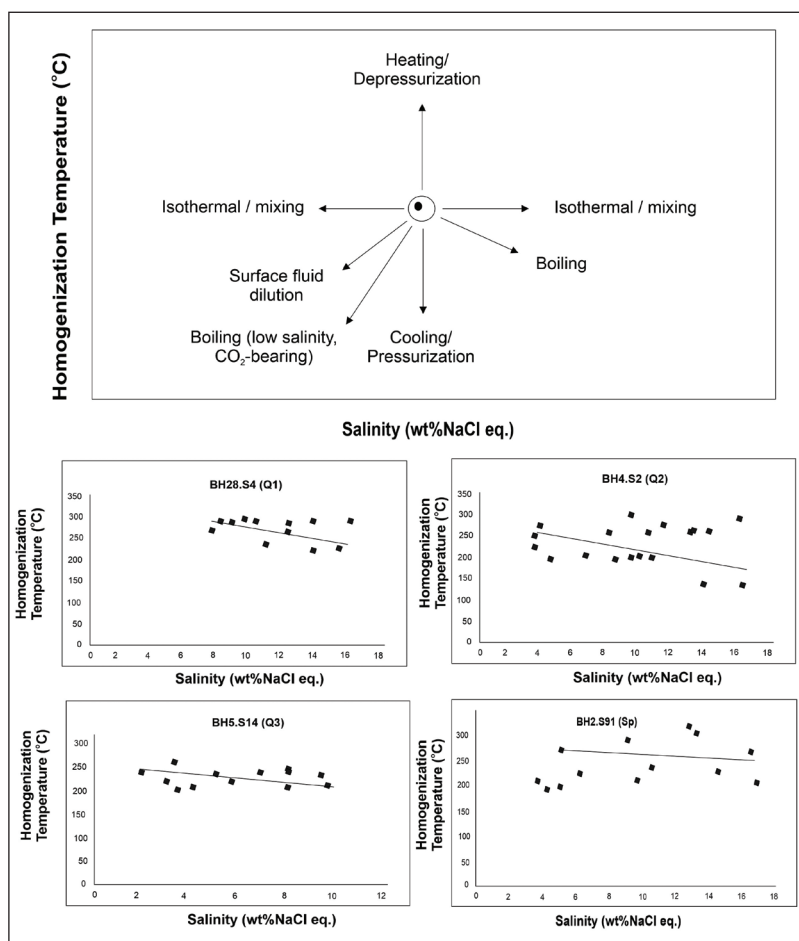


شکل ۸- انواع میانبارهای سیال موجود در کانسار چاه‌مراد. A) گروه اول (L+L+V) و گروه دوم (L+V+S). B) گروه دوم (L+V+S) و گروه سوم (L+V). C) گروه دوم (L+V+S)، D) گروه سوم (L+V)، E) گروه سوم (L+V) و گروه ششم (L)، F) گروه دوم (L+V+S)، G) گروه پنجم (V)، H) گروه سوم (L+V)، گروه پنجم (V) و گروه ششم (L)، I) گروه چهارم (V+L) و گروه پنجم (V)، J) گروه چهارم (V+L)، گروه پنجم (V) و گروه ششم (L). K) طرحی نمادین از میانبارهای سیال با نسبت‌های ثابت مایع به بخار گویای عدم فرایند جوشش. L) طرحی نمادین از میانبارهای سیال با نسبت‌های ثابت مایع به بخار گویای عدم فرایند جوشش.

Figure 8. The types of fluid inclusions at Chah-Morad deposit. A) The first group (L+L+V) and the second group (L+V+S). B) The second group (L+V+S) and the third group (L+V). C) The second group (L+V+S), D) The third group (L+V). E) The third group (L+V) and the sixth group (L). F) The second group (L+V+S). G) The fifth group (V). H) The third group (L+V), the fifth group (V) and the sixth group (L). I) The fourth group (V+L) and the fifth group (V). J) The fourth group (V+L), the fifth group (V) and the sixth group (L). K) Schematic diagram of the fluid inclusions containing inconsistent liquid-to-vapor ratios indicating boiling. L) Schematic diagram of the fluid inclusions containing consistent liquid-to-vapor ratios indicating no boiling.

باید بررسی روند میانبارهای سیال در نمودار دمای همگن‌سازی در برابر شوری (یا دمای ذوب یخ) و ویلکینسون (Wilkinson, 2001) را مورد بررسی قرار داد. به این صورت که با بررسی افزایش تدریجی شوری (یا کاهش T_{mice}) همراه با کاهش T_h بتوان گفت جدایش املح غیرفرار به فاز مایع در حین از بین رفتن بخار به عبارتی جوشش در حال رخداد است. بررسی نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) در نمونه‌های کانسار چاه‌مراد نشان‌دهنده این است که رخداد فرایند جوشش در سه نسل کوارتز شناسایی در این کانسار باعث نهشت طلا و اختلاط با یک سیال هم‌دما (ایزوترمال) سبب نهشت اسفالریت در این کانسار شده است (شکل ۹).

یادآوری این نکته ضروری است که معیار اصلی رخداد جوشش وجود میانبارهای سیال با نسبت‌های مایع به گاز متغیر باید یک توالی هم‌برزایی (پاراژنتیکی) واحد را نشان‌دهند (Bodnar et al, 1985; Haas, 1971; Van den Kerkhof and Hein, 2001)، با این حال، به نظر می‌رسد به دام افتادن ناهمگن سیال‌ها (بخار+مایع) به طور گسترده‌ای رخ نمی‌دهد، به گونه‌ای که سیمونز و کریستنس (Simmons and Christenson, 1994) دریافتند که در یک سیستم زمین‌گرمایی فعال در حال جوشش، به‌رغم تولید شدید حباب‌های بخار، تنها کمتر از ۱٪ از میانبارهای سیال به دام افتاده، غنی از بخار بودند. بنابراین، به دلیل بررسی دقیق‌تر فرایند جوشش



شکل ۹- موقعیت میانبارهای سیال کانسار چاه‌مراد در نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش در نهشت سه نسل کوارتز و اختلاط با یک سیال هم‌دم (ایزوترمال) در نهشت اسفالریت (مخفف‌ها: Q1: نسل اول کوارتز، Q2: نسل دوم کوارتز، Q3: نسل سوم کوارتز، Sp: اسفالریت) (بر گرفته از ویلکینسون - Wilkinson, 2001).

