

بررسی منشأ سیال کانه‌زا در کانسار آهن زاگرس صفاشهر، استان فارس با تأکید بر داده‌های کانی‌شناسی و میانبارهای سیال

زهرا سلیمانی^{۱*}، محمدعلی رجب‌زاده^۲

۱- دانشجوی دکتری زمین‌شناسی اقتصادی بخش علوم‌زمین دانشگاه شیراز، soleimani.geo94@gmail.com

۲- استاد بخش علوم‌زمین دانشگاه شیراز، mrjabzadeh@shirazu.ac.ir

چکیده

کانسار آهن زاگرس یکی از ذخایر آهنی است که در قسمت جنوبی زون سنندج-سیرجان و در ۱۹ کیلومتری شمال شرق شهرستان صفاشهر در کمپلکس دگرگونی کولی‌کش، درون سنگ میزبان دولومیت سیلیسی شده سازند شتری تریاس واقع شده است. کانسنگ‌های آهن به شکل عدسی‌ها و رگه-رگچه‌های مگنتیت و هماتیت درون مناطق گسلی و شکسته دیده می‌شوند. مطالعات کانی‌شناسی نشانگر این است که کانی‌های هماتیت، مگنتیت، گوتیت همراه با باطله‌های باریت و کوارتز در سنگ‌های معدنی غالب می‌باشند. میزان مگنتیت در کانسار با عمق افزایش می‌یابد. مطالعات پتروگرافی نشانگر وجود انواع میانبارهای سیال اولیه در کانی باریت در گروه‌های تک فازی گازی، دوفازی غنی از مایع، دو فازی غنی از گاز و سه فازی است. داده‌های حاصل از بررسی‌های میانبارهای سیال اولیه در باریت‌های همراه با کانسنگ آهن نشان می‌دهد که کانسنگ آهن زاگرس از نوع نهشته‌های آهن گرمابی میان‌دمایی بوده و میانبارهای سیال بیشتر از نوع دو فازی مایع-گاز با دمای ۱۶۵ - ۴۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳/۵۵ - ۱۶/۲۴ درصد وزنی معادل NaCl هستند. کانه زایی آهن در اعماق بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر رخ داده است.

کلیدواژه‌ها: استان فارس، کانسار آهن گرمابی، میانبار سیال، مگنتیت، هماتیت

Origin of the ore-forming fluids of the Zagros iron deposit, Safashahr, Fars province: Constraints from mineralogy and fluid inclusions

MohammadAli, Rajabzadeh¹; Zahra, Soleimani²

¹ Professor of Earth science at Shiraz university, mrjabzadeh@shirazu.ac.ir

² Ph.D. student of Economic Geology, soleimani.geo94@gmail.com

Abstract

Zagros iron deposit as one of the iron ore occurrences in the study area is located at the southern part of the Sanandaj-Sirjan zone, 19 km northeast of Safashahr, in the kolikosh metamorphic complex. Ore mineralization occurred in the form of lenses and veins/veinlets along fault and brecciated zones in silicified dolomite belonging to the Triassic Sotori Formation. Mineralogical data indicated that hematite, magnetite, goethite with barite and quartz as gangues are the predominant mineral phases in the iron ores. Magnetite increases in the ore deposit with depth. Primary fluid inclusions of barite are classified in 1) gas single phase, 2) liquid-rich two phase, 3) gas-rich two phase and 4) three phase groups. Petrographic investigation on primary fluid inclusions showed that Zagros iron ore deposit is classified in mesothermal ores clan. Most of the fluid inclusions were of liquid-gas type, indicating 165-425 °C and 3.55- 16.24 wt% NaCl. Iron mineralization occurred in a depth from 300 to 1500 meters.

