

Fluid inclusion and chemistry of sphalerite and chalcopyrite in the Gol-e-Zard and Baba-Gholleh Pb-Zn deposits (Central Sanandaj-Sirjan Zone)

Alireza Zarasvandi^{1*}, Elham Poursheikhi¹, Adel Saki¹

1- Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: Zn-Pb deposit, SEDEX, Gol-e-Zard, Baba Gholleh, Sanandaj-Sirjan Zone

1-Introduction

A wide variety of Zn-Pb deposits have been reported along the Malayer-Esfahan metallogenic belt (MEMB) in Iran. This metallogenic belt is part of the Sanandaj Sirjan Zone (SSZ). The Gol-e-Zard and Baba Gholleh Zn-Pb deposits are located in the middle part of the Isfahan-Malayer metallogenic belt. In this area, lead-zinc deposits are typically classified into two groups, i.e., SEDEX and MVT. The Gol-e-Zard Zn-Pb deposit (49°46'25" longitude and 33°26'40" latitude) is situated in the northeast of Aligodarz city, Lorestan Province. This deposit is formed in phyllite and slates with meta-sandstones of upper Triassic-Jurassic. According to the studies of Zarasvandi et al. (2014), this deposit has characteristics of the SEDEX Zn-Pb deposits. The Baba Gholleh Zn-Pb deposit (49°53'30" longitude and 33°33'20" latitude) is situated about 33 km southwest of the Khomeini in Arak Province. Prospect is a SEDEX-type deposit in which ore minerals occur predominantly with quartz veins and flat lenses, interbedded in the metamorphic host rocks (Ehya et al., 2008).

2-Methodology

Twenty-eight fluid inclusions for the Baba Gholleh deposit and 33 fluid inclusions for the Gol-e-Zard deposit in quartz containing mineralization were studied for microthermometry studies. Ten samples of sphalerite from the main mineralization veins of two deposits analyzed by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS). The analyses were carried out in the chemistry laboratory of Minerals Research Center to determine the chemistry of trace elements in sphalerites. Also, SEM- EDX analysis was performed in the central laboratory of Lorestan University on the chalcopyrite samples of two deposits. .

3- Results and discussion

The homogenization temperatures (Th) and salinity values were determined for the Gol-e-Zard and Baba-Gholleh deposits. Fluid inclusion studies indicate that the salinity of ore-bearing fluid is 15 to 17.5 wt% NaCl eq. There is a mean temperature of 181 °C for the Gol-e-Zard and 12 to 17 wt% NaCl eq. salinity with a mean temperature of 166 °C for the Baba Gholleh deposit. The values of In, Cu, Co / Ni, Cd / Fe, (In + Sn), and (Ag + Cu) were determined, and the related statistical parameters were obtained. Comparison of sphalerite compositions in these deposits with other deposits in the southern China showed a SEDEX origin for studied deposits (e.g., Meng xing, Huize, Dabaoshan, Baininchang deposits; Lin et al., 2011). In the In-Fe diagram, the sphalerite samples of both deposits were plotted within the range of the SEDEX deposits in southern China. The amount of cadmium vs. iron in the Baba Gholleh and Gol-e-Zard deposits are higher than the sphalerite of SEDEX deposits in southern China. However, the Co / Ni ratio is within the range of southern China samples.

4-Conclusions

The most relevant results obtained in this study include:

1- The Zn / Cd ratios in both Gol-e-Zard and Baba-Gholleh deposits are less than 200. Accordingly, they are analogous to that of metamorphic sediment deposits (Zhang, 1987). They were confirmed by the presence of phyllite host rocks and metamorphic sands in the studied deposits.

*Corresponding author: zarasvandi_a@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.31605.2060

Received 2019-11-15

Accepted 2020-07-31

- 2- The amount of gallium, mercury, and tin in the sphalerites of the Baba-Gholleh deposit is more than Gol-e-Zard deposit. It seems that the lower temperature of the mineralizing fluids in Baba-Gholleh compared to that of Gol-e-Zard deposit is the main factor in increasing these elements in the sphalerites of Baba Gholleh deposit.
- 3- The study of chalcopyrite samples of two deposits by SEM-EDX showed that there are many differences between the elements of these two deposits. For example, Mo, Sn, and Ga represent variable concentration in these deposits.
- 4- Baba-Gholleh Zn-Pb deposit is previously introduced as a vein type deposit based on geological evidence and the type of host rock, nevertheless new data regarding mineralogy and fluid inclusions imply for SEDEX type origin.
- 5- Most of the fluid inclusion data of both deposits are plotted in the range of SEDEX type deposits. Also, the predominant complex in metal transportation of deposits proved to be sulfide complexes.

References

- Lin, Y., Cook, N., Cristiana L.C., Yulong, Y., Zhang, Q., Tiegeng, L., Wei, G., Yulong, Y., Danyushevskiy, L., 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study. *Ore Geology Reviews* 39, 188-217.
- Zarasvandi, A., Sameti, M., Sadeghi, M., Rastmanesh, F., Pourkaseb, H., 2014. The Gol-e-Zard Zn-Pb deposit, Lorestan province, Iran: A metamorphosed SEDEX deposit. *ACTA Geologica Sinica* 88, 142-153.
- Zhang, Q., 1987. Trace elements in galena and sphalerite and their geochemical significance in distinguishing the genetic types of Pb-Zn ore deposits. *Geochemistry* 6, 177-190.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Zarasvandi, A., Poursheikhi, E., Saki, A., 2021. Fluid inclusion and chemistry of sphalerite and chalcopyrite in the Gol-e-Zard and Baba-Gholleh Pb-Zn deposits (Central Sanandaj-Sirjan zone). *Adv. Appl. Geol.* 11(1), 63-83.
DOI: 10.22055/aag.2020.31605.2060
url: https://aag.scu.ac.ir/article_15859.html?lang=en

بررسی میانبار سیال و شیمی کانی‌های اسفالریت و کالکوپیریت در ذخایر سرب و روی باباقله و گل زرد (بخش مرکزی زون سنندج - سیرجان)

علیرضا زراسوندی*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

الهام پورشیخی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

عادل ساکی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۰

*Zarasvandi_a@scu.ac.ir

چکیده

کانسار سرب و روی گل‌زرد در شمال شرقی الیگودرز در استان لرستان و کانسار سرب و روی باباقله در جنوب غربی شهرستان خمین در استان مرکزی قرار دارند. هر دو این کانسارها در بخش میانی زون سنندج - سیرجان و ایالت متالوژنی اصفهان - ملایر واقع شده‌اند. کانه‌زایی سرب و روی در کانسار گل زرد در تریاس بالایی تا ژوراسیک درون فیلیت، اسلیت و ماسه‌سنگ رخ داده و کانه‌زایی ذخیره باباقله پس از ژوراسیک میانی در فیلیت‌های سیاه ایجاد شده است. بر مبنای مطالعات زمین-شیمی، نسبت Zn/Cd در هر دو ذخیره کمتر از مقدار ۲۰۰ می‌باشد که در محدوده ذخایر رسوبی دگرگون شده قرار می‌گیرند. میزان عناصر Ga, Hg و Sn در اسفالریت‌های ذخیره باباقله بیشتر از ذخیره گل زرد است. مقدار این عناصر با میزان دمای سیال کانه‌ساز رابطه معکوس دارد. مقدار Co در بیشتر نمونه‌های گل زرد دارای مقدار بیشتری نسبت به نمونه‌های باباقله است. مقدار Co با دمای سیال کانه‌ساز رابطه مستقیم دارد. مطالعه SEM-EDX بر روی کالکوپیریت‌ها و آنالیز ICP-MS بروی اسفالریت‌های دو ذخیره نشان داد که مقدار کادمیوم در ذخیره گل زرد و میزان آهن در باباقله بیشتر است. مقادیر In, Cu و نسبت Co/Ni در اسفالریت‌های هر دو ذخیره گل زرد و باباقله در محدوده ذخایر SEDEX جنوب چین قرار می‌گیرند. براساس مطالعات سیالات درگیر، بیشترین فراوانی دمای تشکیل کانسار گل‌زرد (بر مبنای دمای همگن‌شدگی) بین ۱۴۵ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۱۸۱ درجه) و بیشترین فراوانی درجه شوری بین ۱۵ تا ۱۷/۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. در کانسار باباقله دمای همگن‌شدگی بین ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۱۶۶ درجه) و بیشترین فراوانی درجه شوری بین ۱۲ تا ۱۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است. سرب و روی باباقله و گل زرد براساس شواهد زمین‌شناسی و نوع سنگ میزبان، مطالعات کانی‌شناسی و سیالات درگیر از نوع ذخایر سرب و روی نوع SEDEX می‌باشند.

کلمات کلیدی: کانسار سرب و روی، سدکس، گل زرد، باباقله، ملایر- اصفهان

مقدمه

سیالات گرمایی کم دما از میان معابر موجود در رسوبات نهشته شده زیر سطح دریا و جاگذاری کانه‌های سرب و روی در عمق کم به‌وجود می‌آیند (Davis et al., 1998).

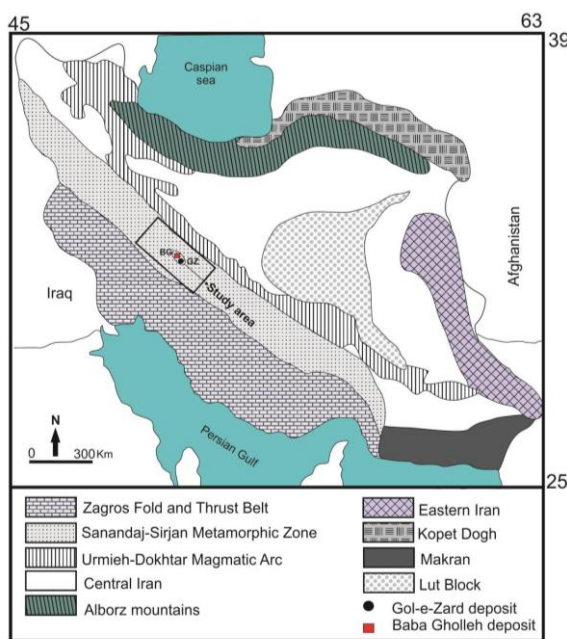
در کمر بند متالوژنی ملایر - اصفهان دو نوع ذخیره مهم سرب و روی، SEDEX و MVT وجود دارد. دو کانسار باباقله و گل‌زرد از جمله ذخایر سرب و روی بخش میانی این زون متالوژنی محسوب می‌شوند (شکل ۱). کانسار گل‌زرد با مختصات "۴۹°۴۶'۲۵" طول خاوری و "۳۳°۲۶'۴۰" عرض شمالی در ۱۰ کیلومتری شمال شرقی الیگودرز در استان لرستان قرار دارد. Farhadi-Nejad (1998) این کانسار را نوعی کانسار سرب و روی با سنگ میزبان ماسه‌سنگی مشابه تیپ لایزال (Laisvall) می‌داند. Zarasvandi و همکاران (2014) منشأ سدکس را برای این کانسار در نظر گرفته‌اند.

ذخایر SEDEX و MVT دو دسته اصلی ذخایر سرب و روی با میزبان رسوبی در جهان محسوب می‌شوند (Leach et al., 2010). هر نوع از این ذخایر دارای ویژگی‌های زمین‌شناسی، نحوه تشکیل و زمین‌شیمی خاص خود هستند. ذخایر برون‌دمی رسوبی (SEDEX) منبع اولیه سرب و روی می‌باشند (Large, 2005) و منابع مهمی برای بسیاری از فلزات پایه همچون Ag, Ba, Mo, Cu و Ni محسوب می‌شوند (Spinks et al., 2016; Li and Xi, 2015). بیشتر ذخایر بزرگ روی جهان در دسته ذخایر SEDEX قرار می‌گیرند. این ذخایر بیش از ۶۵ درصد منابع روی جهان را شامل می‌شوند (Goodfellow and Lydon, 2007). سیالات در فرآیند ایجاد ذخایر سدکس پس از متصاعد شدن در محیط دریا، فلزات را در رسوبات زیر سطح دریا برجای می‌گذارند (Fernandes and Gleeson, 2011) و طی عبور

استفاده از اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) به کمک استیج THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده با مدل Linkam متصل به میکروسکوپ ZEISS با دامنه حرارتی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد انجام شد و کالیبراسیون استیج در گرمایش با دقت ± 0.6 درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد آنهگزتان (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام گرفت. در این آنالیز تعداد ۲۸ سیال‌درگیر برای ذخیره باباقله و تعداد ۳۳ سیال‌درگیر برای ذخیره گل زرد در کوارتزهای حاوی کانه‌زایی مورد مطالعه قرار گرفت. همچنین به منظور تعیین شیمی عناصر فرعی در اسفالریت‌ها، تعداد ۱۰ نمونه کانی اسفالریت از رگه‌های اصلی کانه‌زایی دو ذخیره مورد آنالیز طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-MS) در آزمایشگاه شیمی مرکز تحقیقات مواد معدنی قرار گرفت. آنالیز SEM-EDX با مطالعه ۲۱ نقطه برای هر یک از کانی‌های کالکوپیریت دو ذخیره در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان انجام گردید. این آنالیز توسط دستگاه SEM-EDX با مدل FESEM ساخت کشور جمهوری چک انجام پذیرفت.