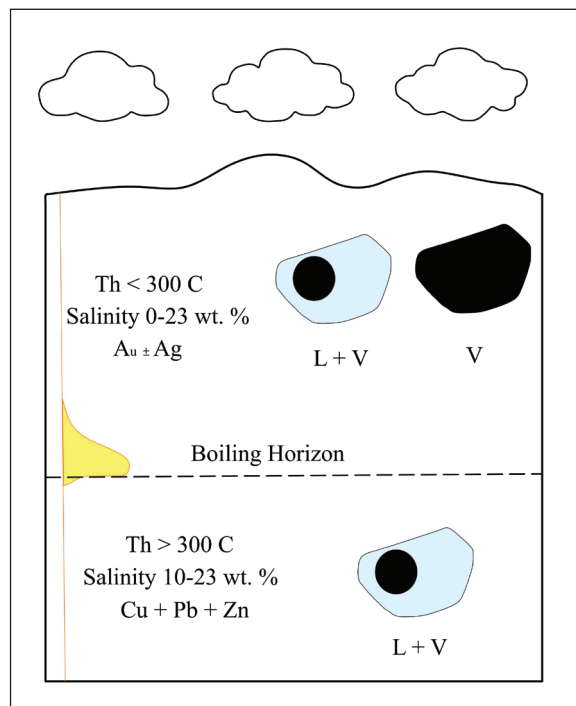
Figure 9. The position of the fluid inclusions in the Chah-Morad deposit in the graph of homogenization temperature versus salinity showing the occurrence of the boiling process in the deposit of three generations of quartz and mixing with an isothermal fluid in the sphalerite deposit (abbreviations: Q1: the first generation of quartz, Q2: the second generation of quartz, Q3: the third generation of quartz, Sp: sphalerite) (After Wilkinson, 2001)

میانبارهای سیال به دام افتاده از افق جوشش تا سطح، نیز با همزیستی میانبارهای غنی از مایع و غنی از بخار مشخص می‌شوند به طوری که دمای همگن‌شدگی در قاعده زون جوشش برابر با 300°C (Bodnar et al., 1985; Simmons and Christenson, 1994) و در بالای سیستم این دما $> 220^{\circ}\text{C}$ خواهد بود (Albinson et al., 2001) که این موضوع می‌تواند ابزاری مفید برای اکتشافات کانسارهای اپی‌ترمال به‌شمار رود (Roedder and Bodnar, 1997). در ژرفای زیر افق جوشش، مجموعه میانبارهای سیال با نسبت مایع به بخار ثابت مشخص می‌شوند که بیشتر در دمای بالاتر از 300°C به فاز مایع همگن می‌شوند (Bodnar et al., 1985). این موضوع را می‌توان در نمودار نمادین (شماتیک) شکل ۱۰ دید. توجه داشته باشید که سیستم‌های گرمایی مرتبط با تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال، سامانه‌های پویا (دینامیکی) هستند و افق جوشش به‌احتمال در طول زمان با تغییر دمای سیال، سرعت جریان، شکستگی‌ها و همانند آن به سمت بالا و پایین تغییر می‌کند.

تغییرات زمین‌شیمیایی عمودی در مقیاس یک کانسار یکی از ویژگی‌های مهم در بسیاری از کانسارهای اپی‌ترمال است (André-Mayer et al., 2002). به این ترتیب که یک منطقه ژرف غنی از فلزات پایه (Pb, Zn, Cu) و یک منطقه کم‌ژرفای غنی از فلزات گرانبها (Ag, Au) وجود دارد که به‌طور معمول مرز بین این دو منطقه با افق جوشش منطبق است (Buchanan, 1981). آلینسون و همکاران (Albinson et al., 2001)، چنین بیان کردند که شوری در بالای افق جوشش کمتر از $23\text{ wt\%NaCl eq.}$ و اغلب کمتر از $5\text{ wt\%}$ می‌باشد در حالی که شوری در پایین این افق به‌طور معمول بین $10\text{ wt\%NaCl eq.}$ تا $23\text{ wt\%}$ است. به این ترتیب با این فرض که سیستم از شکستگی‌های باز و به هم پیوسته تشکیل شده و در فشار هیدروستاتیک قرار دارد، هنگامی که فرایند جوشش در ژرفا شروع می‌شود، به‌طور معمول سیال تا سطح به جوشیدن ادامه می‌دهد (Fournier, 1985; Henley and Brown, 1985; Cline et al., 1992) در بالای افق جوشش، سیال با شوری کم تا متوسط و بخار با چگالی کم وجود دارد. مجموعه

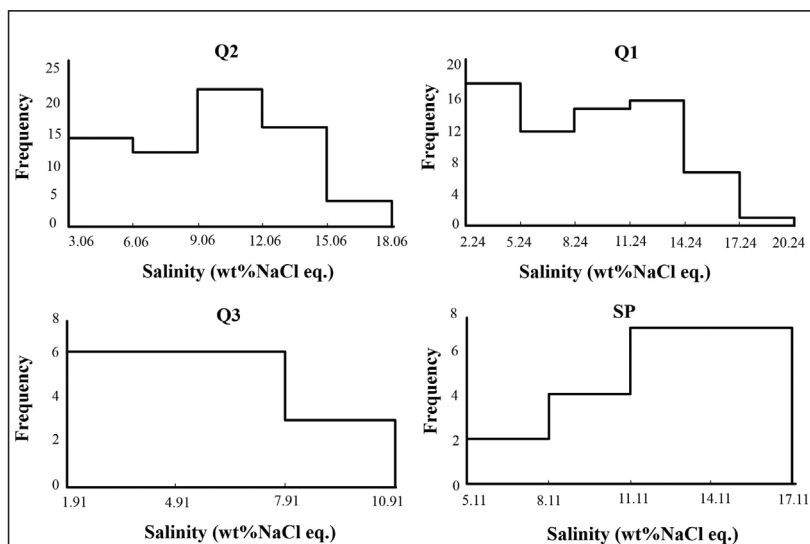
شکل ۱۰- طرح نمادین ارتباط انواع سیال درگیر، جوشش و کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در نهشته‌های اپی‌ترمال (اصلاح شده از Cline et al., 1992).