Keywords: Fars Province, Hydrothermal Iron deposits, Fluid inclusion, Magnetite, Hematite

۱- مقدمه

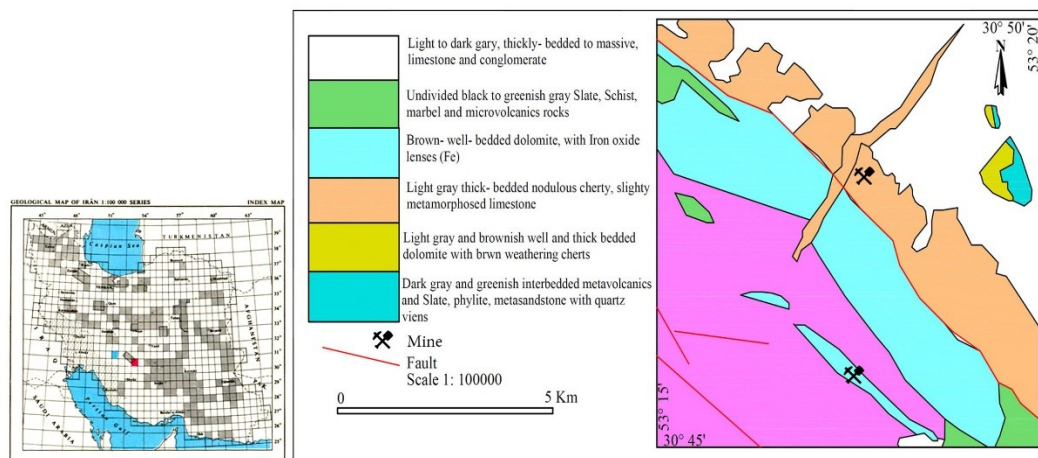
سیال‌های به دام افتاده در فضاهای میکروسکوپی بین سطوح بلوری در بعضی از کانی‌ها می‌توانند به عنوان یکی از بهترین و ساده‌ترین روش‌های تعیین ماهیت سیال کانه‌زا و شرایط کانه‌زایی در مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی مورد توجه قرار گیرند (Robb, 2005). میانبرهای سیال در ۳ گروه اصلی اولیه، ثانویه و ثانویه دروغین تقسیم می‌شوند. میانبرهای سیال اولیه در واقع مقداری از سیال کانی‌ساز می‌باشند که بلور از آن تشکیل شده است. این سیال‌ها در درون نقص‌های بلوری به دام افتاده و بصورت یک سامانه بسته (ایزوله) در تعیین شرایط فشار (P)، دما (T)، حجم (V) و ترکیب شیمیایی (X) سیال کانسنگ‌ساز استفاده می‌شوند (Hitzman, 2000; Asadi and Rajabzadeh, 2014). در این مطالعه از کانی‌های باریت همراه با کانسنگ آهن استفاده شده است. این ذخیره آهن یکی از چندین ذخیره‌ای است که بر گرمایی بودن آن تاکید شده است (Rajabzadeh and Rasti, 2017). هدف اصلی از مطالعات میانبرهای سیال در کانسار آهن زاگرس استفاده از ویژگی‌های PTVX همراه با داده‌های کانی‌شناسی برای شناخت منشا و ویژگی‌های سیال کانسنگ‌ساز و شرایط تشکیل کانسار آهن زاگرس می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور انجام پژوهش‌های کانی‌شناسی و ریزدماسنجی، در دو مرحله عملیات صحرایی تعداد ۴۴ نمونه سنگی برداشت شد. مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی بر روی تعداد ۱۸ مقطع نازک صیقلی و ۶ مقطع صیقلی از نمونه‌های سنگ معدنی و سنگ‌های میزبان با استفاده از روش‌های میکروسکوپ نوری انعکاسی و انعکاسی انجام شد. از نمونه‌های شاخص باریت همراه با کانسنگ آهن، تعداد ۴ مقطع دوبر صیقل به ضخامت حدود ۱ میلی‌متر تهیه و پس از بررسی‌های پتروگرافی میانبرهای سیال اولیه در ۶۶ مورد بررسی ریزدماسنجی قرار گرفتند و نتایج حاصل با استفاده از نرم افزارهای تخصصی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

