




## Research Article

### Fluid inclusion and stable isotope study of the Baba-Ali and Galali deposits, northwest of Hamedan: Metamorphosed and deformed volcano-sedimentary type of mineralization in northwest of the Sanandaj-Sirjan zone

Ghodratolah Rostami Paydar<sup>1</sup>, Mansour Adelpour<sup>\*2</sup> 

1-Department of Geology, Faculty of Sciences, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran

2-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 16 Dec 2022 Accepted: 3 May 2023

## Extended Abstract

**Introduction:** Baba-Ali and Galali deposits are located in 30 and 60 km northwest of Hamedan in northwest part of the Sanandaj-Sirjan zone. The host rocks of these deposits are metavolcano-sedimentary successions of Songhor series in Permo-Triassic age. Stratigraphic position of ore horizons, geometry of orebodies, ore structures and textures in different scales and paragenetic sequence of minerals all show close genetic relation between iron ore and the metavolcanosedimentary and subvolcanic rocks. The host rocks in the area are felsic to intermediate metavolcanic rocks, more than lava and rhyolitic tuffs with intercalations of carbonate and metatuff-sandstones. Field observations and petrography show that emplacement of plutons and subvolcanic rock units with composition of gabbrodiorite, quartzmonzodiorite, granodiorite, syenite, syenogranite and granite in these successions caused deformation and metamorphism of ore and country rocks.

**Materials and methods:** In this research, 56 polished sections were prepared from iron ore of Baba Ali and Galali deposits, and the mineralogical characteristics and texture of the mineral in relation to gangue minerals were carefully studied using a reflected light mineralogical microscope. In order to determine the origin of ore-rich fluid, studies of fluid inclusions have been carried out on 6 double polished sections in the research laboratory of Tarbiat Modares University. Also, 29 samples of separated phases of sulphide, oxide-silicate and carbonate minerals from ore and gangue minerals of Baba Ali and Galali iron deposits have been analyzed for stable isotope analysis in Queen's University Isotope Research Laboratory in Canada.

**Results and discussion:** From field evidences, fluid inclusions data, as well as stable isotope analysis in this study, emplacement of plutons and subvolcanic rock units with composition of gabbrodiorite, quartzmonzodiorite, granodiorite, syenite, syenogranite and granite in these successions caused deformation and metamorphism of ore and country rocks. Fluid inclusion studies within the quartz crystals indicate that main salinity varies between  $12 \pm 5$  and  $9 \pm 5$  wt.% NaCl equivalent in Baba-Ali and Galali deposits respectively. Homogenization temperature for Baba-Ali and Galali deposits are  $226 \pm 5$  and  $220 \pm 5$  °C respectively. Occurrence of dynamothermal regional metamorphism in these deposits typically involves a lengthy period of time, during which there was a tendency toward isotopic homogenization specifically in O (3 to 10.5 ‰) and H (-10 to -35 ‰) stable isotopes and show the role of metamorphic waters in mineralization process. Measurement of  $\delta^{34}\text{S}$  (CDT) in first generation of pyrite is higher than another one, so these data confirm the volcano-sedimentary origin of primary iron mineralization.

**Conclusion:** Field observations, structure and texture, host rock, intercalation, geochemistry, alterations, studies of fluid inclusion and stable isotopes in Baba Ali and Galali deposits show that these deposits are volcanic-sedimentary iron deposits. Since most of these mineralizations are located in metamorphosed volcanic-sedimentary units, these rock groups are of great importance in terms of iron exploration. Investigating these stone units in the region and generalizing the evidence obtained from them to similar areas in Sanandaj-Sirjan zone can lead to the identification of this type of iron deposits.


**Keywords:** Stable isotope, Northwest of Hamedan, Baba-Ali and Galali deposits, Fluid inclusion.

**Citation:** Ghodratolah Rostami Paydar, Mansour Adelpour (2023). Fluid inclusion and stable isotope study of the Baba-Ali and Galali deposits, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (104-120) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.101329

\* Corresponding author E-mail address: [man.adelpour@yahoo.com](mailto:man.adelpour@yahoo.com)



## مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار کانسارهای آهن باباعلی و گلالی، شمال باختر همدان: کانه‌زایی تیپ آتشفشانی - رسوبی دگرگون و دگرشکل شده در شمال باختری پهنه سنندج - سیرجان

قدرت اله رستمی پایدار<sup>۱</sup>، منصور عادل‌پور<sup>۲\*</sup> 

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

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

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۳

### چکیده گسترده

**مقدمه:** کانسارهای باباعلی و گلالی در ۳۰ و ۶۰ کیلومتری شمال غربی همدان در شمال غربی زون سنندج - سیرجان قرار دارند. سنگ‌های میزبان این نهشته‌ها، توالی‌های متا آتشفشانی- رسوبی سری سنقر در سن پرمو-تریاس هستند. موقعیت چینه‌شناسی افق‌های کانی، هندسه کانی‌ها، ساختارها و بافت‌های کانی در مقیاس‌های مختلف و توالی پاراژنتیکی کانی‌ها، همگی نشان‌دهنده ارتباط ژنتیکی نزدیک بین سنگ آهن و سنگ‌های متاولکان رسوبی و زیر آتشفشانی است. سنگ‌های میزبان در منطقه، سنگ‌های متاولکانیکی فلسیکی تا حد واسط، بیشتر از توف‌های گدازه‌ای و ریولیتی با ترکیبات کربناته و متاتوف- ماسه‌سنگ هستند. مشاهدات صحرایی و سنگ‌نگاری نشان می‌دهد که استقرار توده‌ها و واحدهای سنگی زیر آتشفشانی با ترکیب گابرویدیوریت، کوارتزموزدیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی‌ها باعث تغییر شکل و دگرگونی سنگ معدن و سنگ‌های روستایی شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این تحقیق ۵۶ مقاطع صیقلی از سنگ آهن کانسارهای باباعلی و گلالی تهیه شد و خصوصیات کانی‌شناسی و بافت کانی در رابطه با کانی‌های گنگ با استفاده از میکروسکوپ کانی‌شناسی نور بازتابی به دقت مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین منشأ سیال غنی از سنگ، مطالعات آخالک سیال بر روی ۶ مقاطع صیقلی دوبل در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. همچنین ۲۹ نمونه از فازهای جدا شده از کانی‌های سولفیدی، اکسید سیلیکاتی و کربناته از سنگ معدن و کانی‌های گنگ ذخایر آهن باباعلی و گلالی برای آنالیز ایزوتوپی پایدار در آزمایشگاه تحقیقاتی ایزوتوپ دانشگاه کوئینز در کانادا آنالیز شده است.