Figure 10. Schematic diagram showing the relationship between fluid inclusion types, boiling and precious and base metal mineralization in epithermal deposits. (Modified after Cline et al., 1992).



۱۲/۹۱ برای کوارتز نسل سوم است. بر اساس آنچه که گفته شد، این بازه از شوری نشان‌دهنده این است که نمونه‌ها از منطقه بالای افق جوشش برداشت شده‌اند. وجود میانبارهای سیال با شوری‌های متفاوت شاهدی گویای رخداد جوشش سیالات گرمایی می‌باشد (Drummond and Ohmoto, 1985) که این موضوع را در بررسی نمونه‌های کانسار چاه‌مراد می‌توان دید. در مقابل، بیشترین فراوانی شوری در کانی اسفالریت بیش از ۱۱/۱۱ wt%NaCl eq. است که این موضوع گویای این است که این نمونه از زیر افق جوشش برداشت شده است.

به منظور بررسی این موضوع در کانسار چاه‌مراد، داده‌های ترمودینامیکی در سه نسل کوارتز (به عنوان میزبان کانی‌سازی فلزات گرانبها) و کانی اسفالریت (به عنوان ماده معدنی فلزات پایه) مورد مطالعه قرار گرفت. همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود، بررسی نمودار فراوانی شوری به دست آمده توسط رابطه بودنار (Bodnar, 1992) در کانسار طلای چاه‌مراد نشان می‌دهد بیشترین فراوانی شوری در انواع نسل‌های کوارتز به ترتیب ۲/۲۴ wt%NaCl eq. تا ۵/۲۴ wt%NaCl eq. برای کوارتز نسل اول، ۹/۰۶ wt%NaCl eq. تا ۱۲/۶۰ wt%NaCl eq. برای کوارتز نسل دوم، ۱/۹۱ wt%NaCl eq. تا

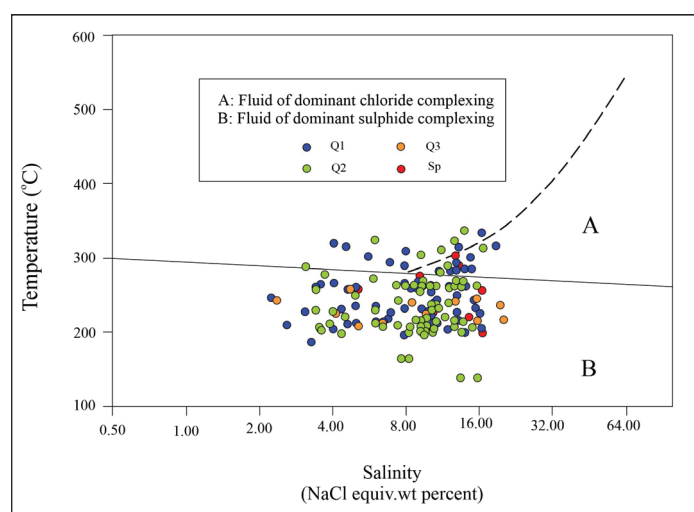


شکل ۱۱- نمودار فراوانی شوری میانبارهای سیال کانسار چاه‌مراد نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش. (مخفف‌ها: Q1: نسل اول کوارتز، Q2: نسل دوم کوارتز، Q3: نسل سوم کوارتز، Sp: اسفالریت).

Figure 11. Salinity frequency histogram of fluids in Chah-Morad deposit showing the occurrence of boiling process. (Abbreviations: Q1: the first generation of quartz, Q2: the second generation of quartz, Q3: the third generation of quartz, Sp: sphalerite).

فلزات نقره و عناصر پایه اهمیت بیشتری نسبت به حمل طلا دارند (Seward, 1997 and Barnez). در مقابل، کمپلکس بی‌سولفیدی Au(HS) در محیط اپی‌ترمال برای حمل طلا اهمیت بیشتری داشته و در نتیجه در محیط اپی‌ترمال شوری در مسیر حمل طلا نسبت به نقره و عناصر پایه تاثیر کمتری دارد (Seward and Barnez, 1997). بنابراین چنین استنباط می‌شود که شوری به‌طور معمول در سامانه‌های غنی از طلا (یا فقط طلا) کمتر بوده و با افزایش نسبت نقره به طلا و نسبت فلزات پایه به فلزات گرانبها افزایش می‌یابد (Albinson et al., 2001). بررسی نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری پیراژینو (Pirajno, 2009) در کانسار طلای چاه‌مراد نشان می‌دهد کمپلکس چیره برای حمل طلا، کمپلکس سولفیدی است (شکل ۱۲).

شوری در سیال‌های گرمابی در کانسارهای اپی‌ترمال در محدوده گسترده‌ای متفاوت بوده و در ۹۰ درصد موارد از صفر تا ۱۷ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. از آنجا که کلر، که در طیف گسترده‌ای از شرایط مهم‌ترین لیگاند کمپلکس‌ساز برای فلزات پایه و نقره است (Seward, 1989)، در فاز بخار در زیر دمای ۳۷۰ درجه‌سانتی‌گراد حلالیت بسیار کمی دارد؛ بنابراین، همگام با تولید بخار در رخداد جوشش، کلر موجود در فاز مایع باقی‌مانده و پیرو آن، شوری افزایش می‌یابد (Henley et al., 1984). بدین ترتیب شوری با محتوای فلزی سیستم ارتباط داشته و در نتیجه نقره و عناصر پایه در محیط‌های اپی‌ترمال به‌طور عمده به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌شوند. این کمپلکس در شرایط احیا و pH خنثی در حمل



شکل ۱۲- نمودار دمای همگن‌شدن در برابر شوری برای تعیین کمپلکس حامل فلز در کانسار چاه‌مراد (برگرفته از Pirajno, 2009). A و B) نمودارها نشان‌دهنده محدوده‌هایی هستند که در آن به ترتیب کلرید و سولفید کمپلکس‌های چیره موجود در سیال هستند. (دایره آبی: کوارتز نسل اول (Q1)، دایره سبز: کوارتز نسل دوم (Q2)، دایره نارنجی: کوارتز نسل سوم (Q3)، دایره قرمز: اسفالریت (Sp)).