۳- موقعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کانسار آهن زاگرس به عنوان یکی از ذخایر آهن منطقه مورد مطالعه در ۱۹ کیلومتری شمال‌شرق شهر صفاشهر و ۱۷۵ کیلومتری شمال‌شرقی شیراز در بین روستای گوشتی و هنشک در مجموعه سنگ‌های دگرگونی کولی‌کش در حاشیه جنوبی زون سنندج سیرجان واقع شده است. کمر بند سنندج- سیرجان یک کمر بند دگرگونی است که دارای ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلومتر عرض و بیش از ۱۵۰۰ کیلومتر طول است و از شمال غربی (سنندج) تا جنوب شرقی (سیرجان) در جنوب شرقی ایران امتداد دارد (Sarkarinejad, 1999). منطقه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی در قلمرو جنوب غربی این کمر بند واقع شده و دارای ویژگی‌هایی نظیر گسل‌ها و چین‌خوردگی‌های فراوان بزرگ و کوچک مقیاس و دگرسانی‌های شدید است. اصلی‌ترین واحدهای رخنمون‌یافته در محدوده مورد مطالعه شامل واحدهای سنگ‌های ماسه‌سنگی و دگرگونی‌های شیبستی، فیلیتی و اسلیتی به همراه آهک‌های دولومیتی دگرگون‌شده‌ی کمپلکس دگرگونی کولی‌کش می‌شوند که در برخی از مناطق سنگ‌های ولکانیک ریوداسیتی در آن‌ها نفوذ کرده‌اند. از نظر ریخت‌شناسی، مرکز و جنوب محدوده دارای شیب زیاد و صخره‌ای بوده و در بخش شمالی منطقه تپه ماهورهایی با شیب ملایم وجود دارد که در انتهای قسمت شمالی به ارتفاعات بلند می‌رسند. در این منطقه به صورت پراکنده و جزئی کانی‌های سولفید مس مانند مالاکیت مشاهده می‌شود. همچنین در نقشه‌های زمین‌شناسی در شمال شرق منطقه معدنی توده‌های اسیدی مشاهده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه ساده شده سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه، بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دهیید. دولومیت‌های تریاس میانی میزبان ذخایر آهن هستند.