**بحث و نتایج:** از شواهد صحرایی، داده‌های گنجاندن سیال و همچنین آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار در این تحقیق، استقرار توده‌ها و واحدهای سنگی زیر آتشفشانی با ترکیب گابرویدیوریت، کوارتزموزدیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی باعث تغییر شکل و دگرگونی سنگ معدنی و خاک شد. سنگ‌ها مطالعات گنجاندن سیال در کریستال‌های کوارتز نشان می‌دهد که شوری اصلی بین  $12 \pm 5$  و  $9 \pm 5$  درصد وزنی معادل NaCl در نهشته‌های باباعلی و گلالی متغیر است. دمای همگن شدن نهشته‌های باباعلی و گلالی به ترتیب  $220 \pm 5$  و  $226 \pm 5$  درجه سانتی‌گراد است. وقوع دگرگونی منطقه‌ای دیناموگرمی در این نهشته‌ها معمولاً مستلزم یک دوره زمانی طولانی است که طی آن تمایل به همگن‌سازی ایزوتوپی به‌طور خاص در ایزوتوپ‌های پایدار O ( $3$  تا  $10/5$  ‰) و H ( $10$  تا  $35$  ‰) وجود دارد و نقش را نشان می‌دهد. آب‌های دگرگونی در فرآیند کانی‌سازی. اندازه‌گیری  $S(CDT)34\delta$  در نسل اول پیریت بالاتر از دیگری است، بنابراین این داده‌ها منشأ آتشفشانی- رسوبی کانی‌سازی اولیه آهن را تایید می‌کنند. **نتیجه‌گیری:** مشاهدات صحرایی، ساختار و بافت، سنگ میزبان، درون‌سازی، ژئوشیمی، تغییرات، مطالعات گنجایش سیال و ایزوتوپ‌های پایدار در کانسارهای باباعلی و گلالی نشان می‌دهد که این نهشته‌ها نهشته‌های آهن آتشفشانی- رسوبی هستند. از آنجایی که بیشتر این کانی‌سازی‌ها در واحدهای آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده قرار دارند، این گروه‌های سنگی از نظر اکتشاف آهن از اهمیت بالایی برخوردار هستند. بررسی این واحدهای سنگی در منطقه و تعمیم شواهد به دست آمده از آنها به مناطق مشابه زون سنندج - سیرجان می‌تواند به شناسایی این نوع ذخایر آهن منجر شود.

**واژگان کلیدی:** ایزوتوپ‌های پایدار، شمال باختر همدان، کانسارهای باباعلی و گلالی، میانبار سیال.

**استناد:** قدرت اله رستمی پایدار، منصور عادل‌پور (۱۴۰۲). مطالعه میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار کانسارهای آهن باباعلی و گلالی،

پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۲)، (۱۰۴-۱۲۰)، DOI: 10.48308/ESRJ.2023.101329

## مقدمه

کانه‌زایی آهن در ایران محدود به دوره زمانی خاصی نیست (Ebrahimi et al, 2015). این کانه‌زایی‌ها با شکل‌گیری پوسته ایران در پروتروزوئیک بالایی آغاز و به موازات فعالیت‌های زمین‌ساختی - ماگمایی تا پلیوسن ادامه داشته است (Ghorbani, 2007). مهم‌ترین مناطق کانه‌زایی اکسیدهای آهن در ایران شامل بلوک پشت بادام در خرد قاره ایران مرکزی، منطقه هرمز در رشته کوه‌های زاگرس، ذخیره سنگان در شرق ایران و کمربند ماگمایی - آتشفشانی سنندج - سیرجان است (Hajimirzajan et al, 2017). در این میان پهنه زمین‌ساختی سنندج - سیرجان شامل مجموعه‌ای از واحدهای رسوبی - ماگمایی با سن پرکامبرین بالایی تا کرتاسه است که طی رویدادهای دگرگونی و دگرشکلی بسیار متحول شده (Hosseini and Ahmadi, 2016) و به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق آهن دار ایران شناخته شده است. این پهنه دارای چندین ذخیره عدسی تا صفحه‌ای شکل بزرگ آهن‌دار است که به سامانه‌های ماگمایی - آتشفشانی منطقه وابسته هستند (Barati, 2012). از مهم‌ترین ذخایر آهن در بخش شمال باختری این پهنه می‌توان به ذخایر شمس آباد (Nabatiyan et al, 2015)، حاجی آباد (Aliani et al, 2015) و معدن شهرک (Maanijou and Salemi, 2015) اشاره کرد. این ناحیه در اثر باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس و تاثیر فازهای کششی و فشاری تریاس - ژوراسیک متحمل ماگماتیسم و دگرگونی ناحیه‌ای و در نتیجه شکل‌گیری کلی منطقه مورد مطالعه شده است (جانی خانی و همکاران، ۱۳۹۳). کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در بخش شمال باختری همدان، در میان توالی آتشفشانی - رسوبی پرموتریاس در بخش شمالی زون سنندج - سیرجان، تحت-تأثیر فعالیت‌های زمین‌ساختی و نفوذ توده‌های آذرین، دچار دگرگونی و دگرشکلی شده‌اند (Rostami Paydar et al, 2010). در این مطالعه، سعی بر آن است که با استفاده از ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، زمین‌شیمیایی، مطالعات میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار، تحولات ترمودینامیکی و خاستگاه سیال‌های کانه‌ساز در کانسارهای باباعلی و گلالی بررسی شود. مطالعه دقیق این نوع کانه‌زایی‌ها، می‌تواند عوامل کلیدی توزیع زمانی و مکانی را برای اکتشاف کانه‌زایی‌های مشابه در این بخش از زون سنندج -

سیرجان، معرفی نماید و به‌عنوان الگوی اکتشافی مورد استفاده قرار گیرد.