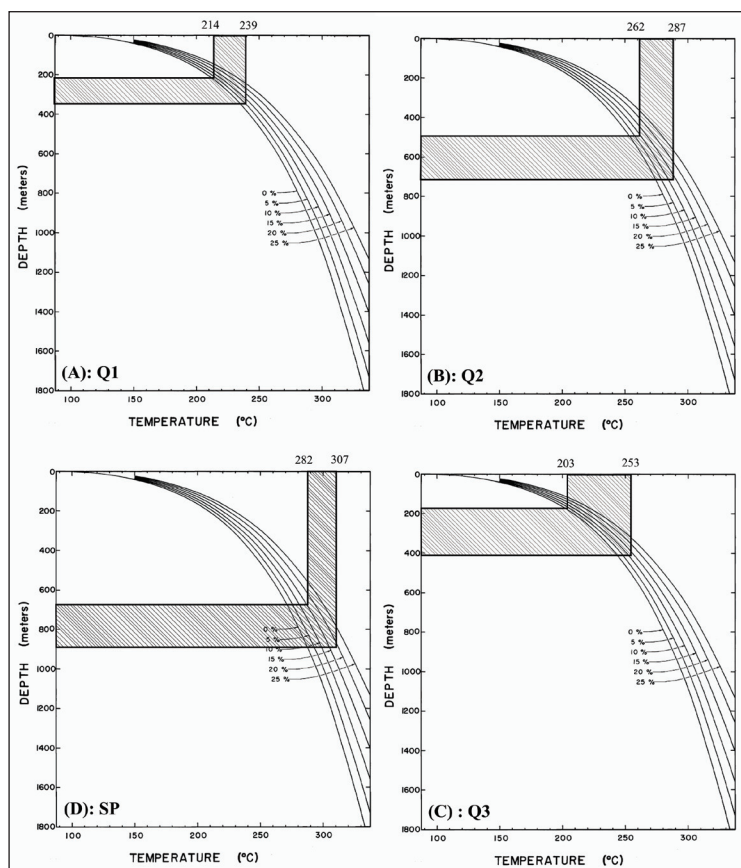
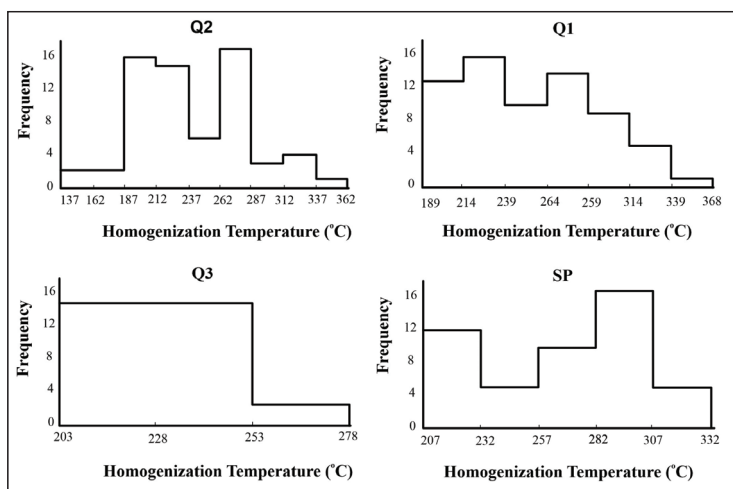
Figure 12. Diagram of homogenization temperature vs. salinity to determine the metal-bearing complex in the Chah-Morad deposit (after Pirajno, 2009). A and B) The diagrams indicate the ranges where chloride and sulfide are the dominant complexes in the fluid, respectively. (Blue circle: the first generation of quartz (Q1), green circle: the second generation of quartz (Q2), orange circle: the third generation of quartz (Q3), red circle: sphalerite (Sp)).

جوشش باشد (Maanijou et al., 2012). بررسی ژرفای به دست آمده توسط دمای همگن‌شدگی و با استفاده از نمودار هاس (Hass, 1971) برای میانبارهای نسل‌های مختلف در کانسار چاه‌مراد نشان می‌دهد (شکل ۱۴) ژرفای تشکیل اسفالریت بیشتر از ژرفای تشکیل نسل‌های مختلف کوارتز است، به‌طوری‌که ژرفای تشکیل کوارتز نسل اول حدود ۲۱۰ تا ۳۸۰ متر، کوارتز نسل دوم حدود ۴۸۰ تا ۷۰۰ متر، کوارتز نسل سوم حدود ۱۹۰ تا ۴۱۰ متر و برای اسفالریت حدود ۴۹۰ تا ۹۰۰ متر برآورد می‌شود.

مطالعه دمای همگن‌شدگی در نمونه‌های کانسار طلای چاه‌مراد نشان می‌دهد که بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال متعلق به نسل‌های مختلف کوارتز، کمتر از ۳۰۰ درجه‌سانتی‌گراد است (شکل ۱۳). با توجه به شکل ۱۰ این موضوع بیانگر آن است که نمونه‌های مورد بررسی از بالای افق جوشش برداشت شده و می‌توان عیارهای خوبی از طلا در این ژرفا متصور بود. اما بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی در میانبارهای سیال متعلق به اسفالریت دماهای ۲۸۲ تا ۳۰۷ درجه‌سانتی‌گراد است که می‌تواند نشان‌دهنده برداشت این نمونه از زیر سطح

شکل ۱۳- نمودار فراوانی دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال کانسار چاه‌مراد که نشان می‌دهد بیشترین فراوانی دما مربوط به دماهای زیر ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد است. (مخفف‌ها: Q1: نسل اول کوارتز، Q2: نسل دوم کوارتز، Q3: نسل سوم کوارتز، Sp: اسفالریت).

Figure 13. Homogenization temperature frequency histogram of the fluids involved in the Chah-Morad deposit, which shows the highest temperature frequency is related to temperatures below 300°C (Abbreviations: Q1: the first generation of quartz, Q2: the second generation of quartz, Q3: the third generation of quartz, Sp: sphalerite).



شکل ۱۴- نمودار دمای همگن‌شدگی برای تخمین ژرفای سیال به دام افتاده در کانسار اپی‌ترمال چاه‌مراد (برگرفته از هاس - Hass, 1971)، A) کوارتز نسل اول (Q1)، B) کوارتز نسل دوم (Q2)، C) کوارتز نسل سوم (Q3)، D) اسفالریت (Sp).