۴- بحث

کانی‌شناسی

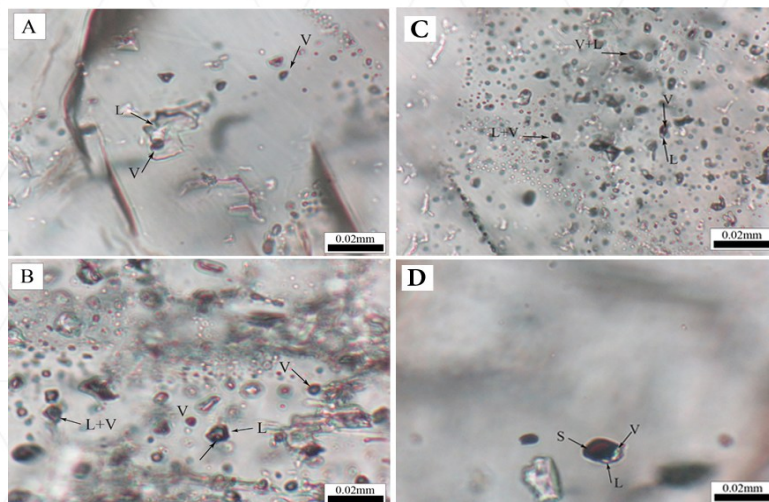
داده‌های میکروسکوپی نشانگر غالب بودن به ترتیب کانی‌های هماتیت، گوتیت، مگنتیت، باریت، کوارتز، دولومیت در کانسنگ‌های معدنی است. کانی هماتیت به دو شکل دیده می‌شود: ۱- هماتیت اولیه که توسط عملکرد سیال‌های گرمابی تشکیل شده‌اند. در این نوع هماتیت محصولات اکسیدی حدواسط دیده می‌شوند و برخی به صورت تیغه‌های اسپیکولاریت بوده و نشانگر تشکیل در شرایط اسیدی و اکسیدی (فوگاسیته بالای اکسیژن و محدوده دمایی وسیع) می‌باشند ۲- هماتیت ثانویه که توسط فرایند مارتیتی شدن از کانی مگنتیت در دماهای پایین و محیط سطحی بوجود آمده‌اند. گوتیت که یک کانی ثانویه است، از دگرسانی نهایی مگنتیت و هماتیت در مناطق بسیار سطحی و با دخالت آب‌های جوی در زون سوپرژن تشکیل شده است و با افزایش عمق به شدت کاهش می‌یابد. کانی مگنتیت با عملکرد سیالات گرمابی در گسل‌ها و شکستگی‌های چین‌خوردگی‌های موجود در منطقه نهشته شده‌اند. میزان کانی مگنتیت با افزایش عمق در نمونه‌های معدنی افزایش می‌یابد. باریت باطله اصلی در کانسنگ آهن است که در مراحل آخر کانه‌زایی از سیال گرمابی با حرارت کم در رگه‌ها و به صورت شکافه‌پرکن تشکیل شده است. کوارتز نیز فراوان‌ترین کانی سیلیکاتی در کانسنگ‌های هماتیتی است که در چندین نسل ایجاد شده است. در منطقه مورد مطالعه دولومیتی شدن و سیلیسی شدن بصورت زمینه‌سازی کانه‌زایی عمل کرده‌اند. دولومیت‌های زین اسبی (Saddle Dolomite) نشانگر تشکیل آنها از محلول‌های گرمابی است. منیزیم مورد نیاز برای تشکیل این دولومیت‌ها از سنگ‌های آذرین بازیک تامین می‌شود که احتمالاً در زیر منطقه قرار دارند.

پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی نشانگر وجود انواع میانبارهای سیال در گروه‌های تک فاز گاز، دوفازی غنی از مایع، دوفازی غنی از گاز و سه فاز است. در میانبارهای تک فاز گاز حباب تنها فاز تشکیل دهنده می‌باشد، بنابراین از این نوع میانبارهای سیال جهت اندازه‌گیری میکروترمومتری نمی‌توان استفاده کرد. فراوانی این نوع از میانبارهای سیال نشانگر شرایط جوشش در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد (شهاب‌پور، ۱۳۸۶). این نوع میانبار سیال با فراوانی زیاد و در اندازه‌های حدوداً ۱۰ میکرون در سطح کانی باریت وجود دارد. اشکال مشاهده شده بیشتر به صورت بیضوی و نامنظم می‌باشد.

نوع دیگر از میانبارهای مشاهده شده، دوفازی غنی از مایع است. به این صورت که در این نوع میانبار سیال، فاز مایع همراه با فاز حباب گاز وجود دارد. بیشترین حجم این نوع میانبارهای سیال را فاز مایع دربرمی‌گیرد و فاز گازی تنها ۱۰ تا ۴۰٪ حجم

میانبارهای سیال مطالعه شده را دربردارد. بیشترین نوع میانبارهای سیال مطالعه شده از این نوع می‌باشند. در این حالت میانبارهای دو فاز غنی از مایع از ۲ میکرون تا ۱۵ میکرون در سراسر نمونه‌ها و با فراوانی نسبتاً زیاد پراکنده می‌باشند. اشکال مشاهده شده در میانبارهای دو فاز غنی از مایع بیشتر به صورت نامنظم و بیضوی می‌باشد.