ذخیره باباقله با مختصات جغرافیایی "۳۰'۵۳" ۴۹° طول خاوری و "۲۰'۳۳" ۳۳° عرض شمالی در ۳۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خمین در استان مرکزی قرار دارد. نظریه‌های مختلفی در مورد منشأ آن ارائه شده است. (Momenzadeh 1986) رخداد باباقله را رگه‌ای نوع تله‌ترمال می‌داند، برخی دیگر از پژوهشگران این ذخیره را ناشی از تولید محلول‌های بالارونده‌ی حاوی سرب، روی و گوگرد به‌وسیله‌ی ماگماتیسم و آناتکسی عمیق و اختلاط این محلول‌ها با محلول‌های سطحی و ته‌نشست کانه‌ها در شکستگی‌ها و سازندهای کربناته می‌دانند (Kavoshgar Consulting Engineers, 1994). در نهایت Ehya و همکاران (2008) این ذخیره را نوع رگه‌ای معرفی می‌کنند. از اهداف اصلی این پژوهش تعیین دقیق نوع ذخیره سرب و روی باباقله و مقایسه شیمی کانی‌های سولفیدی (اسفالریت و کالکوپیریت) و سیال کانه‌زا در آن، با کانسار گل زرد به‌عنوان نزدیک‌ترین ذخیره سرب و روی به باباقله می‌باشد. در این تحقیق ذخیره سرب و روی باباقله و گل‌زرد از نظر کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، سیالات‌درگیر و فرآیند تشکیل مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته‌اند.

در انجام این پژوهش، به‌منظور بررسی ویژگی‌های سیال کانه‌ساز مطالعات ریزدماسنجی سیالات‌درگیر در کوارتزهای حاوی کانه‌زایی با



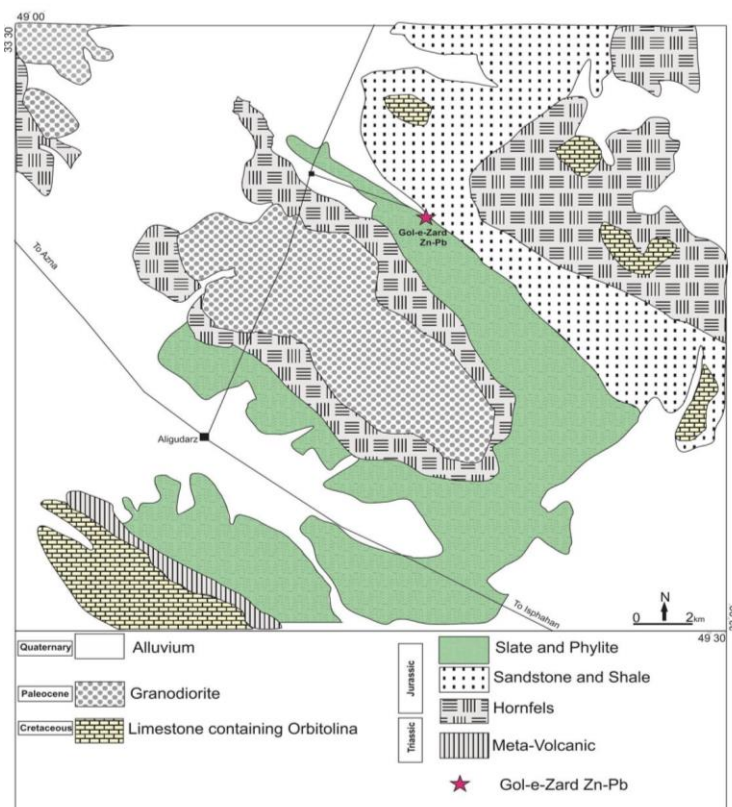
شکل ۱- پراکندگی ذخایر سرب و روی در زون‌های ساختاری ایران، مستطیل سیاه نشان‌دهنده کمربند متالوژنی ملایر- اصفهان (Zarasvandi et al., 2014).

Fig. 1. Distribution of Zn-Pb deposits in the main structural zones of Iran (rectangle is the Isfahan-Malayer belt). Modified after Zarasvandi et al. (2014).

فعال‌ترین زون ساختمانی در ایران محسوب می‌شود (Mehdipour et al., 2015; Aghanabati, 2006) ایالت متالوژنی ملایر- اصفهان در بخش میانی زون سنندج-سیرجان واقع شده است و این دو ذخیره در بخش مرکزی این ایالت قرار گرفته‌اند (شکل ۱).

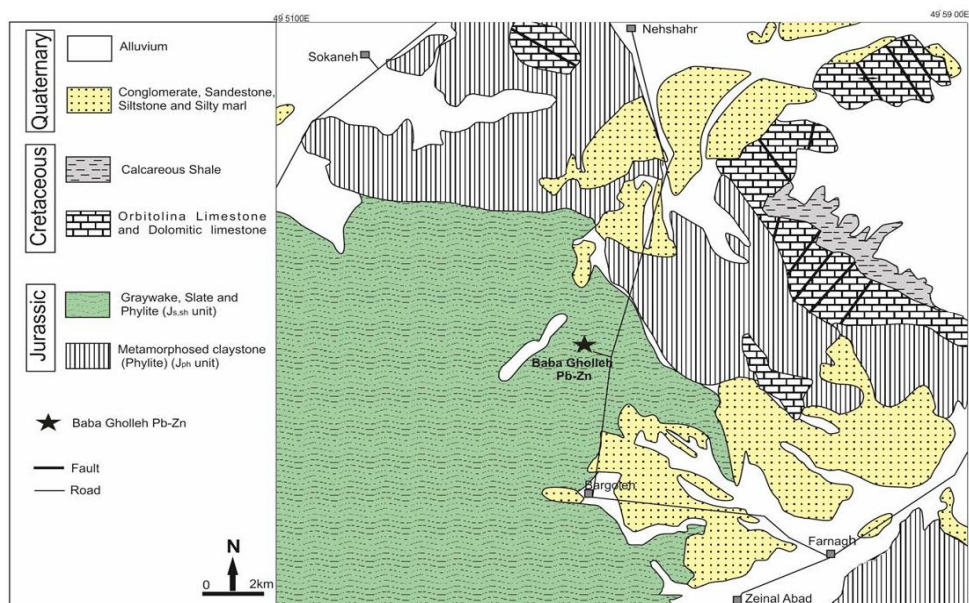
زمین‌شناسی

هر دو ذخیره سرب و روی باباقله و گل‌زرد از لحاظ تقسیم‌بندی زون‌های زمین‌شناسی در ایران، در زون سنندج - سیرجان قرار می‌گیرند. زون سنندج - سیرجان که به‌صورت یک نوار طویل به موازات روندانگی زاگرس قرار دارد، از نظر فعالیت‌های ماگمایی و دگرگونی



شکل ۲- نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه معدنی گل زرد در الیگودرز، با تغییرات از Soheili و همکاران (1992).

Fig.2. Simplified geological map of the Gol-e-Zard deposit in the Aligudarz region. Modified after Soheili et al. (1992).



شکل ۳- نقشه زمین شناسی ساده شده ناحیه باباقله، با تغییرات از Ehya و همکاران (2008).

Fig. 3. Simplified geological map of the Baba Gholleh deposit. Modified after Ehya et al. (2008).

سنگ‌های ناخالص دگرگون شده خاکستری رنگ می‌باشند. این واحد سنگی در محدوده معدنی دچار دگرشکلی شدید و به هم ریختگی شده است (Farhadi-Nejad, 1998) (شکل ۲).

در منطقه ذخیره باباقله قدیمی‌ترین واحد سنگی رخنمون یافته مربوط به سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک زیرین و میانی می‌باشد؛ که

قدیمی‌ترین رسوبات و گسترده‌ترین بیرون‌زدگی‌ها در ناحیه کانسار گل زرد مربوط به رسوبات تریاس بالایی ژوراسیک می‌باشد، به گونه‌ای که به‌ندرت رسوبات کرتاسه و رسوبات عهد حاضر در این منطقه رخنمون دارند (Sameti, 2013). رسوبات تریاس بالایی-ژوراسیک شامل توالی یکنواختی از فیلیت، کوارتز فیلیت و اسلیت متناوب با ماسه

بنابراین می‌توانند به صورت ایزومورف به جای Zn در اسفالریت جایگزین شوند (Zhang, 1987). میزان کادمیوم در کانسارهای نوع SEDEX معمولاً کمتر از ۲۰۰۰ ppm است (Schwartz, 2000)، بنابراین مقادیر کادمیوم در هر دو ذخیره در محدوده کانسارهای نوع SEDEX قرار می‌گیرد. در اسفالریت، Fe به عنوان اصلی ترین عنصر قابل جانشینی به جای Zn محسوب می‌شود (Monterio et al., 2006). میزان Fe در اسفالریت‌ها، روی رنگ آن تاثیر می‌گذارد به طوری که اسفالریت غنی از Fe تیره تر و نمونه‌های فقیر از Fe دارای رنگ روشن تری هستند. مقدار Fe رابطه مستقیمی با میزان فعالیت گوگرد و فشار در زمان تشکیل کانسنگ دارد. در شرایط ثابت بودن فشار مقدار آهن در شرایط افزایش دما زیاد می‌شود و در حالتی که دما ثابت باشد با افزایش فشار میزان آهن افزایش می‌یابد (Barnes, 1997). مقدار آهن در اسفالریت‌های کانسار با باقله از ۰/۹۷ تا ۱/۷۶ درصد وزنی با میزان میانگین ۱/۴۷ درصد به دست آمد. آهن در کانسار گل زرد در محدوده ۰/۱ تا ۲/۱۷ درصد وزنی با میانگین ۱/۳۷ درصد می‌باشد (جدول ۱). بالا بودن میزان گوگرد در اسفالریت‌ها و نیز کالکوپیریت‌های با باقله نسبت به گل زرد نشانه بالا بودن فعالیت گوگرد در سیال کانه‌زا، و به تبع آن افزایش این عنصر در کانه‌های سولفیدی است (Barnes, 1997) و احتمالاً عامل بالا بودن آهن در اسفالریت‌ها (و نیز کالکوپیریت که در ادامه به آن پرداخته می‌شود) می‌باشد.

Zhang (1987) بر اساس میزان آهن در برابر کادمیوم دو محدوده برای ذخایر سرب و روی تعریف می‌کند. یکی محدوده A که ذخایر با میزان رسوبی هستند و حاوی کمتر از ۵ درصد وزنی آهن می‌باشد و محدوده B که ذخایر همراه با ماگماتیسیم می‌باشند و حاوی مقادیر آهن بیش از ۵ درصد هستند. بر این اساس هر دو ذخیره با باقله و گل زرد در ناحیه A قرار می‌گیرند و جزء سرب و روی با میزان رسوبی هستند که تاییدی بر مشاهدات و مطالعات صحرایی و کانی‌شناسی آنها می‌باشد (شکل ۵).

Zhang (1987) بر مبنای نرخ Zn/Cd نیز، ذخایر سرب و روی را دسته‌بندی کرد به گونه‌ای که ذخایر رسوبی دگرگون شده در محدوده کمتر از ۲۰۰ قرار می‌گیرند. نسبت Zn/Cd در ذخیره با باقله در محدوده ۱۰۷/۰۷ تا ۱۸۳/۲۶ و با مقدار میانگین ۱۵۳/۴۹ می‌باشد و این نسبت برای کانسار گل زرد در محدوده ۹۹/۴۱ تا ۱۶۲/۵۳ و با میانگین ۱۳۱ هست، بنابراین مقادیر این پارامتر برای هر دو ذخیره در محدوده ذخایر رسوبی دگرگون شده قرار می‌گیرد و سنگ میزان فیلیتی برای ذخایر هر دو ذخیره موید این موضوع است (جدول ۱).