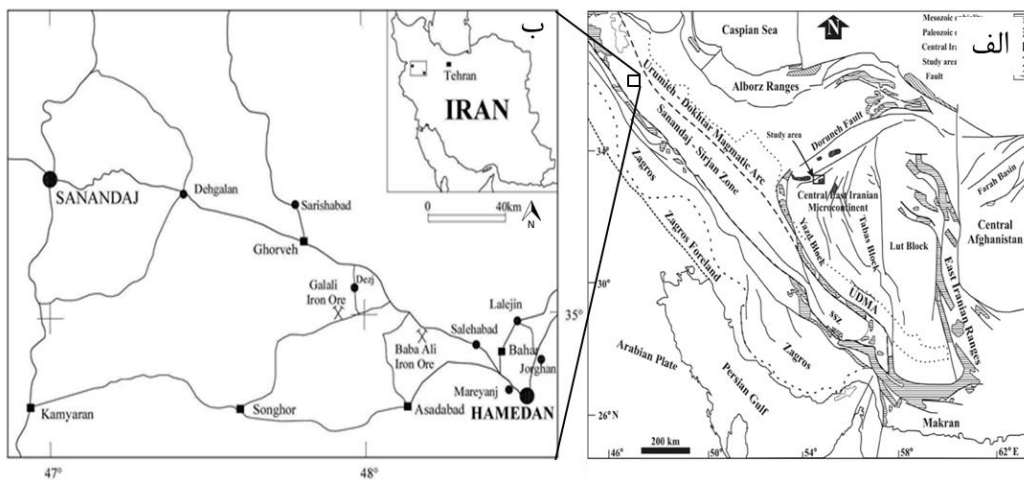
## منطقه مورد مطالعه

## موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

کانسارهای باباعلی و گلالی به ترتیب در فاصله حدود ۳۰ و ۶۰ کیلومتری شمال‌باختری همدان (شکل ۱) در بخش شمال باختری ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ تویسرکان (اشراقی و همکاران، ۱۳۸۰)، در دامنه ارتفاعات باتولیت آلمابولاق در بخش شمال - باختری پهنه سنندج - سیرجان واقع شده‌اند. باتولیت آلمابولاق با وسعت بیش از ۲۶۰ کیلومتر مربع در محدوده‌ای با طول جغرافیایی "۵۸° ۰۶' ۴۸" تا "۱۲' ۴۸° ۳۶" شرقی و عرض جغرافیایی "۵۹° ۵۱' ۳۴" تا "۳۸' ۵۶° ۳۴" شمالی قرار دارد. سنگ‌های نفوذی آلمابولاق با رنگ تیره تا خاکستری روشن و ریز تا متوسط دانه به همراه هوازگی سطحی مشخص می‌شوند. سه گروه از سنگ‌های نفوذی در این باتولیت رخنمون دارند (Amiri et al, 2017a): (۱) گروه اول متشکل از دیوریت گابروبی با رنگ خاکستری تیره تا سیاه می‌باشد و حدود ۱۵ درصد حجمی باتولیت را به خود اختصاص داده است، (۲) گروه دوم که ۲۵ درصد حجمی این باتولیت را به خود اختصاص داده است شامل کوارتزسینیت ریزدانه تا متوسط دانه است، (۳) گروه سوم، شامل کواتز مونزونیت است که در قسمت مرکزی باتولیت قرار دارد و ۶۰ درصد رخنمون‌های منطقه را دارا می‌باشد. فیلیت‌های تریاس - ژوراسیک معروف به فیلیت‌های همدان (Poshtkahi, 2009) و سنگ‌های دگرگون شامل متاولکانیک‌ها، گارنت - میکا شیست، دولومیت آهکی به همراه میان لایه‌های آهکی در اطراف این باتولیت قرار گرفته‌اند (Mohajjel and Izadi Kian, 2007). این منطقه چهار رخداد دگرگونی را متحمل شده است و براساس سن‌سنجی‌های U-Pb و U-Th-Pb انجام شده بر روی سنگ‌های نفوذی (گرانیت، کوارتزمونزونیت، مونزونیت و مونزودیوریت)، این توده در ۹۵ تا ۱۳۸ میلیون سال پیش جایگیر شده است (Shahbazi et al, 2015). توده‌های نفوذی آلمابولاق به دو گروه، توده نفوذی دیوریتی بابا علی (قدیمی‌تر) و باتولیت سینوگرانیتی (جوان‌تر) قابل تقسیم هستند (Zamanian and Asadollahi, 2013) و در حین فعالیت‌های زمین‌ساختی، باعث دگرشکلی و گاه دگرگونی

های که به صورت مرحله‌ای روی هم اعمال شده‌اند؛ مشاهده نمود. براساس مطالعات عناصر نادر خاکی در بخش اسکارنی منطقه آلمابلاق، مشخص شده است که سیالات گرمایی طی دو مرحله از ماگمای اسیدی بوجود آمده است (Zamanian and Radmard, 2016). در این محدوده، فعالیت دو مرحله‌ای سیالات گرمایی نشأت گرفته از توده-های نفوذی اسیدی و رگه‌های موجود در سنگ‌های دگرگونی (Amiri et al, 2017b)، در تشکیل کانسارهای آهن و دیگر فلزات با ارزش در منطقه مؤثر بوده‌اند.

منطقه و کانسنگ آهن شده‌اند. مهم‌ترین رویداد دگرشکلی و دگرگونی که این منطقه را تحت تأثیر قرار داده، در ارتباط با فازهای زمین‌ساختی مرتبط با باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس بوده که در طول دوران مزوزوئیک انجام شده است (Mohajjel et al, 2003). کانسارهای آهن باباعلی و گلالی از دید زمین‌ساختی و ماگمایی، از رویدادهای مرتبط با باز و بسته شدن اقیانوس نئوتتیس (از اواخر پالئوزوئیک تا دوران سوم) متأثر شده و تأثیرات این رویدادها را می‌توان در قالب فازهای فعالیت ماگمایی، انواع دگرگونی‌ها (به ویژه دگرگونی‌های ناحیه‌ای و همبری) و همچنین دگرریختی



شکل ۱: الف: پهنه‌های رسوبی - ساختاری عمده ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳) که در آن محل کانسارهای مورد مطالعه نشان داده شده است؛ ب: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسارهای باباعلی و گلالی

## مواد و روش‌ها

اکسیژن، هیدروژن، گوگرد و کربن انتخاب شد. پس از خردایش، کانی‌ها در زیر میکروسکوپ دوچشمی با خلوص بالای ۹۹٪ جداسازی شد. جهت اطمینان از موضوع درجه خلوص و آلودگی کمتر نمونه‌ها و صحت بیشتر داده‌های ایزوتوپی بر روی نمونه‌های ارسالی تمامی نمونه‌ها توسط دستگاه SEM-EDAX آنالیز شده است. بعد از جداسازی، نمونه‌ها را با هاون آگاتی پودر کرده و در حدود یک گرم از آن‌ها را جهت تجزیه به دانشگاه کوئینز<sup>۱</sup> در کشور کانادا ارسال شد. در این آزمایشگاه کانی‌های سولفیدی مورد نظر در کپسول‌های قلع با مقادیر مساوی اکسید تنگستن ( $WO_3$ ) توزین شدند. استانداردهای کالیبره داخلی برای هر دسته از نمونه‌ها جهت نرمالیزه کردن داده‌ها تهیه می‌شوند. کپسول آماده شده در داخل کاروسل<sup>۲</sup> آنالیزور عنصری واریوایل<sup>۳</sup> قرار داده می‌شوند. یک نمونه به طرف بخش بالایی یک ستون از مواد شیمیایی جامد در ۱۰۰۰