شکل ۲: تصاویر میانبارهای سیال. A و B: سیال‌های دو فاز غنی از مایع به همراه تک فاز گاز، C: سیال‌های دو فاز غنی از گاز به همراه دو فاز غنی از مایع از مایع تک فاز گاز و D: سیال درگیر سه فاز

گروه سوم میانبارهای سیال موجود در نمونه‌ها شامل نوع دو فاز غنی از گاز می‌باشد. در این نوع از میانبارهای سیال حباب گاز بیشترین حجم سیال را دربردارد، به طوری که حتی در بعضی موارد بیش از ۷۰ درصد حجم میانبار را حباب گاز فراگرفته است، در این نوع از میانبارها همگن‌شدگی همراه با تشکیل بخار می‌باشند. فراوانی این نوع از میانبارهای سیال به همراه میانبارهای سیال دوفاز غنی از مایع نشانگر فرایند جوشش است. در این نمونه میانبارهای دو فاز غنی از گاز از ۵ میکرون تا ۱۰ میکرون با فراوانی کم، نسبت به دو نوع دیگر وجود دارد. اشکال مشاهده شده به صورت نامنظم و بیضوی می‌باشد. نوع دیگر از میانبارها، میانبارهای سه فاز هستند، در این نوع از میانبارهای سیال علاوه بر حباب گاز یک کانی اپک در حجمی از مایع احاطه شده است. میانبارهای سه فاز از ۱۰ میکرون تا ۱۵ میکرون با فراوانی کم قابل تشخیص می‌باشند. این نوع میانبارهای سیال بیشتر به شکل منفی بلور به چشم می‌خورند (شکل ۳). بلور منفی Negative crystal shape زمانی شکل می‌گیرد که میانبار سیال از سیستم تبلور بلوری که در آن به دام افتاده تبعیت کند (Robb, 2005).

ریزدماسنجی

برای انجام مطالعات ریزدماسنجی از سه گروه میانبارهای اولیه استفاده شده است:

گروه A: دو فاز مایع گاز با حجم بیشتر مایع L-V

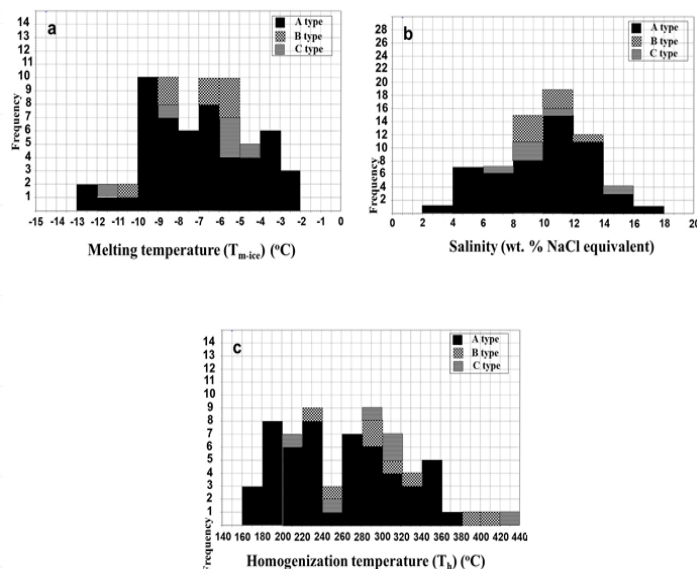
گروه B: دو فاز گاز-مایع با حجم بیشتر از ۶۰ درصد گاز V+L

گروه C: سه فاز مایع-گاز-جامد L-V-S

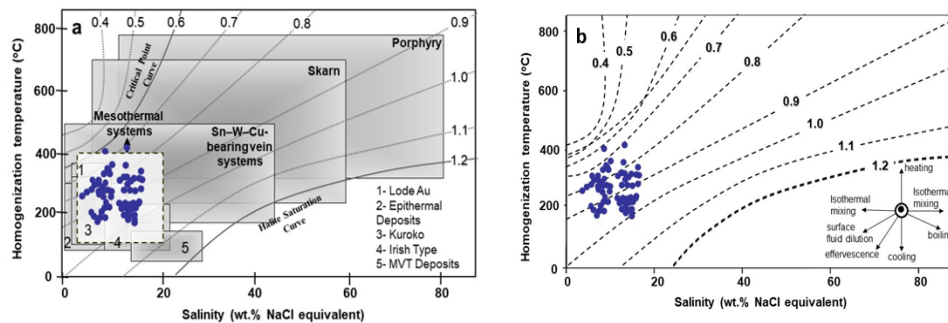
از ۶۶ نقطه مورد مطالعه ۵۲ مورد از گروه A، ۸ مورد از گروه B و ۶ مورد از گروه C اندازه‌گیری شده‌اند.