واحد ژوراسیک زیرین (J_{ph}) شامل سرسیت-کلریت شیبست‌های خاکستری تا سیاه رنگ شدیداً چین‌خورده می‌باشد که در نتیجه دگرگونی سنگ‌های پلیتی رسی، سیلتی و کمی ماسه‌ای دانه ریز تشکیل شده‌اند (Ehya et al., 2008). واحد سنگی ژوراسیک میانی (J_{s,sh}) متشکل از شیل‌های سیلتی و رسی و تا حدی فیلیتی می‌باشد که به طور ناپیوسته بر روی فیلیت‌های همدان قرار دارد (Sahandi et al., 2006). فیلیت‌های سیاه در واحد ژوراسیک میانی (J_{s,sh}) در واقع سنگ میزبان کانسنگ ذخیره با باقله محسوب می‌شوند. این فیلیت‌های سیاه همراه با میان لایه‌های ماسه سنگ گری‌وکی دگرگون شده هستند. کنگلومرا، سیلتستون، مارن سیلتی و آبرفت جوان‌ترین نهشته‌های رسوبی در ناحیه با باقله محسوب می‌شوند که دارای سن ترشیاری تا کواترنری می‌باشند (Ehya et al., 2008) (شکل ۳).

کانی‌شناسی

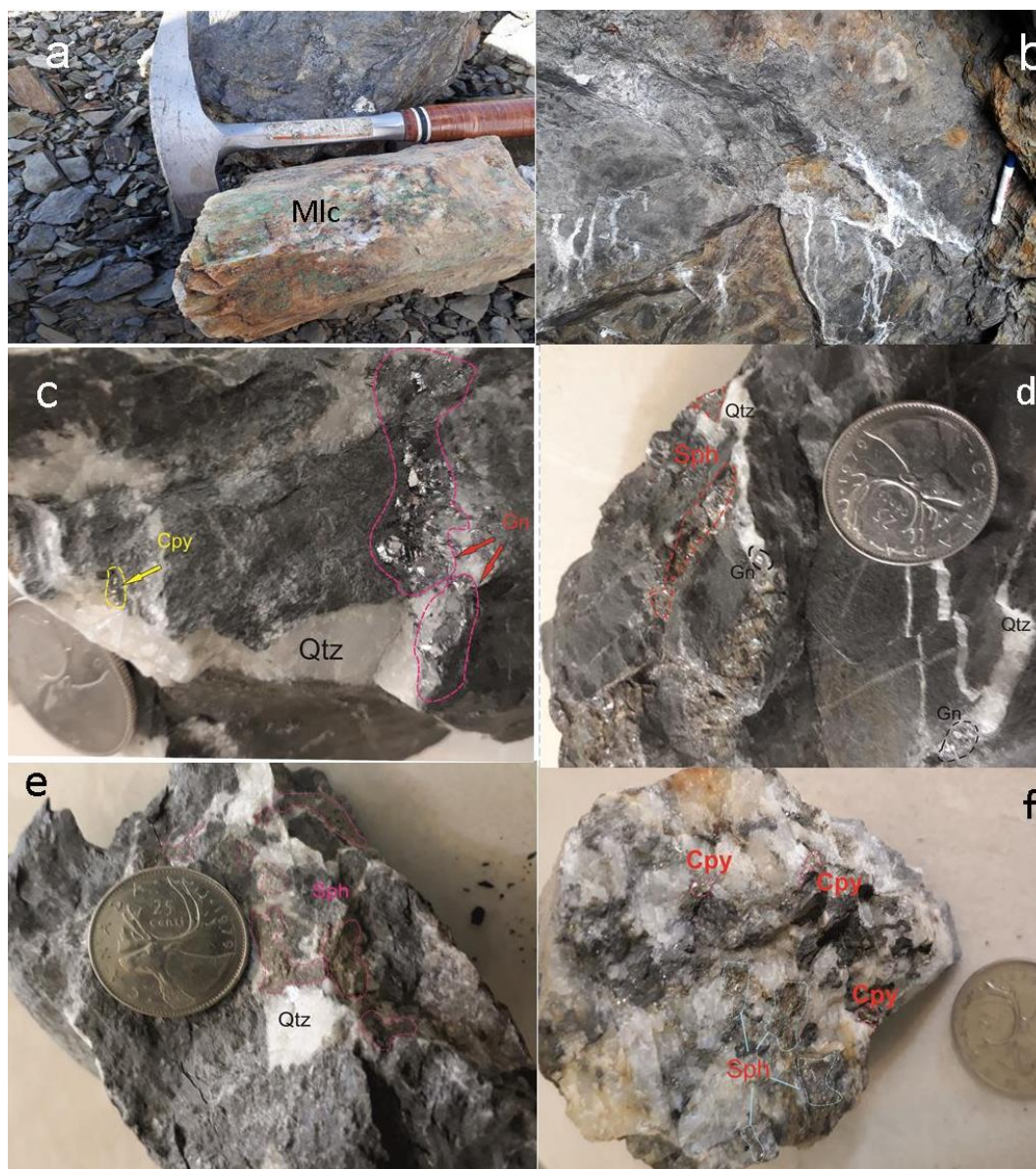
دو ذخیره با باقله و گل زرد همانند دیگر کانسارهای سرب و روی کانی‌شناسی ساده‌ای دارند (Xue et al., 2007) کانی‌شناسی گل زرد شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت و مالاکیت می‌باشد. اسفالریت‌ها به صورت عدسی‌های متوسط تا درشت در سنگ میزبان فیلیتی قرار دارند (شکل a و b). گالن به صورت رگه - رگچه‌ای و بیشتر در امتداد رگه‌های کوارتزی قرار دارد (شکل c و d). کالکوپیریت نیز به شکل دانه‌های پراکنده بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار در سنگ میزبان فیلیتی-ها حضور دارد (شکل c).

اسفالریت و گالن در ذخیره با باقله به عنوان کانه‌های اصلی به شمار می‌روند. در این ذخیره اسفالریت‌ها به صورت دانه‌های بی‌شکل می‌باشند و گالن نیز به صورت بلورهای ریز در سنگ میزبان پراکنده است. حضور فراوان تر کالکوپیریت نسبت به پیریت در هر دو ذخیره نشانه مقادیر بالای مس است (شکل e و f).

بحث و بررسی

زمین‌شیمی

نتایج حاصل از آنالیز اسفالریت‌های دو ذخیره توسط ICP-MS نشان داد مقدار کادمیوم در اسفالریت‌های کانسار گل زرد از ۱۰۰ ppm تا ۱۴۴۶ ppm متغیر است و مقدار میانگین آن ۹۹۲ ppm می‌باشد. کادمیوم در اسفالریت‌های کانسار با باقله در محدوده ۵۳۶ ppm تا ۱۱۳۷ ppm با مقدار میانگین ۷۶۵ ppm وجود دارد (جدول ۱). عناصر Fe و Cd عناصر کالکوفیل می‌باشند و شعاع یونی نزدیک به Zn دارند



شکل ۴- (a) ملاکیت‌های ذخیره گل زرد، (b) رگه‌ها و رگچه‌های حاوی کانه‌زایی در ذخیره گل زرد، (c) گالن و کالکوپیریت در ذخیره گل زرد، (d) گالن و اسفالریت در کنار رگه‌های کوارتز ذخیره گل زرد و (e-f) اسفالریت و کالکوپیریت در ذخیره باباقله. علائم اختصاری: Qtz: کوارتز، Mlc: ملاکیت، Sph: اسفالریت، Gn: گالن، Cpy: کالکوپیریت.

Fig 4. (a) Malachites in the Gol-e-Zard deposit, (b) Veins and veinlets containing mineralization in Gol-e-Zard deposit, (c) Galena and chalcopyrite in Gol-e-Zard deposit, (d) Galen and sphalerite along quartz veins, and (e-f) Sphalerite and chalcopyrite in the Baba Gholleh deposit. Abbreviations; Qtz: Quartz, Mlc: Malachite, Sph: Sphalerite, Gn: Galena, Cpy: Chalcopyrite.

اسفالریت‌ها وابسته به دمای سیال کانه‌زاست به طوری که در سیال با دمای کمتر مقادیر این دو عنصر افزایش یافته و مقدار بیشتری از آنها وارد ساختمان اسفالریت می‌شوند (Lockington, 2014). به نظر می‌رسد دمای کمتر سیال کانه‌زا در باباقله نسبت به گل زرد عامل اصلی در افزایش این عناصر در اسفالریت‌های ذخیره باباقله است. کبالت در اسفالریت‌های ذخیره گل زرد در محدوده ۳/۳۹ ppm تا ۶۸/۹۱

قلع در اسفالریت‌های باباقله با میانگین ۰/۹۸ ppm (مقدار از ۰/۴ تا ۱/۶۳) بیشتر از مقادیر قلع در اسفالریت‌های گل زرد (با میانگین ۰/۲ در محدوده ppm صفر تا ۰/۵) است. مقدار عنصر جیوه در اسفالریت‌های باباقله (در محدوده ۷ ppm تا ۳۲/۹۵ با میانگین ۱۵/۲۵) بیشتر از مقدار این عنصر در ذخیره گل زرد (در محدوده ۲۱/۱۶ ppm تا ۱/۷ با میانگین ۱۲/۶۳) است (جدول ۲). میزان عناصر گالیم، جیوه و قلع در

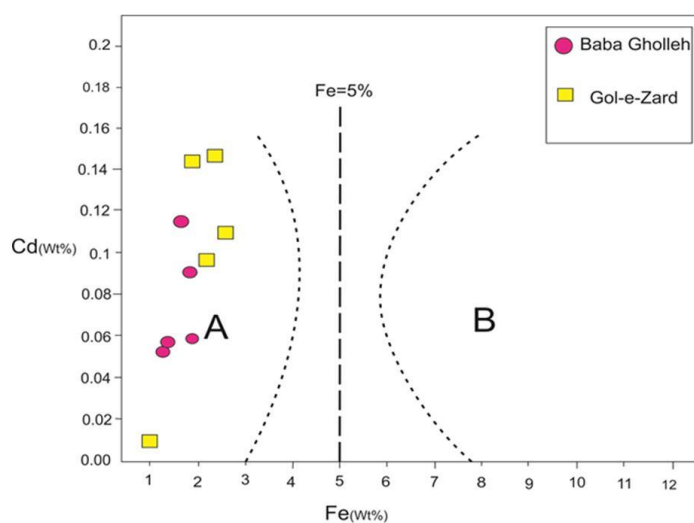
نسبت به نمونه‌های گل زرد هستند. بالاتر بودن مقدار کبالت در نمونه‌های گل زرد باز می‌گردد به بیشتر بودن دمای سیال کانه‌زا در این ذخیره، چراکه مقدار کبالت در سیال با افزایش دما افزایش می‌یابد و به تبع آن مقدار کبالت بیشتری وارد ساختمان اسفالریت می‌شود (Lin et al., 2011; Cook et al., 2009; Logan, 2004).

(میانگین ۴۳/۷۷ ppm؛ جدول ۳)، با بیشترین فراوانی در ۷۰ ppm تا ۶۰ می‌باشد (شکل ۶a). در ذخیره باباقله کبالت با میانگین ۵۵ ppm در محدوده ۲۷/۷۳ تا ۹۶/۸۸ (جدول ۲)، با بیشترین فراوانی در ۲۰ تا ۶۰ ppm قرار دارد (شکل ۶b). یعنی با وجود بیشتر بودن میانگین کبالت در ذخیره باباقله اما بیشتر نمونه‌ها دارای مقدار کمتری

جدول ۱- نتایج آماری برای عناصر Zn، Cd و Fe در اسفالریت‌های دو ذخیره گل زرد و باباقله بر حسب درصد وزنی (G: گل زرد و B: باباقله).

Table 1. Statistical results for the Zn, Cd and Fe (wt%) elements in the Gol-e-Zard and Baba Gholleh deposits (G: Gol-e-Zard and B: Baba Gholleh).

	Fe(B)	Fe(G)	Zn(B)	Zn(G)	Cd(B)	Cd(G)	Zn/Cd(B)	Zn/Cd(G)	S(B)	S(G)
N	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Mean	1.47	1.37	11.12	13.38	0.076	0.099	153.49	131	20.48	17.72
Median	1.65	1.54	11.44	16.33	0.074	0.106	153.69	121.4	19.32	19.45
Minimum	0.97	0.1	9.38	0.99	0.054	0.01	107.07	99.41	16.3	3.35
Maximum	1.76	2.17	12.33	17.56	0.113	0.145	183.26	162.53	25.6	29.56



شکل ۵- نمودار کادمیوم در برابر آهن در اسفالریت‌ها، محدوده A ذخایر با میزبان رسوبی تغییر یافته ($Fe < 5\%$) و محدوده B ذخایر همراه با ماگماتیسم ($Fe > 5\%$) (Zhang, 1987).