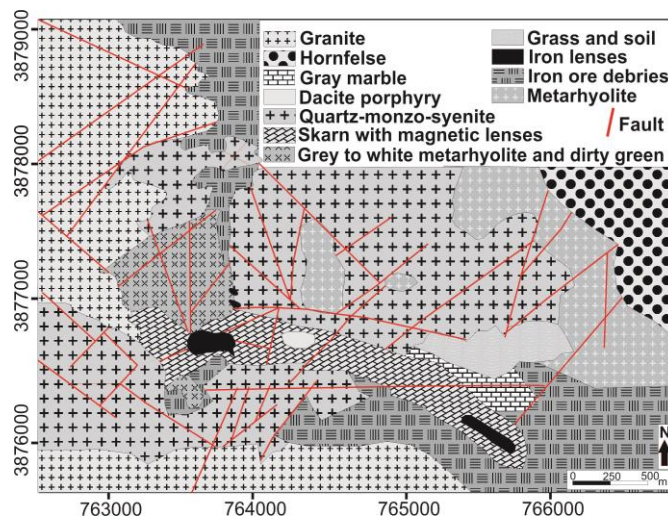
در این پژوهش، ابتدا ۵۶ مقطع صیقلی از کانسنگ آهن کانسارهای باباعلی و گلالی تهیه شد و با استفاده از میکروسکوپ کانه‌نگاری در نور انعکاسی، ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافت ماده معدنی در ارتباط با باطله، به دقت مورد مطالعه قرار گرفت. جهت تعیین منشأ سیال کانه‌دار، مطالعات میانبارهای سیال بر روی ۶ مقطع دو بر صیقل در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است. همچنین ۲۹ نمونه از فازهای جدا شده کانی‌های سولفیدی، اکسیدی - سیلیکاته و کربناته از کانسنگ و باطله کانسارهای آهن باباعلی و گلالی جهت تجزیه‌های ایزوتوپ پایدار در آزمایشگاه تحقیقات ایزوتوپی دانشگاه کوئینز در کشور کانادا مورد تجزیه قرار گرفته است. بدین منظور، ۲۹ نمونه از کانی‌های مگنتیت، پیریت، کوارتز، کلسیت و فلوگوپیت برای تجزیه ایزوتوپ‌های پایدار

زیرین بوده و در ادامه توالی چینه‌شناسی، واحدهای سنگی کرتاسه، ترشیر و نهایتاً رسوبات کواترنر قرار دارند (Rostami Paydar et al, 2010). کانسارهای بابعلی و گلالی در میان سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی سری سنقر (Samadi et al, 2015) به سن پرموتریاس رخ داده‌اند. ترکیب سنگ‌شناسی این سری شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط (بیشتر به صورت گدازه و توف ریولیتی) دگرگون شده، همراه با میان لایه‌های کربناتی و گاه ماسه‌سنگ توفی دگرگون شده است (شکل های ۲، ۳، ۴ و ۵). براساس مشاهدات صحرایی و بررسی های سنگ‌نگاری انجام شده، جایگیری توده‌های نفوذی و نیمه آتشفشانی با ترکیب گابرو دیوریت، کوارتز مونزودیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی سنگی در حین فعالیت‌های زمین ساختی، باعث دگرشکلی و گاه دگرگونی منطقه و کانسنگ آهن شده است. دیگر واحدهای سنگ چینه‌ای رخنمون دار در این منطقه به ترتیب زمانی شامل فیلیت‌های همدان، توالی کربناتی - آواری فسیل‌دار الیگومیوسن و نهشته‌های کواترنر است. سری سنقر تحت فاز کوهزاد کیمبرین پسین، برگ‌وارگی پیدا کرده و همراه با شیل‌های ژوراسیک چین‌خورده است. طی کرتاسه پسین و پالئوسن تحت فاز کوهزاد لارامید با نفوذ ماگماهای با ترکیب غالب گرانودیوریت و دیوریت همراه با دگرگونی مجاورتی باعث هورنفلس‌زائی و اسکارنی‌شدن فازهای قبلی اعم از کانسنگ و سنگ دربرگیرنده شده است.

درجه سانتیگراد رها می‌شود و با افزودن اکسیژن در دمای ۱۸۰۰ درجه سانتیگراد به‌طور ناگهانی سوزانده می‌شود. هلیوم کاملاً خالص برای حمل گازهای منتج در ستون‌های مواد شیمیایی اکسید کننده/ احیا کننده به‌کار می‌رود تا گازهای  $\text{CO}_2$ ،  $\text{N}_2$  و  $\text{H}_2\text{O}$  به دست آید. آب با استفاده از پرکلرات منیزیم از سامانه پاک می‌شود. گاز  $\text{SO}_2$  توسط واریوایال جدا می‌شود و سپس توسط هلیوم به طرف طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی<sup>۴</sup> ترموفینیگان دلتاپلاس<sup>۵</sup> حمل می‌شود تا اندازه‌گیری گردد و دقت اندازه‌گیری  $\pm 0.2\%$  می‌باشد. همچنین تجزیه ایزوتوپی اکسیژن به صورت ترکیبات انجام  $\text{CO}_2$  می‌شود. جدایش اکسیژن از سیلیکات‌ها و اکسیدها معمولاً با روش احیای فلوتوری در لوله‌های نیکلی در دمای ۵۰۰ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد یا با گرمایش لیزری انجام می‌گیرد. مطالعات ریزدماسنجی نیز بر روی کوارتز همراه با کانسنگ مگنتیتی و در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه تربیت مدرس با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ زایس<sup>۶</sup> و به وسیله صفحه گرم و سرد کننده دستگاه Linkam مدل HFS-91 با کنترل کننده حرارتی و سردکننده که بر روی میکروسکوپ زایس نصب شده، انجام پذیرفت. دقت و صحت در آنی محدوده دمایی ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتیگراد،  $\pm 0.1$  درجه سانتیگراد است.

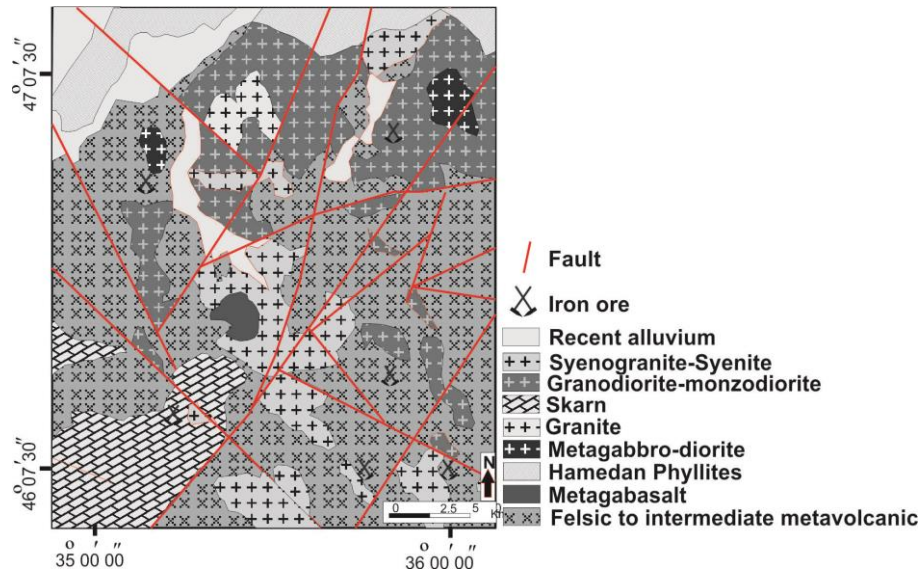
## بحث و نتایج

چینه‌شناسی: قدیمی‌ترین واحدهای سنگی شناخته شده این دو کانسار مربوط به پالئوزوئیک بالایی - مزوزوئیک