برای بررسی درجه حرارت همگن‌شدگی میانبارها و تعیین ترکیب شیمیایی سیال‌ها از روش حرارت سنجی استفاده می‌شود. حرارت سنجی یک روش غیرمخرب برای مطالعه میانبارها است که در آن نمونه‌ها را با استفاده از صفحات مخصوص حرارت می‌دهند و یا انجماد می‌کنند. این روش بیشتر از دیگر روش‌ها برای تعیین درجه حرارت سیال به کار می‌رود، هم‌چنین با استفاده از نقطه‌ی یوتکتیک (T_{im})، ترکیب شیمیایی سیال کانسنگ‌ساز را تا حدودی تعیین می‌کند. نقطه‌ی یوتکتیک برای سامانه‌ی $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ برابر -20.8°C درجه‌ی سانتی‌گراد است. در این مطالعه کمترین دمای یوتکتیک به دست آمده -54.4°C درجه

سانتی‌گراد و بیشترین دمای یوتکتیک ۴۸.۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد، از آنجایی که دمای یوتکتیک نمونه‌ها از ۲۰.۸- کمتر است نمک‌های دیگر در کانه‌زایی نقش دارند. دمای ذوب اولین بلور یخ نشان‌دهنده این است که ترکیب سیال کانسنگ ساز معادل $H_2O - CaCl_2$ بوده علاوه بر آن چون دمای یوتکتیک در بعضی از نمونه‌ها به دماهای کمتر می‌رسد نمک‌های دیگر نظیر KCl هم در ترکیب سامانه حضور دارند یعنی سامانه به صورت ترکیب $H_2O - KCl - CaCl_2$ با فاز جامد $ice + CaCl_2 \cdot 6H_2O$ است و پس از آن نمک $MgCl_2$ نیز وارد سامانه شده و ترکیب سامانه به $H_2O - MgCl_2 - CaCl_2$ تغییر می‌کند. با توجه به نمودار دمای همگنی (شکل ۳. c) بیشترین گستره‌های دمایی بین ۱۸۰ تا ۲۴۰ و ۲۶۰ تا ۳۲۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است، از بین تمامی میانبارهای سیال مورد بررسی فقط ۴ نمونه دمایی بیشتر از ۳۶۰ درجه را نشان می‌دهند، این دماها به علت عدم تصحیح فشار بر روی آن‌ها می‌توانند دمای حداقل تشکیل کانی‌ها باشند. با توجه به نمودار شکل ۳. a دامنه تغییرات دمای ذوب آخرین قطعه یخ بین ۲- تا ۱۲.۵- با بیشترین فراوانی بین ۸- تا ۱۰- و ۵- تا ۷- درجه سانتی‌گراد است، از آنجایی که در هیچ کدام از نمونه‌ها مقدار این دما مثبت نشده پس هیچ کلاتریتی تشکیل نشده است. کمترین شوری به دست آمده ۳/۵۵ درصد وزنی برای دمای ۲۶۵ درجه و بیشترین شوری ۱۶/۲۴ درصد وزنی در دمای ۲۹۰ درجه‌ی سانتی‌گراد است، بیشترین فراوانی مربوط به شوری‌های ۸ تا ۱۲ درصد وزنی است (شکل ۳. b). طبق محاسبات انجام شده کانه‌زایی در فشارهایی بین ۲۶۹ تا ۴۸۷۵ بار، با چگالی‌های ۰/۹۴۸ تا ۱/۰۳۶ اتفاق افتاده است. با توجه به موقعیت داده‌های میانبارهای سیال مورد مطالعه بر روی نمودار عمق برحسب دمای همگن‌شدگی (Cunningham, 1978)، کانه‌زایی ترکیبات آهن اولیه در عمق ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متری برآورد می‌شود. براساس نمودارهای شوری درمقابل دمای همگن‌شدگی، این کانساز در محدوده‌ی کانسازهای میان‌دمایی (mesothermal) قرار می‌گیرد و در شکل‌گیری آن جوشش (boiling) و کف جوشی (effervescence) نقش داشته‌اند.