Figure 14. Homogenization temperature diagram to estimate depth of fluid inclusion in Chah-Morad deposit (after Hass, 1971), A) The first generation of quartz (Q1), B) The second generation of quartz (Q2), C) The third generation of quartz (Q3), D) sphalerite (Sp).

۵- نتیجه‌گیری

حفره‌های برشی، کلسیت با بافت تیغه‌ای و وجود نوارهای کوارتز کلوفرمی-قشری. همچنین از ویژگی‌های میانبارهای سیال که گویای رخداد فرایند جوشش در این کانسار است، می‌توان به وجود میانبارهایی با نسبت متفاوت مایع و بخار با یکدیگر، همیافتی میانبارهای سیال تک فازی مایع با میانبارهای تک فازی بخار، روند افزایش شوری سیالات با کاهش دمای همگن‌شدن در میانبارهای سیال و در نهایت، حضور

مطالعه رخداد جوشش، ابزار ارزشمندی را برای بررسی‌های دقیق‌تر و جامع‌تر روندهای اکتشاف در کانسارهای اپی‌ترمال فلزات گرانبهایی همانند طلا و نقره ارائه می‌نماید. ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی که در نتیجه رخداد جوشش در کانسارهای طلای اپی‌ترمالی چاه‌مراد دیده می‌شوند عبارتند از: حضور کانی آدولاریا به همراه کوارتز در رگه‌های میزبان کانی‌سازی، بافت برشی، بافت کلوفرمی در کوارتزهای نواری و

عیار طلا در قاعده زون جوشش وجود دارد و ویژگی‌های یاد شده، قابل تعمیم به کانسارهای اپی‌ترمال مشابه خواهند بود، از این رو، بررسی رخداد این فرایند، بسیار حائز اهمیت خواهد بود.

میانبارهای سیال با شوری‌های متفاوت اشاره داشت. خاطر نشان می‌سازد اشباع طلا از یک کمپلکس بی‌سولفیدی به دلیل از دست دادن H_2S به صورت فاز بخار به شدت توسط جوشش هدایت می‌شود، که در چاه‌مراد قابل پیگیری است. از آنجا که بهترین

کتابنگاری

- امرای، س. و نیرومند، ش.، ۱۳۹۵، بررسی‌های سنگ‌زمین‌شیمیایی، کانی‌شناسی، دگرسانی و مطالعه میانبارهای سیال در سامانه رگه‌ای طلا-مس‌دار کودکان محدوده اکتشافی کودکان، خراسان جنوبی. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، بهار ۱۳۹۵، شماره ۳، ۴۷-۴۹. <https://doi.org/10.22055/aag.2016.12143>.
- امیدوار، م. ر.، ۱۴۰۰، نقشه زمین‌شناسی چاه‌مراد. مقیاس ۱:۱۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امینی، ل.، معانی‌جو، م.، جان‌ناری، م. ر. و فتح‌تبار، س.، ۱۳۹۹، آشکارسازی هاله‌های دگرسانی کانسار طلای چاه‌مراد با استفاده از تصاویر ASTER، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه بوعلی. همدان. ایران. ۶۲۳ - ۶۳۲.
- رحمانی، ش.، ۱۳۹۷، کانی‌زایی طلا در کمربند طارم با نگرشی ویژه بر کانسار طلای لهنه (لوین)-زرد (شمال غرب ایران)، رساله دکترا، دانشگاه لرستان، دانشکده علوم پایه، ۳۰۸ ص.
- شیعیان، ک.، قلمقاش، ج.، وثوقی‌عابدینی، م. و مسعودی، ف.، ۱۳۹۴، زمین‌شناسی، ژئوشیمی و پتروژنز آتشفشان بزمان، جنوب خاوری ایران. مجله علوم زمین، سال بیست‌و‌چهارم، شماره ۹۵، ۹۹-۱۱۰. <https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42387>
- صالحی‌زیدی، م.، قربانی، م.، نظامی، ن. و وثوقی‌عابدینی، م.، ۱۴۰۱، نقش پی‌سنگ و ماگماتیسم جوان در کانه‌زایی طلای اپی‌ترمال و چندفلزی در منطقه تکاب-ماه‌نشان، شمال باختر ایران. مجله علوم زمین، شماره ۳۲، ص. ۱۴۵-۱۵۸. <https://sid.ir/paper/1040230/fa>.
- فاضلی، ط.، ۱۳۹۷، شیمی تورمالین و مطالعات سیالات درگیر در رگه‌های گرمایی برشی کوارتز-تورمالین طلادار کانسار ساری‌گونی، قروه، کرستان، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی، ۱۳۰ ص.

References

- Adams, S. F., 1920. A microscopic study of vein quartz. *Economic Geology*, 15 (8), 623-664. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.15.8.623>.
- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., and Mouthereau, F., 2005. Convergence history across Zagros (Iran): Constraints from collisional and earlier deformation, *International Journal of Earth Sciences*, 94, 401-419. <http://dx.doi.org/10.1007/s00531-005-0481-4>.
- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D., and Chomiak B., 2001. Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. *Society of Economic Geologists Special Publication*, 8, 1-32. <https://doi.org/10.5382/SP.08.01>.
- Aliani, F., Maanijou, M., Sabouri, Z., Sepahi, A. A., 2012. Petrology, geochemistry and geotectonic environment of the Alvand Intrusive Complex, Hamedan, Iran, *Chemie der Erde.*, 72 (4), 363-383. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2012.05.001>.
- Amini, L., Maanijou, M., Jannessary, M. R., and FathTabar, S., 2022. Alteration zone detection of Chah-Morad gold deposit using ASTER images. *12th symposium of Iranian Society of Economic Geology, Bu-Ali Sina university, Hamedan. Iran.* 623-632. (In persian).
- Amraei, S., and Niroomand, Sh. 2016. *Mineralogy, Alterations, Lithogeochemical Investigations and Fluid Inclusions Studies in Kudkan Cu-Au Mineralization Area, Southern Khorasan, Iran, Vol 6, Issue 1, S.N.19, p. 34-47.* <https://doi.org/10.22055/aag.2016.12143>. (In persian).
- André-Mayer, A.-S., Leroy, J., Bailly, L., Chauvet, A., Marcoux, E., Grancea, L., Llosa, F., and Rosas, J., 2002. Boiling and vertical mineralization zoning: a case study from the Apacheta low-sulfidation epithermal gold-silver deposit, south Peru. *Mineralium Deposita*, 37, 452 - 464. <http://dx.doi.org/10.1007/s00126-001-0247-2>.
- Berberian, M., and King, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18, 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Berger, B. R., and Eimon, P., 1983. Conceptual models of epithermal precious metal deposits. In: Shanks WC III Cameron volume on unconventional mineral deposits. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 91-205.
- Biabangard, H., and Moradian, A., 2008. Geology and geochemical evaluation of Taftan Volcano, Sistan and Baluchestan Province, southeast of Iran, *Chinese Journal of Geochemistry*, 27, 356-369. <https://dx.doi.org/10.1007/s11631-008-0356>.
- Bigdeli, R., Tale Fazel, E., Maanijou, M., 2021. Mineralization, ore mineral chemistry and sulfur stable isotopes at the Chaldaq gold prospect (north Takab): evidence for gold formation mechanism. *Journal of Economic Geology*, 13 (1), 85-111. <https://dx.doi.org/10.22067/econg.v13i1.83781>.
- Bodnar, R. J., 1992. Revised equation and table for determininig the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 57, 683-684.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J., and Kuehn, C. A., 1985. Fluid-inclusion systematics in epithermal systems. *Reviews in Economic Geology*, 2, 1-24. <https://doi.org/10.5382/Rev.02.05>.
- Browne, P. R. L., 1978. Hydrothermal alteration in active geothermal fields. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6, 229-248. <https://doi.org/10.1146/annurev.ea.06.050178.001305>.