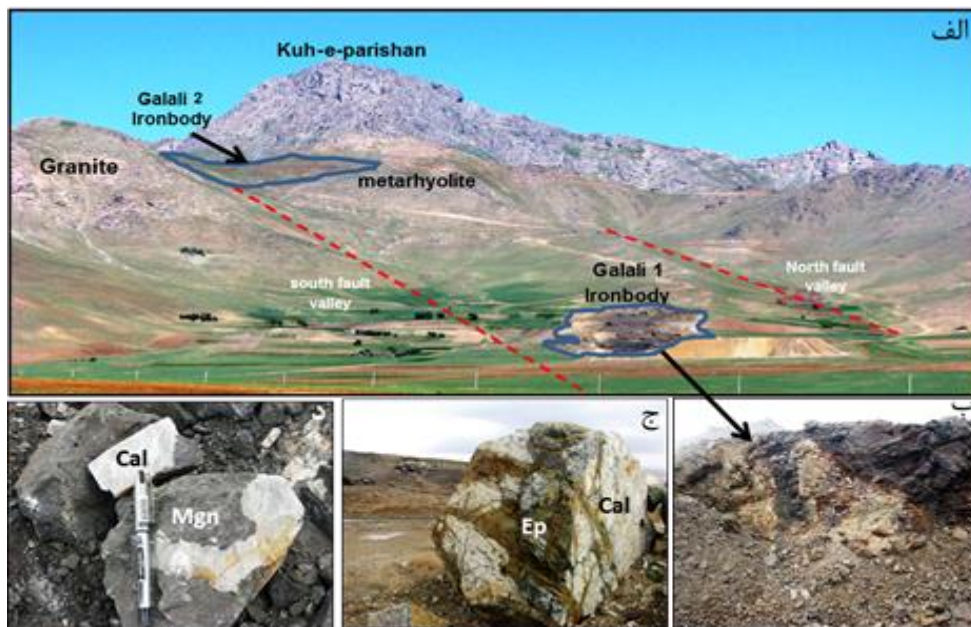


شکل ۲: نقشه زمین‌شناسی - معدنی کانسار آهن گلالی در مقیاس ۱:۵۰۰۰ (تهیه شده در مطالعه حاضر)





شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی - معدنی کانسار آهن باباعلی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (تهیه شده در مطالعه حاضر)

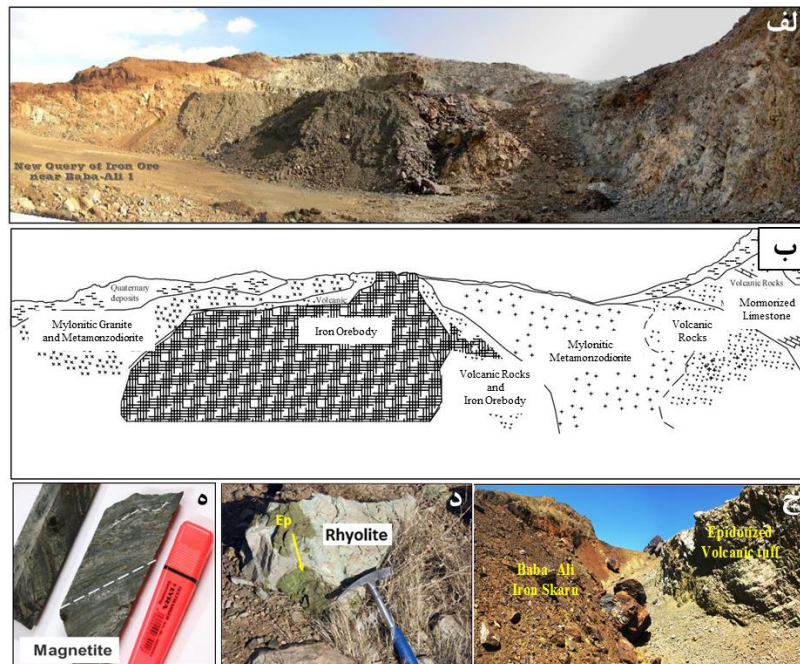


شکل ۴: الف: تصویر پانوراما از محدوده کانی‌سازی آهن گلالی که در آن موقعیت توده‌های آهن گلالی نشان داده شده است (دید به سمت باختر)، ب: لنزهای مگنتیت که توسط افق‌های کربناتی - اپیدوتی در سنگ میزبان متاریولیتی در برگرفته شده است، ج: نمایی از باطله اپیدوت (Ep) - کلسیتی (Cal) در زون اسکارن گلالی که تا حدودی سیلیسی شده است، د: نمایی از باطله کلسیتی - کوارتز به همراه مگنتیت (Mt) در کانسار آهن گلالی (نام اختصار کانی‌ها از Whitney و Evans (۲۰۱۰) برگرفته شده است).

### دگرسانی

را در منطقه دارند (شکل‌های ۵ ج و د)؛ همچنین دگرسانی های سریسیتی و کلریتی نیز در واحدهای سنگی هر دو کانسار دیده می‌شوند. گسترده‌ی دگرسانی پروپیلیتیک و کانی‌های اپیدوت و کلریت به خصوص در مجاورت زون‌های کانی‌سازی آهن ناشی از عملکرد سیالات گرمابی است (شکل ۵ د).

بر پایه مطالعات انجام گرفته و بررسی‌های صحرایی، بیشتر دگرسانی‌های موجود در منطقه منطبق بر شکستگی‌ها و گسل‌های کوچک محلی هستند و دگرسانی‌های دیده شده، بیشتر از نوع سیلیسی، اپیدوتی، اسکارنی و آرژلیک است که در ارتباط با کانه‌زایی هستند و بیشترین گسترش



شکل ۵: الف و ب: تصویر و مقطع ترسیم شده برای رخنمون توده آهن در بخش شمال باختری کانسار باباعلی (دید به سمت جنوب، ج: نمایی از توفهای آتشفشانی در مجاورت توده آهن بابا علی، د: آتشفشانی‌های با ترکیب ریولیتی سبز روشن در زون دگرسانی پروپیلیتیک در کانسار گلالی که در بخش‌هایی اپیدوتی شده است، ه: بافت لامینه‌ای و فولیه شده کانه مگنتیت در مغزه‌های حاصل از حفاری در زون کانی‌سازی گلالی که از آن برای مطالعات ایزوتوپی استفاده شده است.