شکل ۳: نمودارهای ستونی میانبارهای سیال. a. میزان شوری برحسب درصد وزنی معادل NaCl. b. دمای همگن‌شدگی یا یکنواختی، c. دمای ذوب آخرین قطعه یخ.



شکل ۴. تعیین نوع سیال‌های کانساز با استفاده از میزان شوری نسبت به دمای همگن شدگی. a. داده‌های میانبار سیال منطقه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای میان‌دمایی قرار می‌گیرد. b. براساس الگو قرارگیری داده‌های میانبار سیال منطقه مورد مطالعه، پدیده‌های جوشش و کف جوشی در کانسازایی شرکت داشته‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

- میانبارها بیشتر از نوع مایع- گاز بوده و در میانبارهای سه فاز مایع- جامد- گاز، فاز جامد به دام افتاده هماتیت است. این موضوع نشانگر غنی بودن آهن در سیال کانساز و شرایط اکسایشی سیال است.
- این کانسار در محدوده دمایی کانسارهای میان‌دمایی قرار می‌گیرد و عمق کانسازایی ترکیبات اولیه آهن بین ۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر می‌باشد.
- با توجه به دمای یونکتیک، نمک‌های موجود در سیال کانساز شامل CaCl_2 ، KCl ، MgCl_2 و FeCl_2 می‌باشند که با دولومیتی‌شدن گسترده در منطقه و کانسازایی آهن متناسب است.
- باتوجه به حضور کانی هماتیت اولیه به عنوان کانی اصلی، نقش اختلاط آب‌های جوی در فرایند کانسازایی مهم است. دمای همگن شدگی کمتر از ۲۰۰ درجه، تاییدی بر این موضوع است.
- باتوجه به داده‌های شوری و دمای همگن شدگی میانبارهای سیال، فرایندهای جوشش و کف جوشی نقش مهمی در کانسازایی داشته‌اند.

۶- مراجع

- شهاب‌پور، ج.، ۱۳۸۶. زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۳ صفحه.
- Asadi, S., Rajabzadeh, M., 2014. Geochemistry, paragenesis, and wall-rock alteration of the Qatruyeh iron deposits, southwest of Iran: implication for a hydrothermal-metasomatic genetic model. *Journal of geological research* 25, 1-25.
- Cunningham, C., 1978. Pressure gradients and boiling as mechanisms for localizing ore in porphyry system. *Journal Research U.S. Survey*. 6: 745-754.
- Hitzman, M. W., 2000. Iron oxide-Cu-Au deposits: What, where, when, and why, in Porter, T. M., ed., *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits A Global Perspective*. Australian Mineral Foundation 17, 9-26.
- Rajabzadeh, M., Rasti, S., 2017. Investigation on mineralogy, geochemistry and fluid inclusions of the Goushti hydrothermal magnetite deposit, Fars Province, SW Iran: A comparison with IOCGs. *Ore Geology Reviews*, Vol. 82, 93-107.
- Robb, L. J., 2005. *Introduction to ore-forming processes*, Blackwell publishing, 382p.
- Sarkarinejad, K., 1999. Tectonic finite strain analysis using Ghouri deformed conglomerate, Neyriz area, Southwestern Iran. *Iranian Journal of Science and Technology* 23, 352-63.