Fig 5. Cd vs. Fe diagram of sphalerite, field A display sedimentary hosted modified deposits ($Fe < 5\%$) and the field of B represents magmatism associated deposits ($Fe > 5\%$) (Zhang, 1987).

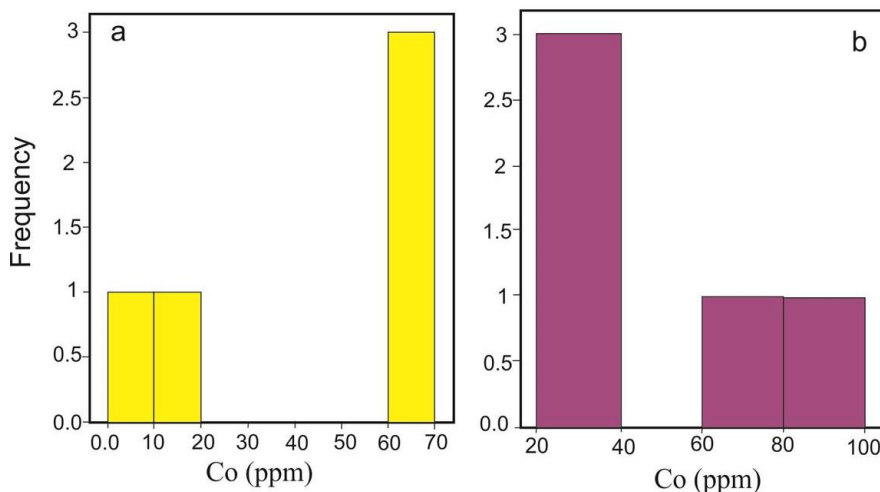
میانگین ۱۶/۱۶ و ۵۶/۲۹) در محدوده مقادیر ذخایر SEDEX جنوب چین قرار می‌گیرند (شکل ۷a). جانشینی این دو عنصر به جای عنصر روی با توجه به این فرمول می‌باشد: $2Zn^{2+} \leftrightarrow Cu^{+} + In^{3+}$ (Sombuthawee et al., 1987).

در نمودار دو متغیره In-Fe نمونه‌های اسفالریت هر دو ذخیره گل زرد و باباقله در محدوده نمونه‌های اسفالریت ذخایر SEDEX جنوب

به‌منظور بررسی و مقایسه دقیق‌تر اسفالریت‌های دو ذخیره، مقادیر In، Cu، Co/Ni، Cd/Fe، (In+Sn) و (Ag+Cu) تعیین و پارامترهای آماری مرتبط به‌دست آمد (جدول ۲). مقایسه اسفالریت‌های گل زرد و باباقله با اسفالریت‌های برخی از ذخایر جنوب چین انجام گرفت (شکل ۷). مقادیر ایندیوم و مس در اسفالریت‌های باباقله (به ترتیب با میانگین ۲۰/۷۳ و ۵۳۹۹/۱۴ ppm) و گل زرد (به ترتیب با

میزان کادمیوم به آهن در ذخایر باباقله و گل زرد بیشتر از میزان این نسبت در اسفالریت‌های ذخایر SEDEX‌های جنوب چین است، اما میزان نسبت Co/Ni در محدوده ذخایر جنوب چین قرار دارند (شکل d۷).

چین قرار گرفتند (شکل b۷). در نمودار (In+Sn) در برابر (Cu+In)، نمونه‌های اسفالریت باباقله تقریباً در محدوده اسفالریت‌های ذخایر SEDEX جنوب چین قرار دارند و از ۵ نمونه اسفالریت گل زرد دو نمونه آن ایندیوم و قلع زیر حد آشکارسازی بودند و سه نمونه دیگر در نزدیکی محدوده SEDEX‌های جنوب چین قرار می‌گیرند (شکل c۷).



شکل ۶- هیستوگرام عنصر کبالت در اسفالریت؛ (a) گل زرد و (b) باباقله (برحسب ppm).

Fig 6. Histogram of cobalt element of sphalerite; (a) Gol-e-Zard and (b) Baba Gholleh (in ppm).

جدول ۲- پارامترهای آماری داده‌های مرتبط با اسفالریت‌های گل زرد و باباقله (B: باباقله و G: گل زرد) (داده‌ها برحسب ppm).

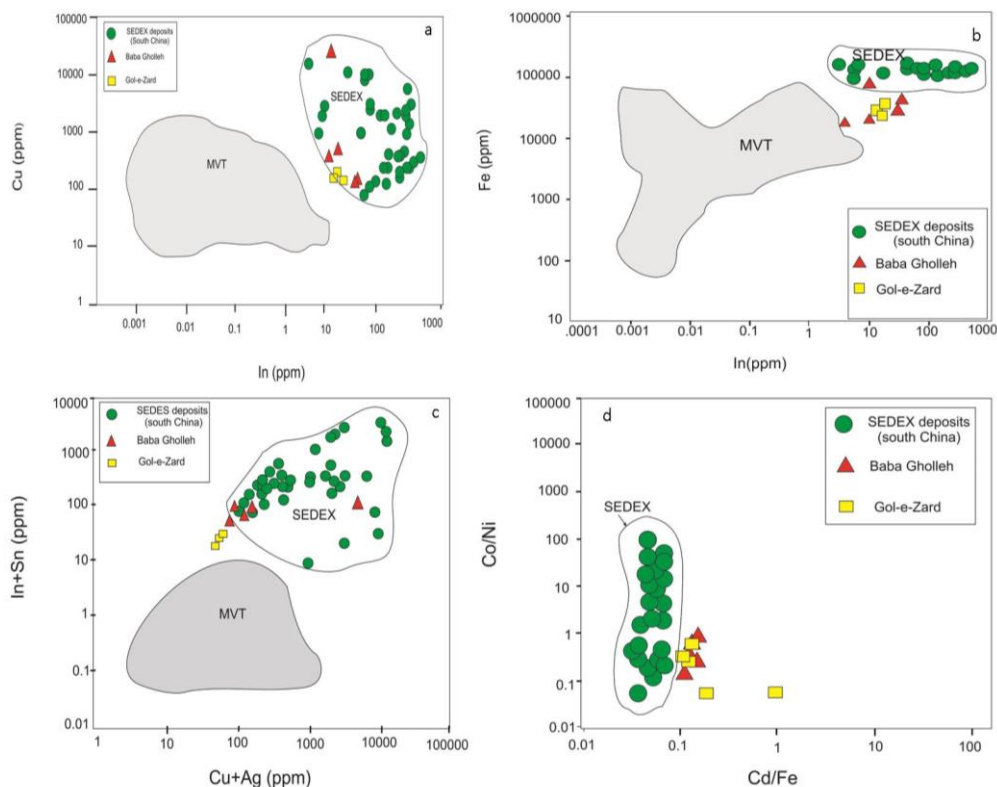
Table 2. Statistical parameters of the data sphalerites of the Gol-e-Zard and BabaGholleh deposits (G: Gol-e-Zard, B: BabaGholleh) (in ppm).

	Ga (G)	Ga (B)	Sn (G)	Sn (B)	Hg (G)	Hg (B)	Co (G)	Co (B)
N	5	5	3	5	5	5	5	5
Mean	4.6	8.53	0.2	0.98	12.63	15.25	43.77	55.09
Median	4.6	8.06	0.1	0.8	17.62	11.9	62.86	39.25
Minimum	0.58	4.94	0.0	0.4	1.7	7.11	3.39	27.73
Maximum	10.9	12.97	0.5	1.6	21.16	32.95	68.91	96.88
	Cu (G)	Cu (B)	In(G)	In (B)	Ag+Cu(G)	Ag+Cu(B)		
N	5	5	3	5	5	5		
Mean	56.29	5399.14	16.16	20.73	70.03	4,564.54		
Median	57.73	199.93	15.76	14.81	72.02	191.84		
Minimum	40.12	95.39	14.68	5.19	58.46	135.18		
Maximum	68.50	26289	18.03	35.48	81.18	26364.9		
	In+Sn (G)	In+Sn (B)	Cd/Fe (G)	Cd/Fe(B)	Co/Ni (G)	Co/Ni (B)		
N	3	5	5	5	5	5		
Mean	16.49	21.72	0.27	10.00	1.92	3		
Median	15.86	16.44	0.05	0.05	2.62	2		
Minimum	15.08	5.89	0.004	0.05	0.24	1		
Maximum	18.53	35.88	1.06	0.01	3.76	5		

دهد (Swan, 1995). ضریب همبستگی اسپیرمن به منظور یافتن روابط میان عناصر، برای نمونه‌های دو معدن محاسبه گردید (جدول ۳). عناصر نقره با ایندیوم، نقره با باریم، باریم با آنتیموان، ایندیوم با

یکی از ابزارهای آماری برای تعیین نوع و درجه رابطه یک متغیر کمی با متغیر کمی دیگر تحلیل همبستگی است. ضریب همبستگی دو متغیره بوده و شدت رابطه و نوع آن (معکوس یا مستقیم) را نشان می-

می‌شود (Moore and Sharafi, 2007). قرارگیری عناصر Ag, Ba, Cd, In و Sb و همچنین Zn, Cu, Ga, Fe در یک ردیف، و نیز جایگیری Zn و Cd در یک گروه از جدول تناوبی موجب می‌گردد از نظر بار الکترونی و یا شعاع یونی به هم شباهت داشته باشند و گاهی به-عنوان عناصر رقیب برای جایگیری در ساختمان یک کانی محسوب می-گردند، به‌گونه‌ای که افزایش یکی کاهش دیگری را به‌دنبال دارد و یا شباهت آنها موجب می‌گردد تا هر دو در یک نمونه افزایش یا کاهش همزمان نشان دهند (Moore and Sharafi, 2007)



شکل ۷- نمودارهای دو متغیره؛ (a) مس در برابر ایندیوم، (b) آهن در برابر ایندیوم، (c) In+Sn در برابر Cu+Ag و (d) نسبت Co/Ni در برابر Cd/Fe در اسفالریت‌های ذخایر سرب و روی جنوب چین و کانسارهای گل زرد و باباقله (e.g., Mengxing, Huize, Dabaoshan, and Baininchang deposits; Lin et al. 2011).

Fig 7. Binary plots of (a) In vs. Cu, (b) Fe vs. In, (c) (In+Sn) vs. (Cu+Ag), and (d) (Co/Ni) vs. (Cd/Fe) in sphalerite from Pb-Zn deposits of South China (e.g., Mengxing, Huize, Dabaoshan, and Baininchang deposits; Lin et al. 2011) and Gol-e-Zard and Baba Gholleh deposits.

شدت قوی و در گل زرد با شدت ضعیف مشخص می‌شود. ایندیوم با سرب در هر دو معدن همبستگی قوی دارد، با این تفاوت که در باباقله رابطه مستقیم و در گل زرد رابطه معکوسی با هم نشان می‌دهند. وجود تفاوت در ارتباط میان برخی عناصر در دو ذخیره به تفاوت در میزان غلظت اولیه عناصر در سنگ مادر، غلظت عناصر در سیال کانه‌ساز و شرایط جایگزینی در ساختمان کانی‌های اصلی مانند اسفالریت وابسته است که با توجه به ساختار ویژه‌ای که دارد میزان بسیاری از این فلزات به‌شمار می‌رود (Cook et al., 2009; Ye et al., 2011).