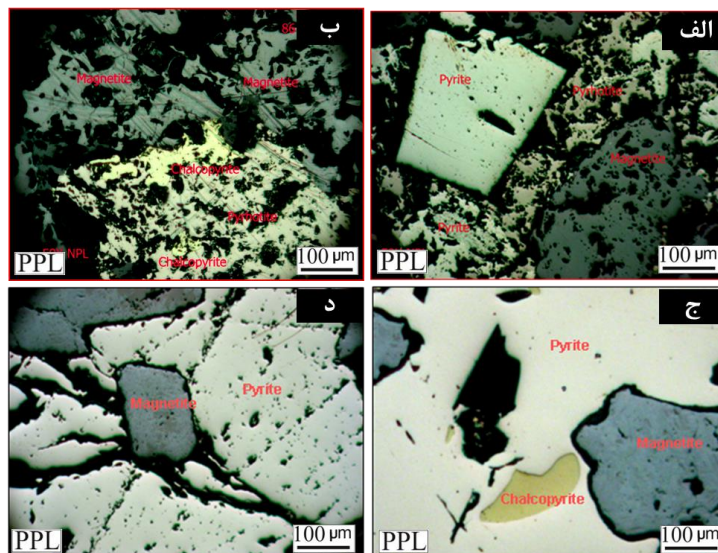
کانی‌های سولفیدی مانند پیریت و پیروتیت نسبت به مگنتیت، تأخیری هستند (شکل ۶ الف). بافت‌های دانه پراکنده، لایه‌ای، لامینه‌ای، شکافه پرکن و توده‌ای در ماده معدنی قابل مشاهده است. توسعه برگ وارگی و بافت نواری شکل حاصل از دگرگونی مگنتیت و پیریت‌های نسل اول و دیگر کانی‌های کانسنگ آهن باباعلی حکایت از عملکرد دست‌کم یک فاز دگرگونی ناحیه‌ای بر روی کانسنگ آهن دارد. در کانسار باباعلی، کانه مگنتیت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار، شکل‌دار و بی‌شکل و نیز به صورت موزائیکی دیده می‌شود. گاه بلورهای اولیه مگنتیت با پیریت و کالکوپیریت هم‌رشدی نشان می‌دهند (شکل ۶ ب). ابعاد بلورهای مگنتیت نسل اول، بیشتر بین ۳۰ تا ۳۰۰ میکرون است. این بلورها در بخش‌هایی تحت فرآیند دگرسانی سوپرژن قرار گرفته و در جهت سطوح بلورشناسی تحت‌تأثیر فرآیند مارتیتی شدن به هماتیت تبدیل شده‌اند (Mukherjee and Venkatesh, 2017). در بعضی از مقاطع مورد بررسی قطعات دانه‌ریزی از پیریت‌های اولیه در متن بلورهای مگنتیت نسل اول وجود دارد. از جمله بافت‌های جالب توجه، بافت‌های اولیه دانه‌پراکنده و لامینه‌ای مگنتیت نسل اول و هماتیت در تناوب با

این واکنش‌ها در زون‌های مختلف قابل مشاهده‌اند. علاوه بر این به نظر می‌رسد که سیالات ماگمایی و دگرگونی موجود در منطقه مورد مطالعه، نوعی متاسوماتیسم را نیز ایجاد نموده است که به تشکیل گسترده فلدسپات سدیک در زون‌های دگرگونی دیناموترمال منجر شده که باعث نوعی متاسوماتیسم موضعی در اطراف توده‌ها و زون‌های کانی‌سازی آهن شده است.

کانی‌شناسی، کانه‌زایی و بافت: مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری، زمین‌شیمیایی و میانبارهای سیال کانسارهای بابا علی و گلالی نشان می‌دهند که توالی پاراژنزی و کانه‌زایی در هر دو کانسار، شامل کانی‌سازی مگنتیت نسل اول و نسل اولیه پیروتیت و پیریت هم‌زمان با سنگ درونگیر است. پس از آن در مرحله دوم، مگنتیت نسل دوم همراه با کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت نسل دوم و کالکوپیریت تشکیل شده‌اند و کانی‌های اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی آن‌ها از جمله مالاکیت، آزوریت، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوتیت و لیمونیت در فضاهای خالی سنگ میزبان و در بین باطله و مگنتیت، کانی‌سازی داشته است. براساس بررسی‌های کانی‌شناسی و بافت ماده معدنی،

با ابعاد ۲۰ تا ۵۰ میکرون دیده می‌شود. بیشتر این بلورها از حاشیه و اطراف دگرسان شده و به اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن تبدیل شده‌اند، (۲) نسل دوم پیریت به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار با ابعاد ۳۰ تا ۳۰۰ میکرون است. گاه اجتماع بلورهای پیریت، لکه‌های درشتی با ابعاد میلی‌متر تا سانتی‌متر را ایجاد نموده است (شکل ۶ الف، ۳) نسل سوم پیریت به صورت بلورهای درشت و با شکل هندسی نامشخص در فضاهای خالی سنگ میزبان جای گرفته است. اندازه بلورها بین ۱۰۰ تا ۵۰۰ میکرون متغیر بوده و سطح آنها حفره‌دار و توخالی است. در برخی حفرات، قطعات کوچکی از کانه‌های پیروتیت و کالکوپیریت حضور دارند (شکل ۶ ج).

لامینه‌های کربناتی است. همچنین نوعی بافت نواری شکل به‌ویژه در بخش‌های پرعیار کانسار باباعلی دیده می‌شود. مشاهدات در مقیاس‌های رخنمون، نمونه دستی و میکروسکوپی نشان می‌دهد این نوع بافت افزون بر دگرگونی ناحیه‌ای کانسنگ، همراه با سنگ درونگیر، تشکیل و توسعه پیدا کرده است، بدین ترتیب که دگرشکلی‌های ایجاد شده در سنگ درونگیر و کانسنگ آهن، به‌ویژه در پهنه‌های برشی شکل‌پذیر، شباهت و انطباق خوبی نشان می‌دهند. در کانسنگ آهن باباعلی، ۳ نسل پیریت از نظر دانه‌بندی و بافت قابل تفکیک است که در مطالعات ایزوتوپی مورد بررسی قرار گرفته‌اند: (۱) نسل اول پیریت به صورت دانه‌ریز و فاقد شکل هندسی مشخص



شکل ۶: الف: پیریت نسل دوم خودشکل در کنار مگنتیت و پیروتیت در کانسار گلالی، ابتدا فاز مگنتیت سپس پیریت و نهایتاً پیروتیت فضاهای بین کانی را پر نموده است، ب: کانه‌سازی مگنتیت نسل اول در کنار کالکوپیریت و پیروتیت در کانسار باباعلی، ج: مگنتیت هیپوژن اولیه به همراه انکلوزیون کالکوپیریت نسل اول در پیریت درونگیر که فضای بین بلورهای خودشکل مگنتیت را پر کرده است (کانسار باباعلی)، د: بلورهای خودشکل نسل اول مگنتیت به همراه پیریت در فاز هیپوژن.