- Browne, P. R. L., and Ellis, A.J., 1970. The Ohaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand, mineralogy and related geochemistry. *Am. J. Sci.* 269, 97–131. <https://doi.org/10.2475/ajs.269.2.97>.
- Buchanan, L. J., 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the Southwest. *Arizona Geological Society Digest*, 14, 237-262.
- Candela, Ph., A., 1997. A Review of Shallow, Ore-related Granites: Textures, Volatiles, and Ore Metals. *Journal of Petrology*, 38 (12), 1619–1633, <https://doi.org/10.1093/etroj/38.12.1619>.
- Canet, C., Franco, S.I., Prol-Ledesma, R.M., González-Partida, E., and Villanueva-Estrada, R.E., 2011. A model of boiling for fluid inclusion studies: application to the Bolaños Ag–Au–Pb–Zn epithermal deposit, Western Mexico. *J. Journal of Geochemical Exploration*, 110 (2), 118 – 125. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.04.005>.
- Christie, A. B., Simpson, M. P., Brathwaite, R. L., Mauk, J. L., and Simmons, S. F., 2007. Epithermal Au-Ag and related deposits of the Hauraki goldfield, Coromandel volcanic zone, New Zealand. *Economic Geology*, 102 (5), 785–816. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.5.785>.
- Cline, J. S., Bodnar, R. J., and Rimstidt, J. D., 1992. Numerical simulation of fluid flow and silica transport and deposition in boiling hydrothermal solutions: Application to epithermal gold deposits. *Journal of Geophysical Research*, 97, B6, 9085-9103. <https://doi.org/10.1029/91JB03129>.
- Cole, D. R., and Drummond, S. E., 1986. The effect of transport and boiling on Ag/Au ratios in hydrothermal solutions: a preliminary assessment and possible implications for the formation of epithermal precious-metal ore deposits. *Geochem Explor*, 25 (1-2), 45–79, [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(86\)90007-5](https://doi.org/10.1016/0375-6742(86)90007-5).
- Cooke, D. R., and Simmons, S. F., 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits. *Economic Geology*, 13, 221–244, <https://doi.org/10.5382/Rev.13.06>.
- Dong, G., and Morrison, G. W., 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland; morphology, structural state and origin. *Miner Deposita*, 30, 11-19, doi:10.1007/BF00208872.
- Dong, G., Morrison, G., and Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland; classification, origin and implication. *Economic Geology*, 90 (6), 1841-1856, <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.90.6.1841>.
- Dong, L. L., Wan, B., Deng, C., Cai, K. D., and Xiao, W.J., 2018. An Early Permian epithermal gold system in the Tulasu Basin in North Xinjiang, NW China: constraints from in situ oxygen-sulfur isotopes and geochronology. *Asian Earth Sci.* 153, 412–424, doi: 10.1016/j.jseas. 2017.07.044.
- Drummond, S. E., and Ohmoto, H., 1985. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Economic Geology*, 80, 126–147, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.1.126>.
- Esmaeli, M., Lotfi, M., and Nezafati, N., 2015. Fluid inclusion and stable isotope study of the Khalyfehlou copper deposit, southeast Zanjan, Iran. *Arab. J. Geosci*, 8, 9625–9633, <https://doi.org/10.1007/s12517-015-1907-3>.
- Fazeli, T., 2019. *Tourmaline chemistry and fluid inclusion studies of brecciated hydrothermal Au-bearing quartz-tourmaline veins at Sari Gunay deposit, Ghorveh, Kurdistan, Thesis Submitted for Degree of Masters of Science, Kharazmi University, Faculty of Earth Sciences, Department of Geochemistry, 130 p. (In persian).*
- Fournier, R.O., 1985. The behavior of silica in hydrothermal solution. *Economic Geology*, 2, <https://doi.org/10.5382/Rev.02.03>.
- Ghalamghash, J., Schmitt, A. K., Shiaian, K., Jamal, R., and Sun-Lin Chung, 2018. Magma origins and geodynamic implications for the Makran-Chagai arc from geochronology and geochemistry of Bazman volcano, Southeastern Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 171, 2-53, <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2018.12.006>.
- Glennie, K. W., 2000. Cretaceous tectonic evolution of Arabia eastern plate margin of two oceanic, in Middle East models of Jurassic/Cretaceous carbonates systems, SEPM, Special Publications, Tulsa, USA, 69, 9-20, <https://doi.org/10.2110/pec.00.69.0009>.
- Grof, J. A. 2019. Evidence of boiling and epithermal vein mineralization in Carlin-type deposits on the Getchell trend, Nevada, *Ore Geology Reviews*, 106, 340–350, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.013>.
- Gunnarsson, I., and Arnórsson, S., 2000. Amorphous silica solubility and the thermodynamic properties of H₄SiO₄ in the range 0° to 350°C at Psat, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64 (13), 2295-2307, [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00426-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00426-3).
- Haas, J. L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology*, 66 (6), 940–946, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.66.6.940>.
- Heald, P., Floey, N. K., and Hayba, D. O., 1987. Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits: Acid-sulfate and adularia-sericite types. *Economic Geology*, 82 (1), 1–26, <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.82.1.1>.
- Hedenquist, J. W., and Arribas, A., 2017. Epithermal ore deposits: first-order features relevant to exploration and assessment. *Mineral Resources to Discover - 14th SGA Biennial Meeting 2017*, 1, 47-50.
- Hedenquist, J. W., and Henley, R. W., 1985. The importance of CO₂ on freezing point measurements of fluid inclusions; Evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition, *Economic Geology*, 80 (5), 1379-1406, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.80.5.1379>.