آنتیموان، در هر دو معدن همبستگی قوی و منفی را نشان می‌دهند که این بدان معناست که با افزایش یکی، دیگری نیز کاهش می‌یابد. عناصر نقره با آنتیموان، باریوم با کادمیوم، کادمیوم با روی و روی با گوگرد در نمونه‌های هر دو معدن همبستگی قوی و مستقیم دارند، میان عناصر نقره - گالیم، نقره - کادمیوم، نقره - روی، باریوم - گالیم، مس - ایندیوم و مس - گالیم یک همبستگی با درجه متوسط وجود دارد که در هر دو ذخیره مشابه می‌باشند. از آنجایی که شعاع هر یون به ساختار اتمی آن بستگی دارد، بنابراین به محل قرار داشتن عنصر در جدول تناوبی مربوط

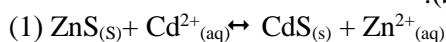
نقره و سرب در معدن گل زرد همبستگی قوی و مثبت دارند اما در باباقله همبستگی این دو عنصر متوسط و معکوس است. دو عنصر آلومینیوم و گالیم در باباقله همبستگی قوی و مستقیم دارند، در حالی که در گل زرد این همبستگی ضعیف و معکوس است. عناصر آلومینیوم و ایندیوم در باباقله همبستگی ضعیف، اما در گل زرد همبستگی قوی با هم دارند. در باباقله عناصر باریوم و مس همبستگی قوی و معکوس داشته و در گل زرد همبستگی ندارند. کادمیوم و گالیم در نمونه‌های گل زرد همبستگی قوی و مستقیمی دارند در حالی که در باباقله رابطه ضعیفی نشان می‌دهند. مس و آنتیموان رابطه معکوسی دارند، اما در باباقله با

جدول ۳- همبستگی اسپیرمن برای داده‌های دو ذخیره گل زرد و باباقله (GO: گل زرد و BG: باباقله).

Table 3. Spearman correlation for the data of the Gol-e-Zard and BabaGholleh deposits (Go: Gol-e-Zard and BG: Baba Gholleh).

	Different correlation		Similar and strong correlation		Similar and moderate correlation			
	BG	GO	BG	GO	BG	GO		
Ag-Pb	-0.543	0.952	Ag-In	-0.829	-0.8	Ag-Ga	-0.6	-0.69
Al-Ga	0.943	-0.286	Ag-Ba	0.886-	-0.729	Ag-Zn	-0.6	-0.4
Al-In	0.4	0.7	Ag-Sb	1	0.857	Ag-Cd	-0.6	-0.643
Ba-Cu	-1	0.1	Ba-Cd	0.829	0.714	Cu-In	-0.657	-0.6
Cd-Ga	0.3	0.952	Ba-Sb	-0.886	-0.786	Cu-Ga	-0.6	-0.405
Cu-Sb	0.886	0.143	In-Sb	-0.829	-1	Ba-Ga	0.6-	-0.619
Cd-Cu	-0.829	-0.333	Cd-Zn	0.886	0.810			
Fe-In	0.314	-0.8	Zn-S	0.829	0.905			
In-Pb	0.771	-0.9						

نمونه‌های اسفالریت باباقله نیز بیشتر از گل زرد است. عنصر کادمیوم در گل زرد با میانگین ۰/۸۹ درصد وزنی مقداری بیش از کادمیوم در کالکوپیریت باباقله (میانگین ۰/۷۶ درصد وزنی) است (جدول ۳). توزیع Zn و Cd در اسفالریت‌ها بین فاز سیال و جامد بدین صورت است (Schwartz, 2000):



یکی از روش‌های مفید آماری برای فهمیدن توزیع و پراکندگی داده‌ها، نمودارهای جعبه‌ای می‌باشند. به منظور تکمیل و تایید داده‌های آماری به‌ویژه صحت میانگین نمودارهای جعبه‌ای برای دو ذخیره باباقله و گل زرد ترسیم شد (شکل ۹). به‌وضوح بالا بودن مقادیر اکثر عناصر به‌جز گالیم و قلع در کالکوپیریت‌های ذخیره گل زرد مشاهده می‌شود (شکل ۹a). این درحالی است که با وجود کم بودن پراکندگی عناصری از قبیل Cu, Fe و S مقادیر آنها در ذخیره باباقله بالاتر است (شکل ۹b).

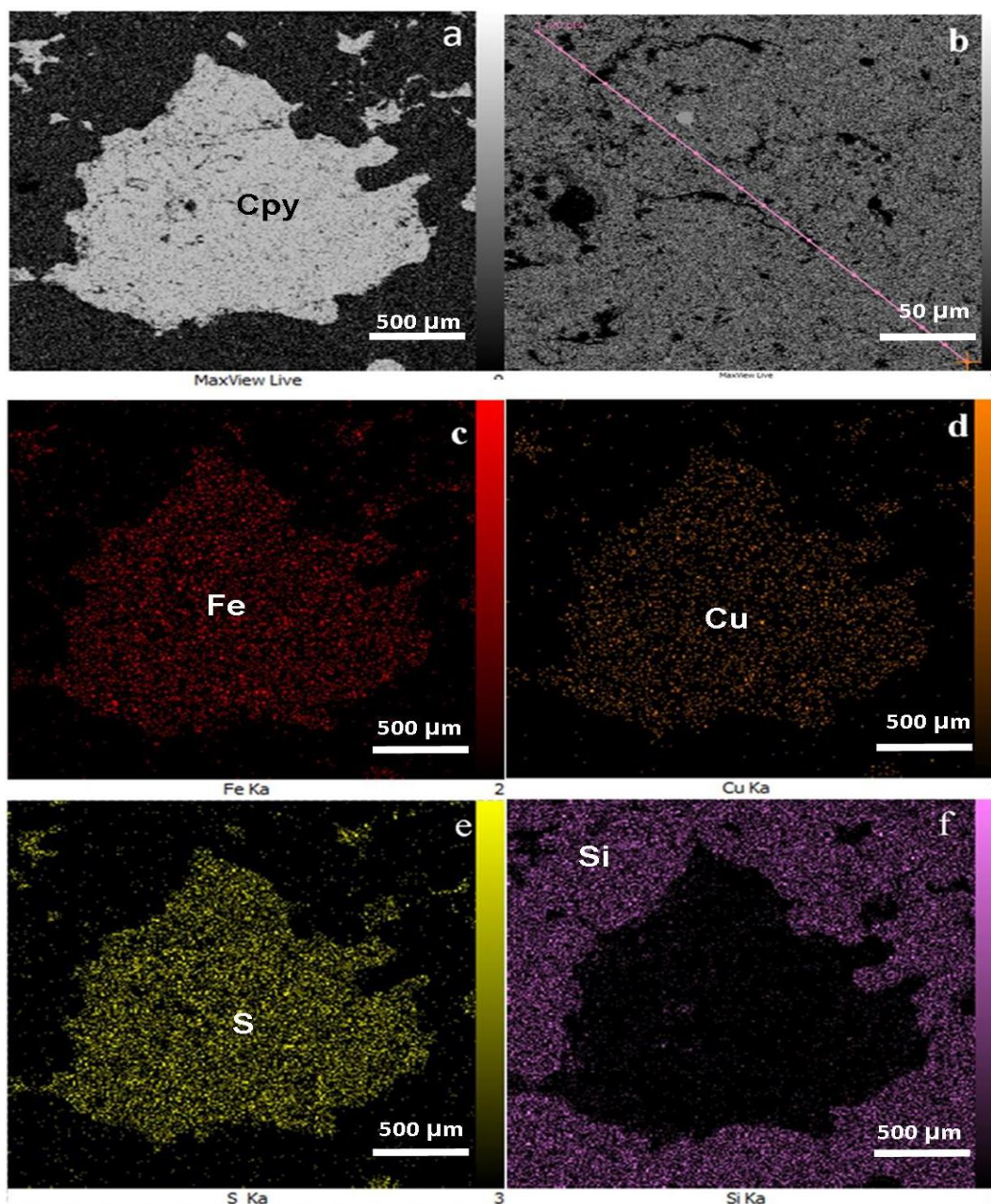
سیالات درگیر

مطالعات سیالات درگیر بر روی کانی‌های کوارتزی که همراه با کانه‌زایی بودند در آزمایشگاه فرآوری مواد معدنی انجام گردید. سیالات هر دو ذخیره عمدتاً بی‌شکل هستند و براساس روش طبقه‌بندی (1984) Shepherd و Roedder (1985) نمونه‌ها اکثراً شامل سیالات دو فاز L+V می‌باشند (شکل ۱۱). اندازه سیالات در ذخیره باباقله بین ۵ تا ۱۲ میکرون می‌باشد که بیشترین فراوانی در اندازه ۶ میکرون است.

علاوه بر اسفالریت‌ها، یکی از مهم‌ترین کانی‌های دو ذخیره باباقله و گل زرد، کالکوپیریت می‌باشد، مطالعه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مجهز به پرتو ایکس پاشنده انرژی EDX بر روی کالکوپیریت‌ها انجام گردید. تصاویر نمونه‌های کالکوپیریت و عناصر اصلی واقع در ترکیب آنها در شکل‌های ۸ و ۹ نمایش داده شده است. کالکوپیریت‌ها عموماً میزبان ضعیفی برای اکثر عناصر هستند به استثناء Se و Hg که می‌توانند به اندازه کافی در کالکوپیریت‌ها غنی شوند (George et al., 2018) نتایج آنالیز عناصر موجود در کالکوپیریت‌های این دو ذخیره نشان داد که، در نمونه کالکوپیریت گل زرد عنصر مولیبدن وجود دارد (با میانگین ۶/۵۷ درصد وزنی) اما مقدار این عنصر در باباقله زیر حد تشخیص است و همچنین عناصر قلع (میانگین ۱/۱۲ درصد وزنی) و گالیم (میانگین ۱/۹ درصد وزنی) در کالکوپیریت ذخیره باباقله وجود دارند در حالی که در نمونه کالکوپیریت گل زرد مقادیر این عناصر صفر می‌باشد، که این موضوع باز می‌گردد به دمای سیال کانه‌زا که در باباقله دمای سیال کمتر از گل زرد است. همانطور که اشاره شد مقدار عناصر گالیم و قلع در دماهای پایین‌تر در سیال بیشتر از دماهای بالاست (Lockington, 2012). مقادیر بالایی از عنصر Se در کالکوپیریت‌های دو ذخیره گل زرد و باباقله (با میانگین به ترتیب، ۲/۵۴ و ۱/۲۶ درصد وزنی) وجود دارد (جدول ۳). میزان کادمیوم در کالکوپیریت گل زرد بیشتر از نمونه باباقله است. میزان آهن در کالکوپیریت باباقله (میانگین ۲۴/۱۵ درصد وزنی) بیشتر از آهن در کالکوپیریت گل زرد (میانگین ۱۸/۳۳ درصد وزنی) است (جدول ۳). همانگونه که ذکر شد، آهن در

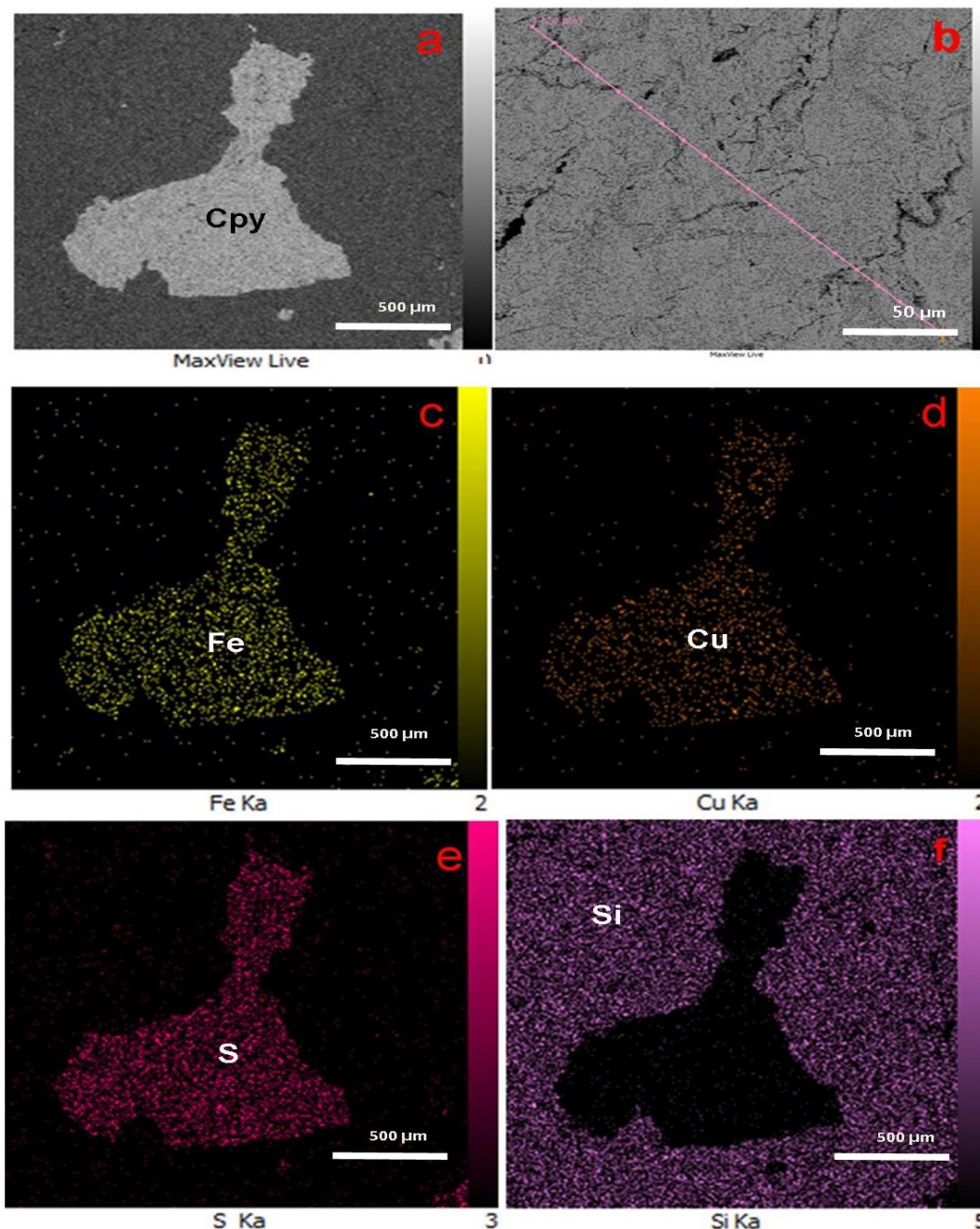
Sanchez et al., 2012) شوری سیال در ذخیره گل زرد در محدوده ۱/۵۷ تا ۱۷ درصد وزنی قرار دارد با میانگین شوری ۱۱/۱۹ درصد وزنی و بیشترین داده مربوط به ۱۵-۱۷/۵ درصد وزنی است (شکل ۱۲c). اندازه میانبار سیال برای ذخیره گل زرد بین ۵ تا ۱۱ میکرون می‌باشد، که بیشترین فراوانی آن در اندازه ۶ میکرون قرار دارد. دامنه تغییرات دمای همگن‌شدگی برای این ذخیره ۱۴۵ تا ۲۳۰ درجه است و بیشترین فراوانی در محدوده دمایی ۱۷۰-۱۸۰ درجه است (شکل ۱۲d).