لکه‌ای، افشان و شکافه پرکن نیز دیده می‌شوند. این کانی از حواشی و اطراف و نقاط ضعف در شبکه بلورین، به هماتیت دگرسان شده است، به طوری که خطوط مارتیتی شدن در آن آشکار است. کانه‌های نسل اول مگنتیت در برخی از مقاطع مطالعه شده، دچار شکستگی‌های ظریفی شده است که به نظر می‌رسد حاصل عملکرد فرایندهای زمین‌ساختی است و در برخی بخش‌ها، جابه‌جایی قطعات بلور مگنتیت نیز صورت گرفته است. در داخل حفرات ایجاد شده، دگرسانی بسیار ضعیفی روی این کانی صورت گرفته

در کانسار آهن گلالی نیز کانه مگنتیت نسل اول به عنوان کانی فلزی چیره به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار، شکل‌دار و گاهی بی‌شکل (نسل دوم) دیده می‌شود. ابعاد بلورهای اولیه مگنتیت از ۲۰ تا ۸۰۰ میکرون متغیر است، ولی بلورهای بین ۲۰۰ تا ۳۰۰ میکرون، فراوانی بیشتری نشان می‌دهند. اجتماع این بلورها، گاه تجمعات درشت با ابعاد میلی‌متر تا سانتی‌متر را ایجاد می‌نماید که با چشم غیرمسلح به راحتی قابل جدایش است. بافت کانی‌سازی فلزی مگنتیت بیشتر به صورت توده‌ای است، ولی بافت‌های



در کانسارها می‌تواند ابزار مهمی جهت شناخت شرایط فیزیکوشیمیایی سیال گرمایی مسئول دگرسانی و کانه‌زایی باشد (Calagari, 2004)، خصوصیات فیزیکی و ترکیب سیالات گرمایی که از پتروگرافی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال به دست می‌آید شامل دما، فشار (یا عمق)، چگالی و ترکیب محلول‌های اصلی (نمک‌ها و گازها) هستند (John et al, 2010) و اطلاعات با ارزشی را در ارتباط با سیال‌های مسئول کانه‌زایی بیان می‌کنند (Pirajno, 2009; Kaulina et al, 2017). در این راستا مطالعات میانبارهای سیال بر روی ۶ مقطع دو بر صیقل کوارتز صورت گرفته است (جدول ۱). در کانسارهای بابا علی و گلالی، کانی کوارتز به عنوان کانی شفاف، همراه مگنتیت مورد تجزیه قرار گرفته و ۵ گونه مختلف میانبارهای سیال تفکیک شده است. نمونه‌های مطالعه شده به ترتیب فراوانی شامل میانبارهای سیال اولیه، ثانویه و شبه ثانویه هستند. در این نمونه‌ها، میانبارهای سیال اولیه اندازه بزرگ‌تری نسبت به میانبارهای سیال ثانویه و شبه ثانویه دارند. میانبارهای سیال اولیه به صورت موازی با سطوح بلوری و همچنین به صورت پراکنده در متن کانی میزبان دیده می‌شوند. میانبارهای سیال ثانویه به دلیل قرارگیری در محل شکستگی‌ها بیشتر تا حاشیه بلور امتداد پیدا می‌کنند. میانبارهای سیال مورد مطالعه موجود در کانی کوارتز در کانسار آهن بابا علی و گلالی در گروه‌های زیر رده‌بندی می‌شوند: (۱) تک‌فازی غنی از گاز (V)؛ (۲) تک‌فازی غنی از مایع (L)؛ (۳) دوفازی غنی از گاز (V+L)؛ (۴) دوفازی غنی از مایع (L+V)؛ (۵) دوفازی غنی از (CO<sub>2</sub>+L) (شکل ۷). وجود CO<sub>2</sub> در برخی از سیالات درگیر احتمالاً ناشی از آزاد شدن CO<sub>2</sub> طی دگرگونی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (Lai et al, 2015) مطالعه میانبارهای سیال کانسارهای بابا علی و گلالی و غالب بودن میانبارهای سیال با دمای پایین‌تر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد، حاکی از رخداد فرآیندهای دگرگونی قهقرائی و سیالات گرمایی تأخیری است که نتایج مشاهدات صحرایی نیز این وضعیت را تأیید می‌نماید. در این مطالعه تنها از سیالات درگیر نوع دوفازی غنی از مایع جهت اندازه‌گیری مقادیر دمای ذوب یخ (Tm) و دمای همگن‌شدگی (Th) استفاده شده است. میانگین دمای همگن شدن برای سیالات کانه‌ساز تأخیری در کانسارهای آهن گلالی ۲۲۰±۵۵ درجه سانتیگراد و برای