- Hedenquist, J. W., Arribas, A., and Gonzalez - Urien, E., 2000. Exploration for epithermal gold deposits. *Economic Geology*, 13, 245–277, <https://doi.org/10.5382/Rev.13.07>.
- Hedenquist, J. W., Sillitoe, R. H., and Arribas, A., 2004. Characteristics of and exploration for high-sulfidation epithermal Au-Cu deposits. In: Cooke, D. R., Deyell, C. L., Pongratz, J., (eds.), 24 Carat Gold Workshop: Centre for Ore Deposit Research, Special Publication, 5:99-110.
- Helgeson, H. C., 1969. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. *American Journal of Science*, 267 (7), 729-804, <https://doi.org/10.2475/ajs.267.7.729>.
- Henley, R. W., and Brown, K. L., 1985. A practical guide to the thermodynamics of geothermal fluids and hydrothermal ore deposits. *Reviews in Economic Geology*, 2, 25-44, <https://doi.org/10.5382/Rev.02.02>.
- Henley, R. W., and Ellis, A. J., 1983. Geothermal systems ancient and modern: a geochemical review. *Earth Science Reviews*, 19, 1-50, [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(83\)90075-2](https://doi.org/10.1016/0012-8252(83)90075-2).
- Henley, R. W., and Hughes, G. O., 2000. Underground fumaroles: "Excess heat" effects in vein formation. *Economic Geology*, 95 (3), 453-466, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.3.453>.
- Henley, R. W., Truesdell, A. H., and Barton, P. B., Jr., 1984. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems: Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology*, 1, 267 p, <https://doi.org/10.5382/Rev.01>.
- Herdianita, N. R., Rodgers, K. A., and Browne, P. R. L., 2000. Routine instrumental procedures to characterise the mineralogy of modern and ancient silica sinters, *Geothermics*, 29, 65-81, <https://doi.org/10.1016/S0375-6505%2899%2900054-1>.
- Jébrak, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein - type ore deposits: a review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews*, 12 (3), 111–134, [https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00009-7).
- Jobson, D. H., Boulter, C. A., Foster, R. P., 1994. Structural controls and genesis of epithermal gold-bearing breccias at the Lebong Tandai mine, Western Sumatra, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration*, 50 (1-3), 409–428, [https://doi.org/10.1016/0375-6742\(94\)90034-5](https://doi.org/10.1016/0375-6742(94)90034-5).
- Koděra, P., Lexa, J., Fallick, A. E., Wälle, M., and Biroň, A., 2014. Hydrothermal fluids in epithermal and porphyry Au deposits in the Central Slovakia Volcanic Field. *Geological Society London Special Publications*, 402 (1), 177–206, <http://dx.doi.org/10.1144/SP402.5>.
- Maanijou, M., and Ferdowsi Rashed, M., 2021. Fluid inclusions and sulfur stable isotopes of the Sarab 3 iron ore deposit (the Shahrak mining area-north Bijar), *Journal of Economic Geology*, 12 (4), 531-561, Doi.10.22067/ECONG.V12I4.78330.
- Maanijou, M., Rasa, I., and Lentz, D., 2012, Petrology, Geochemistry, and Stable Isotope Studies of the Chehelkureh Cu-Zn-Pb deposit, Zahedan, *Economic Geology*, 107 (4), 683– 712. <https://doi.org/10.2113/econgeo.107.4.683>.
- Moncada, D., 2008. Application of fluid inclusions and mineral texture in exploration for epithermal precious metals deposits. Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirement for the degree of Master of Science in Geosciences.
- Moncada, D., Mutchler, S., Niebto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D., and Bodnar, R. J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 114(12): 20–35, <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.12.001>.
- Omidvar, M., 2022. *Geological of map. Scale 1:1000, Geological survey and mineral explorations of Iran. (In persian)*.
- Parry, W. T., and Bruhn, R. L., 1990. Fluid Pressure Transients on Seismogenic Normal Faults, *Tectonophysics* 179 (1-3), 335-344, [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(90\)90299-N](https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90299-N).
- Pirajno, F. 2009. Metalliferous sediments and sedimentary rock-hosted stratiform and/or stratabound hydrothermal mineral systems. In *Hydrothermal Processes and Mineral Systems* (pp. 727-883). Springer, Dordrecht.
- Rahmani, Sh., 2019. *Gold Mineralization in Tarom belt with Specific Reference to Lohneh (Lubin) - Zardeh Gold deposit (NW Iran). A thesis Presented for the degree of PhD of Science in Economic Geology. Lorestan University, Faculty of Basic Sciences, Department of Geology. 308 p. (In persian)*.
- Richards, J. P., and Sholeh, A., 2016. The Tethyan tectonic history and Cu-Au metallogeny of Iran, *Tectonics and Metallogeny of the Tethyan Orogenic Belt*, Society of Economic Geologists Special Publication No. 19, 193–212, <https://doi.org/10.5382/SP.19.07>.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., and Fletcher, T., 2012, High Sr/Y magmas reflect arc maturity, high magmatic water content, and porphyry Cu ± Mo ± Au potential: Examples from the Tethyan arcs of central and eastern Iran and western Pakistan: *Economic Geology*, v. 107, p. 295–332. DOI:10.2113/econgeo.107.2.295.
- Rinne, M. L., Cooke, D. R., Harris, A. C., Finn, D. J., Allen, C. M., Heizler, M. T., and Creaser, R. A., 2018. Geology and geochronology of the Golpu porphyry and Wafi epithermal deposit, Morobe Province, Papua New Guinea. *Economic Geology*, 113 (1), 271–294, <https://doi.org/10.5382/econgeo.2018.4551>.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Rev. Mineral*, 12, 646p.
- Roedder, E., and Bodnar, R.J., 1997. Fluid inclusion studies of hydrothermal ore deposits. In: Barnes, H.L. Ed., *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*. Wiley, New York, pp. 657– 697.
- Rogers, A.F., 1918. The occurrence of cristobalite in California. *American Journal of Science*, 45 (267), 222–226.