دامنه تغییرات دمای همگن‌شدگی برای این ذخیره ۱۳۰ تا ۱۹۵ درجه است (جدول ۴)؛ و همانطور که در هیستوگرام آن مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی دمای همگن‌شدگی در دمای ۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه می‌باشد (شکل ۱۲b). شوری سیال بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام در محدوده ۱/۹ تا ۱۸ درصد وزنی با میانگین ۱۲/۰۸ درصد وزنی قرار دارد و بیشترین داده مربوط به ۱۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۴). براساس سیستم $\text{Lecumberri-H}_2\text{O-NaCl}$



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX) از نمونه کالکوپیریت ذخیره باباقله؛ (a) و (b) تصویر سطح کالکوپیریت از نمای نزدیک، (c) عنصر Fe در سطح نمونه، (d) عنصر مس در سطح نمونه، (e) عنصر S در سطح نمونه، و (f) عنصر سیلیس در سنگ میزبان.

Fig 8. Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) image of chalcopyrite (Baba Gholleh deposit); (a-b) Chalcopyrite surface image from close-up, (c) The iron element on the sample surface, (d) The copper element on the sample surface, (e) The S element on the sample surface, and (f) The silica element on the host rock.



شکل ۹- تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX) از نمونه کالکوپیریت ذخیره گل زرد؛ (a) و (b) تصویر سطح کالکوپیریت از نمای نزدیک، (c) نقاط زرد مربوط به عنصر Fe در سطح نمونه، (d) عنصر مس در سطح نمونه، (e) عنصر S در سطح نمونه و (f) عنصر سیلیس در سنگ میزبان.

Fig 9. Scanning Electron Microscopy- Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX) image of chalcopyrite (Gol-e-Zard deposit); (a-b) Chalcopyrite surface image from close-up, (c) Iron element on the sample surface, (d) Copper element on the sample surface, (e) Sulphur element on the sample surface, and (f) Silica element on the host rock.

دمای همگن شدگی- شوری برای انواع مختلف کنسارها براساس سیال سازنده آنها (Kesler, 2005)، بیش از ۷۰ درصد نمونه‌های میانبار سیال هر دو ذخیره در محدوده ذخایر نوع SEDEX واقع می‌شوند (شکل ۱۴).

برای شناسایی کمپلکس غالب در حمل فلزات از نمودار دمای همگن شدگی در مقابل شوری (Pirajno, 2009) استفاده شد. نمونه‌های میانبار سیال در هر دو ذخیره در محدوده حمل با کمپلکس سولفیدی قرار گرفته‌اند (شکل ۱۳)، که می‌توان نتیجه گرفت که آنیون-های غالب در هر دو ناحیه HS^- و SO_4^{2-} است؛ و با توجه به نمودار

جدول ۳- نتایج آماری مطالعه SEM-EDX کالکوپیریت‌های ذخایر باباقله و گل زرد (B: باباقله و G: گل زرد؛ داده‌ها برحسب درصد وزنی).

Table 3. Statistical results of SEM-EDX Study of chalcopyrite of Gol-e-Zard and Baba Gholleh deposits (in wt%).

	Mn.B	Mn.G	Sb.B	Sb.G	Se.B	Se.G	Y.B	Y.G	Ni.B	Ni.G
N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Mean	1.43	2.02	2.41	4.23	1.26	2.54	1.01	1.84	3.13	4.33
Median	1.4	1.33	2.36	2.94	1.19	1.84	1.05	1.35	3.1	2.87
Minimum	1/19	0.84	1/94	1/95	0.9	0.85	0.5	0.87	2.48	1.89
Maximum	1/79	3/31	3/02	6/65	1.91	4.52	1.4	2.86	3.99	7.07

	In.B	In.G	Cd.B	Cd.G	As.B	As.G	Ag.B	Ag.G	Ge.B	Ge.G
N	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
Mean	0.92	1.98	0.76	0.89	1.11	1.15	1.7	2.56	1.27	3.09
Median	0.91	1.51	0.76	0.9	1.07	1.35	0.67	1.99	1.22	1.86
Minimum	0.76	1.11	0.58	0.0	0.83	0.0	1.37	1.34	0.96	0.79
Maximum	1.17	2.9	0.98	1.36	1.55	2.27	2.12	3.9	1.83	6.01

جدول ۴- نتایج آماری داده‌های ریزدماسنجی برای سیالات درگیر در دو ذخیره باباقله و گل زرد. (Th: دمای همگن‌شدگی و Tm (ice): دمای ذوب یخ).

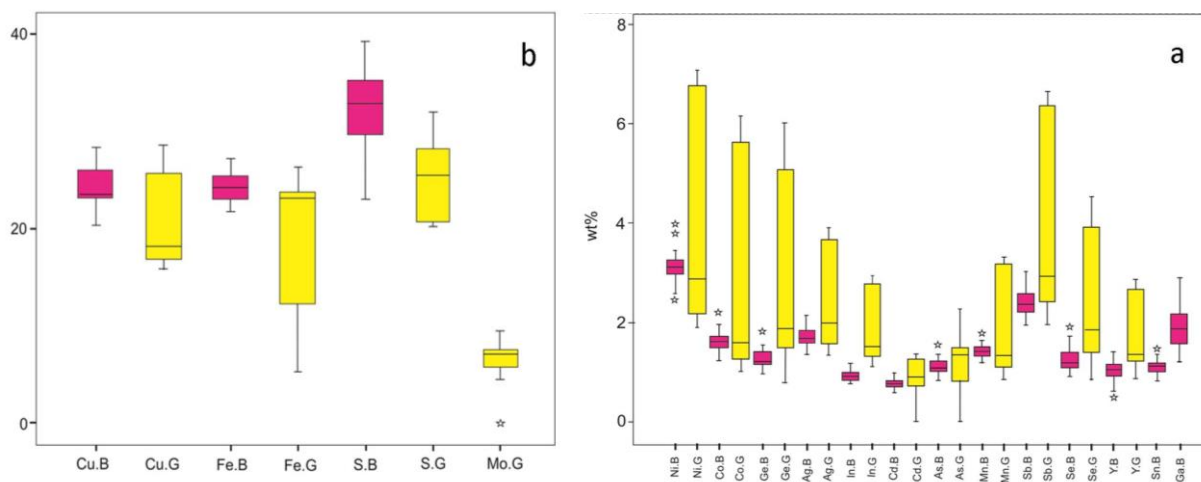
Table 4. Statistical results of microthermometric data for fluids inclusion in Gol-e-Zard and Baba Gholleh deposits.

(Th: Homogenization temperature and Tm (ice): Ice melting temperature).

	Th(L-V)(°C)		Salinity (NaCl wt%)		Tm(ice) (°C)		Size (µm)	
	BG	GO	BG	GO	BG	GO	BG	GO
Mean	166.143	181	12.08	11.19	-7.93	-6.7	7.18	6.56
Median	169	175	13.25	11.2	-9.1	-7.6	7	6
Mode	175	160	15	6.45	-9.8	-4	6	5
Minimum	130	145	1.9	1.75	-11	-12	5	5
Maximum	195	230	18	17	-1.1	-0.9	12	11

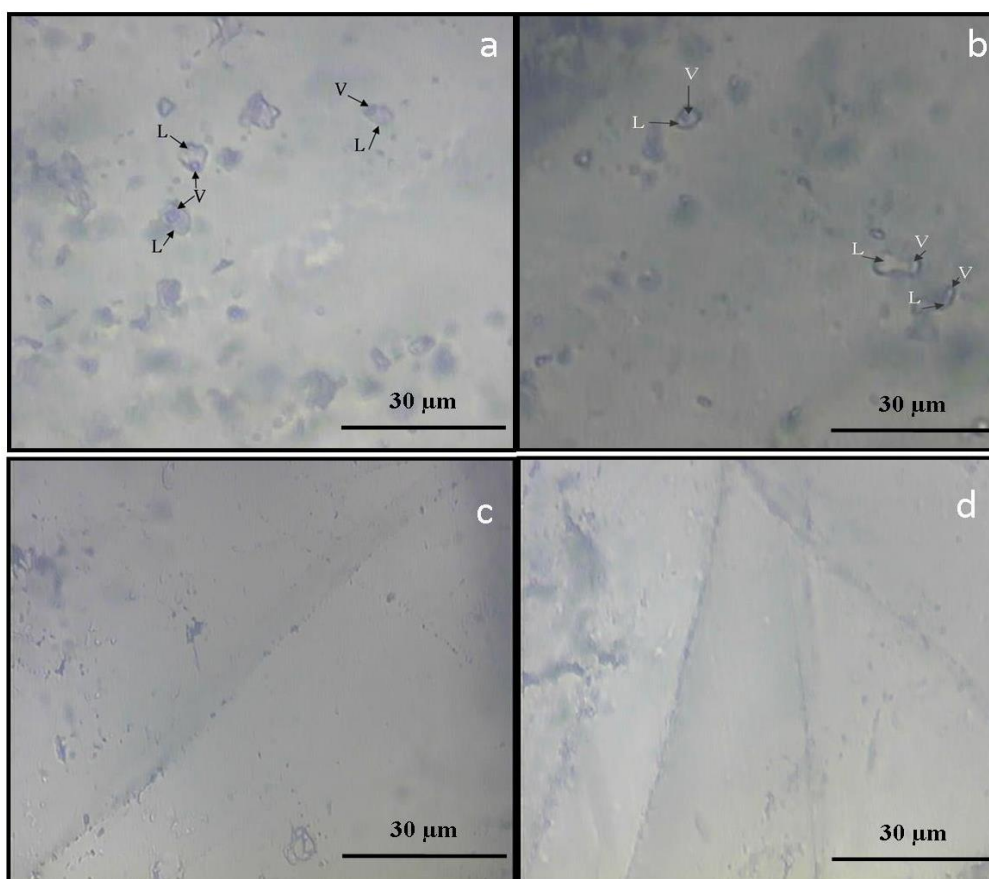
سیال برای هر دو ذخیره بین محدوده 0.9 gr/cm^3 تا $1/1$ به دست آمد. همچنین نمودار Bodnar (1983) تغییرات چگالی در ارتباط با سیر تحول سیال کانه‌ساز را نشان می‌دهد. براین اساس روند تکامل سیال برای نمونه‌های گل زرد در محدوده اختلاط هم‌دمای قرار می‌گیرد و برای نمونه‌های باباقله دو روند مشاهده می‌شود یکی اختلاط هم‌دمای و دیگری سیالات جوی می‌باشد (شکل ۱۶).