- Salehi Yazdi, M., Ghorbani, M., Nezafati, N., and Vossoughi Abedini, M. 2022. The role of basement and young magmatism in epithermal gold and polymetallic mineralization in Takab-Mahnesan area, NW Iran, *Scientific Quartely Journal, Geosciences*, vol 32, Issue. 3, Serial No. 125. 145-158. <https://sid.ir/paper/1040230/fa>. (In persian).
- Sander, M. V., and Black, J. E., 1988. Crystallization and recrystallization of growthzoned vein quartz crystals from epithermal systems: implications for fluid inclusion studies. *Economic Geology*, 83 (5), 1052-1060, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.83.5.1052>.
- Scott, A. M., and Watanabe, Y., 1998. Extreme boiling model for variable salinity of the Hokko low sulfidation epithermal Au prospect, southwestern Hokkaido, Japan. *Mineralium Deposita*, 33, 568–578, <https://doi.org/10.1007/S001260050173>.
- Scott, S., Gunnarsson, I., Arnórsson, S., and Stefánsson, A., 2014. Gas chemistry, boiling and phase segregation in a geothermal system, Hellisheidi, Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 124, 170–189, <https://doi.org/10.1016/j.gca.2013.09.027>.
- Sebere, D., Vallve, M., Sandvol, E., Steer, D., and Barazangi, M., 1997. Middle East tectonics, applications of Geographic information systems (IGS). *Gas today*, 7 (2):1-6.
- Seward, T. M., 1989. The hydrothermal chemistry of gold and its implications for ore formation: boiling and conductive cooling as examples. *Economic Geology*, 6, 394–404, <https://doi.org/10.5382/Mono.06.31>.
- Seward, T. M., and Barnes, H. L., 1997. Metal transport by hydrothermal ore fluids. In: Barnes, H.L. (Ed.), *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley and Sons, New York, pp. 435–486.
- Shenberger, D. M., and Barnes, H. L., 1989. Solubility of gold in aqueous sulfide solutions from 150 to 350°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53 (2), 269-278, [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(89\)90379-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90379-7).
- W Shimizu, T., 2014. Reinterpretation of quartz textures in terms of hydrothermal fluid evolution at the koryu Au-Ag deposit. *Economic Geology*, 109 (7), 2051–2065, <https://doi.org/10.2113/econgeo.109.7.2051>.
- Sholeh, A., Rastad, E., Huston, D.J., Gemmell, B., and Taylor, R.D., 2016. The Chahnalay low-sulfidation epithermal gold deposit, Western Makran Volcanic Arc, Southeast Iran. *Economic Geology*, 111, 619–639, <https://doi.org/10.2113/econgeo.111.3.619>.
- Siddiqui, R. H., Khan, M. A., Qasim Jan, M., and Ogasawara, M., 2009. Petrogenesis of Plio-Pleistocene volcanic rocks from the Chagai arc, Balochistan, Pakistan, *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 42, 1-24.
- Sillitoe, R.H., and Hedenquist, J. W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. In Simmons SF, Graham I (eds) *Soc Economic Geology Spec Pub*, 10, 315-343, <https://doi.org/10.5382/SP.10.16>.
- Simmons, S. F., and Browne, P. R. L., 2000. Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low-sulfidation epithermal environments. *Economic Geology*, 95, 971–1000, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.95.5.971>.
- Simmons, S. F., and Christenson, B. W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science*, 294 (3), 361-400, <https://doi.org/10.2475/ajs.294.3.361>.
- Simmons, S. F., Simpson, M. P., and Reynolds, T. J., 2007. The significance of clathrates in fluid inclusions and the evidence for overpressuring in the broadlands-Ohaaki geothermal system, New Zealand. *Economic Geology*, 102, 127–135, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.1.127>.
- Simmons, S. F., White, N. C., and John, D. A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: Hedenquist, J.W., Thompson, J.F.H., Goldfarb, J.R., Richards, J.P. (Eds.), *Economic Geology*. 100th Ann. Vol., pp. 485–522, <https://doi.org/10.5382/AV100.16>.
- Simpson, C. R. J., 1996. The formation of banded epithermal quartz veins at the Golden Cross mine, Waihi, New Zealand. MSc Thesis, University of Auckland, pp 100.
- Simpson, C. R. J., Mauk, J. L., and Arehart, G. B., 1995. The formation of banded epithermal quartz veins at the Golden Cross mine, Waihi, New Zealand. *Pacrim Congress '95, Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, p. 455-450
- Simpson, M. P., Mauk, J. L., and Simmons, S. F., 2001. Hydrothermal alteration and hydrologic evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag deposit, New Zealand. *Economic Geology*, 96 (4), 773–796, <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.96.4.773>.
- Sorby, H. C., 1858. On the microscopic structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks. *Quart. Journal of the Geological Society*. London 14, 453–500, <https://doi.org/10.1144/GSL.JGS.1858.014.01-02.44>.
- Taylor, P. S., 1971. Mineral variations in the silver veins of Guanajuato, Mexico., Unpublished Ph. D. dissertation, Dartmouth College, Hanover, NH, 136 pp.
- Van den Kerkhof, A. M., and Hein, U. F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos*, 55(1-4), 27-47, [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00037-2](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2).
- Wanga, L., Qina, Zh-K., Songc, G., and Li, G-M. 2019. A review of intermediate sulfidation epithermal deposits and subclassification. *Ore Geology Reviews*, 107. 434–456, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.02.023>.
- Wilkinson, J. J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229–272, [http://dx.doi.org/10.1016/S0024-4937\(00\)00047-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5).
- Zamanian, H., Rahmani, Sh., Zareisahamieh, R., Pazokia, A., and Yang, X. Y., 2020. Geochemical characteristics of igneous host rocks of Lubin-Zardeg Au-Cu deposit, NW Iran. *Ore Geology Reviews*, 122, 103496, <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103496>.