با توجه به نمودار Rose و Ahmad (1980) میزان فشار بخار در زمان تشکیل سیالات درگیر کمتر از 50 اتمسفر می‌باشد. طبق نمودار کلیه سیالات درگیر برای هر دو ذخیره در زیر منحنی اشباع شدگی هالیت قرار گرفته‌اند که ممکن است میانبارها (با توجه به NaCl) از یک سیال همگن غیراشباع در دماها و فشارهای پایین به دام افتاده باشند (Maanijou et al., 2015) (شکل ۱۵). بر مبنای نمودار شوری و دمای همگن‌شدگی Wilkinson (2001) چگالی میانبارهای



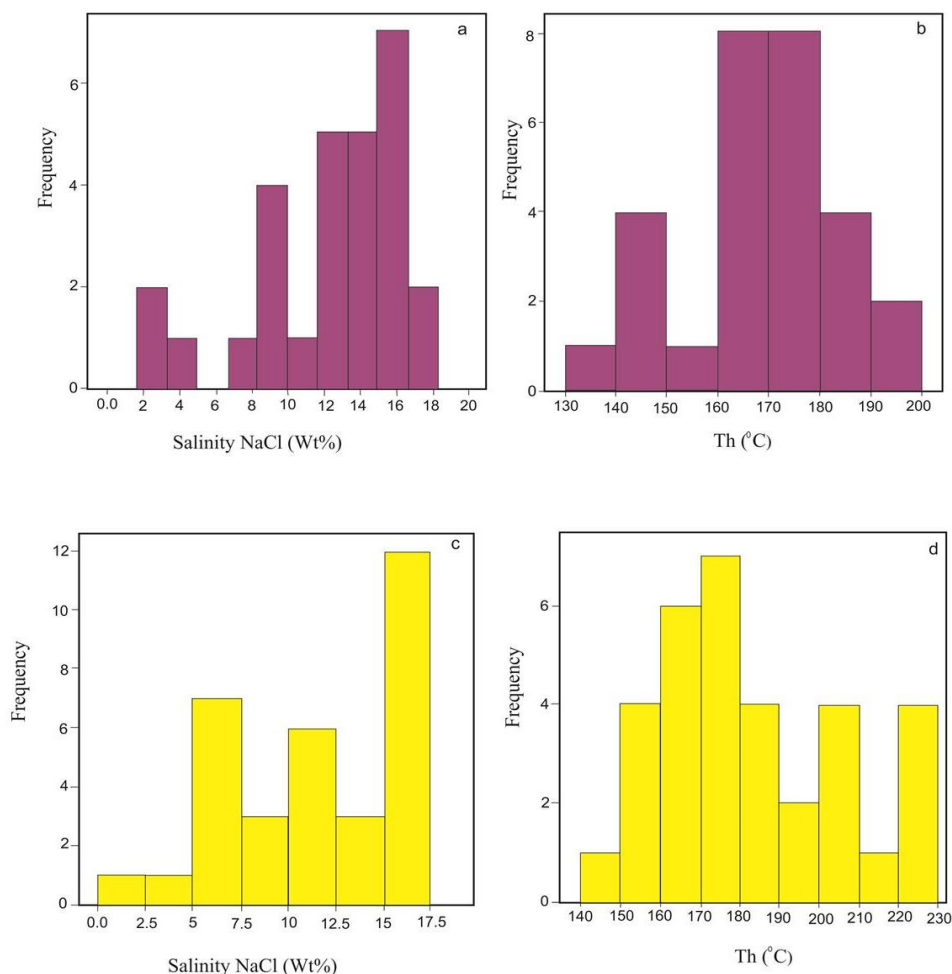
شکل ۱۰- (a و b) نمودارهای جعبه‌ای عناصر موجود در کالکوپیریت دو ذخیره گل زرد (G) و باباقله (B).

Fig 10. (a-b) Box plot diagrams of chalcopyrite elements of Gol-e-Zard (G) and Baba Gholleh (B).



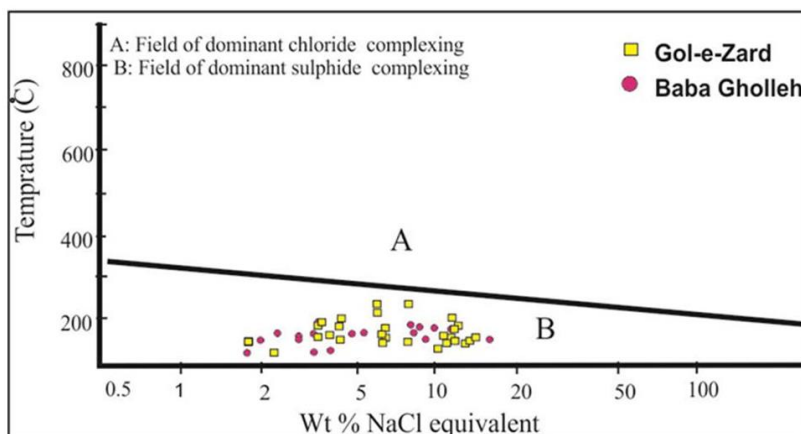
شکل ۱۱- میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) در کانی کوارتز (a: گل زرد و b: باباقله) میانبارهای سیال ثانویه با روند خطی در نمونه (c: باباقله و d: گل زرد؛ L: فاز مایع و V: فاز بخار).

Fig 11. (a-b) Two-phases liquid-rich inclusion (L+V) (a: Gol-e-Zard and b: Baba Gholleh) and (c-d) Secondary fluid inclusions with linear trends (c: Gol-e-Zard and d: Baba Gholleh; L: Liquid phase, V: vapor phase).



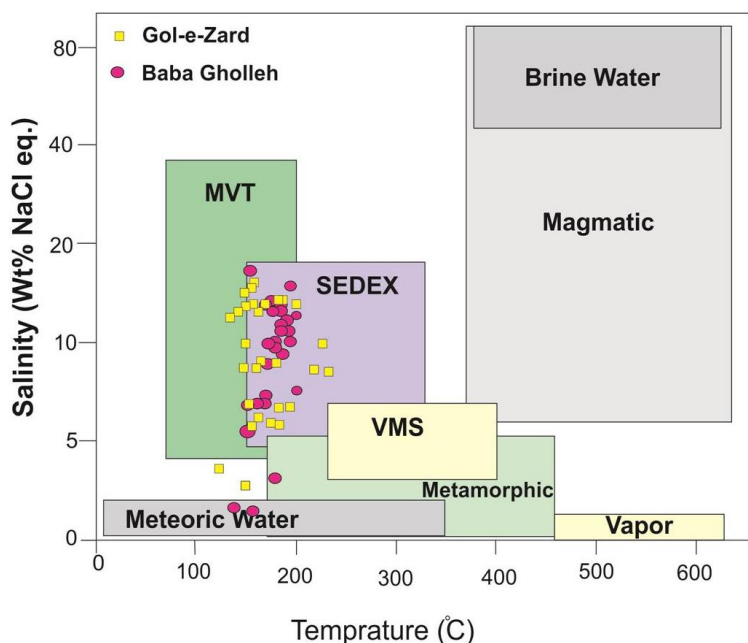
شکل ۱۲- (a) هیستوگرام شوری سیال درگیر ذخیره باباقله، (b) هیستوگرام دمای همگن‌شدگی سیال ذخیره باباقله، (c) هیستوگرام شوری سیال درگیر ذخیره گل زرد و (d) هیستوگرام دمای همگن‌شدگی سیال ذخیره گل زرد.

Fig 12 (a) Histogram of salinity of fluid inclusions of Baba Gholleh deposit, (b) Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in Baba Gholleh deposit, (c) Histogram of salinity of fluid inclusions in Gol-e-Zard deposit, and (d) Histogram of homogenization temperature of fluid inclusions in Gol-e-Zard deposit.



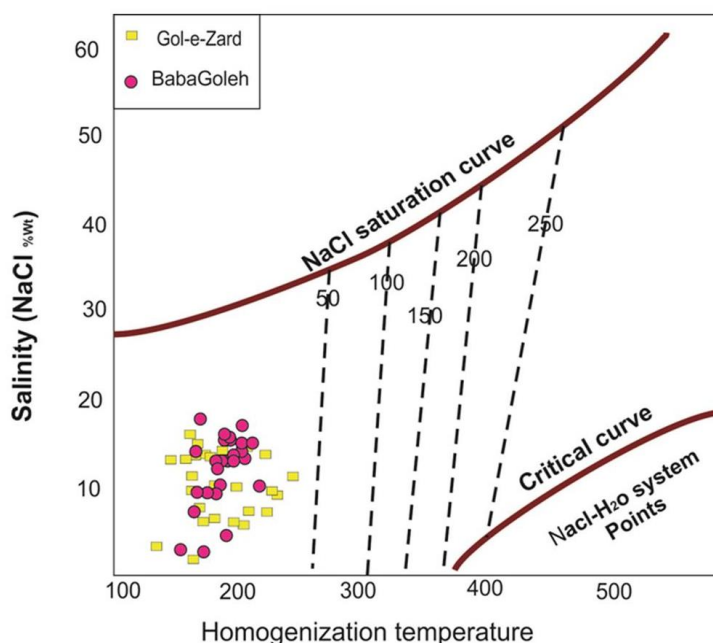
شکل ۱۳- نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری برای تعیین کمپلکس فلزی (Pirajno, 2009).

Fig.13. Homogenization temperature vs. salinity (wt%) diagram for determination of metal complex (Pirajno, 2009).



شکل ۱۴- نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی بر اساس شوری و دمای همگن شدگی (Kesler, 2005)

Fig 14. Salinity vs. homogenization temperature diagram to determine type of mineralization (Kesler, 2005).



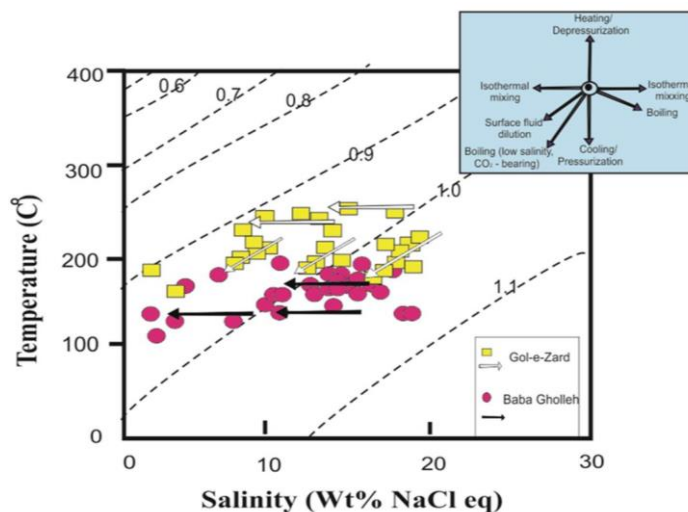
شکل ۱۵ - نمودار دمای همگن شدگی در مقابل شوری برای تعیین فشار بخار (Ahmad and Rose, 1980).

Fig. 15. Homogenization temperature vs. salinity diagram to determining the vapor pressure (Ahmad and Rose, 1980).

2008) بر مبنای مطالعات قبلی (سن سنجی و ایزوتوپی) و پژوهش حاضر از لحاظ ویژگی‌های اصلی ذخایر سرب و روی نوع SEDEX بیشترین شباهت را با این نوع از ذخایر دارد.

مقایسه ذخایر باباقله و گل زرد با کانسارهای سرب و روی نوع SEDEX

یک مقایسه کلی میان کانسار باباقله و گل زرد با کانسارهای سرب و روی نوع SEDEX در جدول ۵ ارائه شده است. بر این اساس ذخیره باباقله که پیش از این نوع رگه‌ای معرفی شده است (Ehya et al.,



شکل ۱۶- نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی (Wilkinson, 2001).

Fig. 16. Diagram of salinity vs. homogenization temperature (Wilkinson, 2001).

جدول ۵- مقایسه کانسار گل زرد و باباقله با ذخایر SEDEX.

Table 5. Comparison of Gol-e-Zard and Baba Gholleh deposits with SEDEX deposits.

Baba Gholleh	Gol-e-Zard	SEDEX	Deposit	
Phyllite- sandstone	Phyllite- sandstone	Carbonate shale, marl, arenite	Host rock	
Sanandaj-Sirjan Zone	Sanandaj-Sirjan Zone	Continental rifting	Tectonic position	
Zn-Pb-Cu	Zn-Pb-Cu	Zn-Pb-Cu	Dominant mineralization	
180-160	200-150	200-50	Temperature (°C)	Fluid inclusions
17-12	18-10	30-10	Salinity (wt%)	
18.8-18.5	19.5-17	22-16.5	$^{204}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}$	
15.5-15.9	15.17-16.23	16-15.5	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}^*$	
39.4-39.9	38.45-34.5	39-37	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}^*$	
Post-middle Jurassic	Upper Triassic- Jurassic	Proterozoic to Cretaceous	* Deposit age	

* داده‌های ایزوتوپی و سن‌سنجی کانسار باباقله مربوط به Ehya و همکاران (2008) و داده‌های ایزوتوپی و سن کانسار گل زرد مربوط به Zarasvandi و همکاران (2014) می‌باشد.

نتیجه‌گیری

۱- نسبت Zn/Cd در هر دو ذخیره گل زرد و باباقله کمتر از مقدار ۲۰۰ می‌باشد بر این اساس در محدوده ذخایر رسوبی دگرگون شده قرار می‌گیرند، که با توجه به سنگ‌های میزبان فیلیتی و ماسه‌های دگرگون شده در هر دو ذخیره صحت آن تایید می‌شود.

مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده در بررسی‌های زمین‌شیمی اسفالریت و کالکوپیریت و نیز سیالات درگیر دو ذخیره سرب و روی گل زرد و باباقله عبارتند از:

کالکوپیریت گل زرد و مقدار آهن در کالکوپیریت باباقله بیشتر بود که با بالا بودن این عناصر در اسفالریت‌های دو ذخیره همخوانی داشت.

۵- سرب و روی باباقله که پیش از این محققان آن را نوع رگه‌ای معرفی کردند، براساس شواهد زمین‌شناسی و نوع سنگ میزبان، مطالعات کانی-شناسی و سیالات درگیر این ذخیره سرب و روی نوع SEDEX می‌باشد.

۶- براساس داده‌های مربوط به شوری و دمای همگن‌شدگی سیال در هر دو کانسار، اکثر نمونه‌های میانبار سیال هر دو ذخیره در محدوده ذخایر نوع SEDEX واقع می‌شوند؛ و همچنین کمپلکس غالب در حمل فلزات، کمپلکس سولفیدی بوده که احتمالاً آنیون‌های غالب در هر دو ناحیه HS^- و SO_4^{2-} بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز مطالعات و همکاری علمی بین المللی وزارت عتف بابت حمایت‌های مالی تشکر و قدردانی می‌گردد. همچنین از حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (No: SCU.EG99.582) تشکر و قدردانی می‌گردد. از سازمان ایמידرو و آزمایشگاه فرآوری مواد و نیز از جناب آقای دکتر زمانیان و دانشگاه لرستان برای پشتیبانی در انجام این پژوهش سپاس-گزاری می‌گردد.

۲- میزان عناصر گالیم، جیوه و قلع در اسفالریت‌های ذخیره باباقله بیشتر از ذخیره گل زرد است افزایش یا کاهش این عناصر وابسته به دمای سیال کانه‌زاست به طوری که در سیال با دمای کمتر مقادیر این عناصر افزایش یافته و مقدار بیشتری از آنها وارد ساختمان اسفالریت می‌شوند. به نظر می‌رسد دمای کمتر سیال کانه‌زا در باباقله نسبت به گل زرد عامل اصلی در افزایش این عناصر در اسفالریت‌های ذخیره باباقله است.

۳- دو سری همبستگی میان عناصر دو ذخیره باباقله و گل زرد وجود دارد یک سری از عناصر در هر دو ذخیره همبستگی (هم از نظر شدت و هم رابطه) مشابه نشان می‌دهند و سری دیگر همبستگی متفاوت یا از نظر شدت و یا رابطه بایکدیگر دارند که این رفتار این عناصر باز می‌گردد به مقدار عناصر در سیال کانه‌ساز، میزان این عناصر در سنگ مادر و تفاوت‌های فیزیکوشیمیایی سیال دو ذخیره.

۴- مطالعه کالکوپیریت‌های دو ذخیره توسط SEM-EDX نشان داد تفاوت‌های زیادی بین عناصر اصلی و فرعی این دو ذخیره وجود دارد. برای مثال در نمونه کالکوپیریت گل زرد عنصر مولیبدن وجود داشت اما مقدار این عنصر در باباقله صفر بود و همچنین مقدار عناصر قلع و گالیم در کالکوپیریت ذخیره باباقله قابل توجه بود در حالی که در نمونه کالکوپیریت گل زرد مقادیر این عناصر صفر بود. بالاتر بودن دمای سیال کانه‌زا در ذخیره گل زرد براساس مطالعات میانبارهای سیال موجب کاهش این عناصر در این ذخیره گردیده است. میزان کادمیوم در

منابع

- Aghanabati, A., 2006. Geology of Iran. 1st ed. Tehran, Iran, Geological Survey of Iran Publication (in Farsi).
- Ahmad, S.N., Rose, A.W., 1980. Fluid inclusions in porphyry and skarn ores at Santa Rita, New Mexico. *Economic Geology* 75, 229-250.
- Barnes, H.L., 1997. *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*. John Wiley Sons, p. 992.
- Bodnar, R.J., 1983. A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid. *Economic Geology* 78, 535-542.
- Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Pring, A., Skinner, W., Shimizue, M., Danyushevsky, L., Saini-Eidukat, B., Melcher, F., 2009. Trace and minor elements in sphalerite: A LA-ICPMS study. *Geochimica et Cosmochim Acta* 73, 4761-4791.
- Davis, J.F., Prevec, S.A., Whitehead, R.E., Jackson, S., 1998. EVariations in REE and Sr-isotope chemistry of carbonate gangue, Castellanos Zn-Pb deposit Cuba. *Chemical Geology* 144, 99-119.
- Ehya, F., Lotfi, M., Rasa, I., 2008. Jurassic Pb-Zn mineralization at Baba Gholleh. *Iranian Journal of Geotechnical Geology* 4, 234-246.
- Farhadi-Nejad, T., 1998. Geology, mineralogy and genesis of Gol-e-Zard Zn-Pb deposit (northern of Aligudarz). M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, Iran (in Farsi).
- Fernandes, N.A., Gleeson, S.A., 2011. A field, petrographic and preliminary S isotopic study of the Walt and Tyralla sediment-hosted barite occurrences (1050/7), and associated Ba-Zn-Pb mineralization, MacMillan Pass district Yukon, Yukon Geological Survey, pp. 89-99.
- George, L., Cook, N., Crowe, B., Ciobanu, C., 2018. Trace elements in hydrothermal chalcopyrite. *Mineralogical Magazine* 82, 59-88.
- Goodfellow, W.D., Lydon, J.W., 2007. Sedimentary exhalative (SEDEX) deposits, in ed., mineral deposits of Canada: A Synthesis of major deposit types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5, p. 163-183.

- Habibi, A., 2018. Complete tutorial and software guide SPSS, p. 200.
- Kavoshgar Consulting Engineers., 1994. Lead and Zinc Exploration Project BabaGholleh and Hossein Abad Khomein Areas (1/20000).
- Kesler, S.E., 2005. Ore-Forming Fluids. Elements 1, 13-18.
- Large, R.R., Bull, S.W., McGoldrick, P.J., Walters, S., 2005. Stratiform and strata-bound Zn-Pb-Ag deposits in Proterozoic sedimentary basins, Northern Australia. Economic Geology 100th Anniversary Volume, pp. 931-963.
- Leach, D.L., Bradley, D.C., Huston, D., Pisarevsky, S.A., Taylor, R.D., Gardoll, S.J., 2010. Sediment-Hosted Lead-Zinc Deposits in Earth History. Economic Geology 105, 593-625.
- Lecumberri- Sanchez, P., Steel- MacInnis, M., Bodnar, R.J., 2012. A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance. Geochimica et Cosmochim Acta 92, 14-22.
- Li, H., Xi, X., 2015. Sedimentary fans: A new genetic model for sedimentary exhalative ore deposits. Ore Geology Reviews 65, 375-389.
- Lin, Y., Cook, N., Cristiana L., C., Yulong, Y., Zhang, Q., Tiegeng, L., Wei, G., Yulong, Y., Danyushevskiy, L., 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: A LA-ICPMS study. Ore Geology Reviews 39, 188-217.
- Lockington, J.A., 2014. Trace and minor elements in sphalerite from metamorphosed sulphide deposits. Mineralogy and Petrology 108(6), 873-890.
- Logan, M.A., 2004. Geochemistry of cadmium in sphalerite from creede, Co, USA: A tool to study fractionation in hydrothermal systems. Geochimical et Cosmochimica Acta 68, A77-A77.
- Maanijou, M., Vafaei Zad, M., Aliani, F., 2015. Fluid inclusion and sulfur stable isotope evidence for the origin of the Ahangran Pb-Ag deposit. Journal of Economic Geology 2, 343-367.
- Mehdipour Ghazi, J., Moazzen, M., 2015. Geodynamic evolution of the Sanandaj-Sirjan Zone, Zagros Orogen, Iran. Turkish Journal of Earth Sciences 24, 513-528.
- Momenzadeh, M., 1968. The Baba Gholleh lead-zinc prospect, Khomein area, Geological Survey of Iran.
- Monterio, L.V.S., Bettencourt, J.S., Juliani, C., Oliveira, T.F., 2006. Geology petrography and mineral chemistry of the Vazante no sulfide and Ambrosia and Fagundes sulfide-rich carbonate-hosted Zn-(Pb) deposits, Minas Gerais, Brazil. Ore Geology Reviews 28, 201-234.
- Moore, F., Sharafi, A., 2007. Principles of Geochemistry, Shiraz University, Iran.
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes and mineral system, Springer Science, New York, p. 1273.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. Reviews in Mineralogy 12, p.644.
- Sahandi, M.R., Radfar, J., Hoseinidoust, J., Mohajjel, M., 2006. Shazand quadranglemap 1:100,000. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (in Persian).
- Sameti, M., 2013. Genesis of the Gol-e-Zard Zn-Pb deposit NE Aligudarz, Lorestan Province, M.Sc. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Schwartz, M., 2000. Cadmium in Zinc Deposits: Economic Geology of a Polluting Element. Economic Geology 42, 445-469.
- Shepherd, T.J., Ranbin, A.H., Alderton, D.H.M., 1985. A Practical Guide to fluid inclusion studies, Blackie, Glasgow, p. 239.
- Soheyli, M., Jafari, M., Abdollahi., 1999. 1/100000 map Aligudarz region, Geological Survey of Iran.
- Sombuthawee, C., Bonsall, S., Hummel, F.A., 1978. Phase- equilibria in systems ZnS-MnS, ZnS- CuLnS2, and MnS- CuLnS2. Journal of Solid state Chemistry 25, 391-399.
- Spinks, S., Schmid, S., Pages, A., Bluett, J., 2016. Evidence for SEDEX-style mineralization in the 1.7 Ga Tawallah Group, McArthur Basin, Australia. Ore Geology Reviews 76, 122-139.
- Steele, M.M., Lecumberri, S.P., Bodnar, R.J., 2012. A Microsoft excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H₂O-NaCl. Computer in Geosciences 49, 334-337.
- Swan, A.R.H., Sndilands, M., McCabe, P., 1995. Introduction to geological data analysis. Back Will Science, p. 146.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. Lithos 55, 229-272.

- Xue, C., Zeng, R., Liu, S., Chi, G., Qing, H., Chen, Y., Yang, J., Wang, D., 2007. Geologic fluid inclusion and isotopic characteristics of the Jinding Zn–Pb deposit, western Yunnan, South China. *Ore Geology Reviews* 31, 337–359.
- Ye, L., Cook, N.J., Ciobanu, C.L., Liu, Y.P., Zhang, Q., Gao, W., Yang, Y.L., Danyushevsky, L.V., 2011. Trace and minor elements in sphalerite from base metal deposits in South China: a LA-ICPMS study. *Ore Geology Reviews* 39, 188–217.
- Zarasvandi, A., Sameti, M., Sadeghi, M., Rastmanesh, F., Pourkaseb, H., 2014. The Gol-e-Zard Zn-Pb deposit, Lorestan province, Iran: a metamorphosed SEDEX deposit. *ACTA Geologica Sinica* 88, 142-153.
- Zhang, Q., 1987. Trace elements in Galena and Sphalerite and their geochemical significance in distinguishing the genetic types of Pb-Zn ore deposits. *Geochemistry* 6, 177-190.