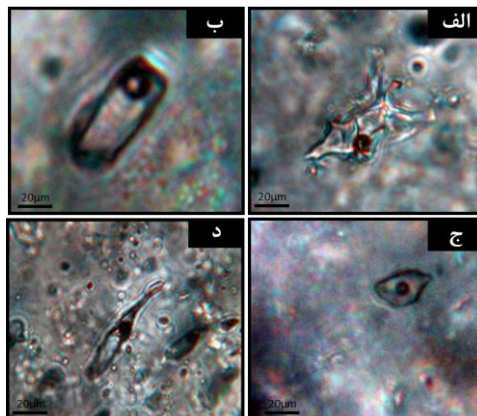
و به اکسیدهای آبدار ثانویه از جمله هماتیت، لیمونیت و گوتیت تبدیل شده است. پیریت‌های نسل دوم کانسنگ گلالی نیز به صورت بلورهای کاملاً شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و با ابعاد ۳۰ تا ۱۰۰ میکرون است که گاه اندازه درشت بلور آنها به ابعاد حدود ۶۰۰ میکرون نیز می‌رسد و گاهی نیز اجتماع بلورهای پیریت به صورت تجمعات با ابعاد میلی‌متر تا سانتی‌متر ایجاد کرده است. این کانی در بیشتر موارد به شکل رگچه‌ای و درگیر با مگنتیت است. پیریت بیشتر همراه با پیرویت بوده و در حفرات و فضاهای مناسب، مگنتیت را پر کرده است. بافت‌های دانه پراکنده، لامینه‌ای، لایه‌ای و شکافه‌پرکن از پیریت در سنگ درونگیر و کانسنگ آهن دیده می‌شود. بافت‌های شکافه‌پرکن در بخش‌های مختلف این کانسار چیره است و با چشم غیرمسلح نیز قابل مشاهده است. بر مبنای مشاهدات بافتی، کانی‌سازی پیریت تابع فضاهای خالی سنگ میزبان بوده و اغلب پس از کانی پیرویت رخ داده است. توسعه فولیاسیون و بافت نواری شکل مگنتیت و پیریت و دیگر کانی‌های کانسنگ حکایت از تحمل حداقل یک فاز دگرگونی ناحیه‌ای توسط کانسنگ آهن دارد. مطالعه ژئومتری، ساخت و بافت و پاراژنز کانه‌ها و کانی‌ها در کانسارهای آهن بابا علی و گلالی حاکی از آن است که ماده معدنی در ۴ مرحله به شرح ذیل تشکیل شده است: (۱) مرحله آتشفشانی - رسوبی، (۲) مرحله شکل‌گیری زون‌های برشی در حین دگرگونی ناحیه‌ای، (۳) دگرگونی مجاورتی و (۴) مرحله گرمایی تأخیری همراه با بالا آمدگی و رخنمون در سطح زمین. مرحله چهارم تشکیل ماده معدنی حاصل تحرک نسل‌های قبلی و تمرکز آن به صورت دیرزاد در فضاهای خالی، گسل‌ها و شکستگی‌ها همراه با فرآیندهای مربوط به فرسایش و سوپرژن می‌باشد.

ریزدماسنجی میانبارهای سیال: میانبارهای سیال، حجمهای کوچکی از سیال تشکیل دهنده کانسار هستند که ضمن تبلور کانی‌ها یا پس از تبلور در شکستگی‌های ریز یا رخ‌های کانی میزبان به دام افتاده‌اند (Shepherd et al, 1985). بررسی میانبارهای سیال، یکی از متداول‌ترین و شناخته‌ترین شیوه‌های مطالعه نهشته‌های معدنی است (زمانیان و همکاران، ۱۳۹۱). این علم شامل مطالعه هرگونه میانباری است که از یک محیط مایع، گاز و یا مواد مذاب به دام افتاده است (Ni et al, 2017). مطالعات میانبارهای سیال

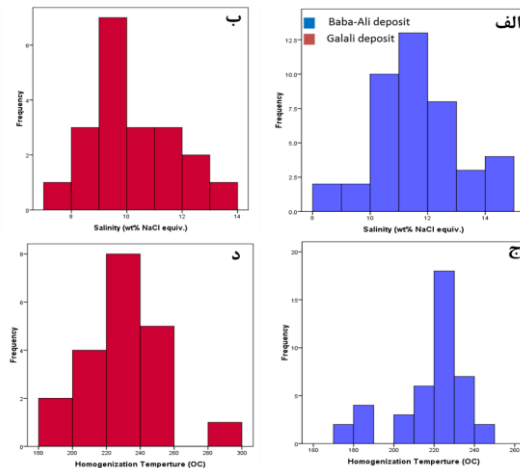
کانسار آهن باباعلی  $226 \pm 5$  درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شده است (جدول ۱). میانگین درجه شوری سیالات کانه ساز نیز به ترتیب برای کانسارهای گلالی و باباعلی برابر با  $12 \pm 5$  و  $12 \pm 5$  درصد معادل وزنی NaCl اندازه‌گیری شده است (شکل ۸ الف و ب).

جدول ۱: نتایج مطالعات ریزدماسنجی سیالات درگیر در کانی کوارتز در کانسارهای گلالی (GA) و باباعلی (BA)

Fluid. No	Type	phase	Th <sup>o</sup> c	Salinity Wt%NaCl	Fluid. No	Type	phase	Th <sup>o</sup> c	Salinity Wt%NaCl	Fluid. No	Type	phase	Th <sup>o</sup> c	Salinity Wt%NaCl
GA-1	P	L+V	220	9.9	BA-12	P	L+V	230	10	BA-43	P	L+V	218	11
GA-2	P	L+V	203	10.1	BA-13	P	L+V	240	12	BA-44	P	L+V	223	13
GA-3	P	L+V	230	11.2	BA-14	P	L+V	236	8.6	BA-45	P	L+V	201	10
GA-4	P	L+V	223	10.3	BA-15	P	L+V	220	8.7	BA-46	P	L+V	208	14
GA-5	P	L+V	196	9.8	BA-16	P	L+V	220	12	BA-47	P	L+V	189	11.5
GA-6	P	L+V	218	12	BA-17	P	L+V	220	8.8	BA-48	S	L+V	185	11.8
GA-7	P	L+V	201	11	BA-18	P	L+V	244	9	BA-49	S	L+V	185	10.6
GA-8	P	L+V	195	10	BA-19	P	L+V	225	9.3	BA-50	P	L+V	210	13
GA-9	P	L+V	233	13	BA-20	P	L+V	233	10	BA-51	P	L+V	228	10
GA-10	P	L+V	230	11	BA-21	P	L+V	220	8.9	BA-52	P	L+V	224	14
GA-11	P	L+V	228	9	BA-22	P	L+V	225	10	BA-53	P	L+V	235	11
GA-12	P	L+V	250	8	BA-23	P	L+V	217	9	BA-54	S	L+V	181	12
GA-13	P	L+V	224	8.9	BA-24	P	L+V	219	11	BA-55	P	L+V	229	11
GA-14	P	L+V	249	9.2	BA-25	P	L+V	230	7.3	BA-56	P	L+V	245	10
GA-15	P	L+V	256	9	BA-26	S	L+V	174	7.6	BA-57	P	L+V	223	10
GA-16	P	L+V	285	7.8	BA-27	P	L+V	357	11	BA-58	P	L+V	228	12.3
GA-17	P	L+V	250	9	BA-28	P	L+V	180	7.7	BA-59	P	L+V	231	11
GA-18	P	L+V	240	9.2	BA-29	P	L+V	238	10	BA-60	P	L+V	223	9.9
GA-19	P	L+V	215	8.7	BA-30	S	L+V	195	11	BA-61	P	L+V	228	8.9
GA-20	P	L+V	220	12	BA-31	P	L+V	210	9.8	BA-62	P	L+V	232	11.3
BA-1	P	L+V	220	11	BA-32	P	L+V	208	8.7	BA-63	P	L+V	218	11.3
BA-2	P	L+V	220	8	BA-33	P	L+V	206	9.5	BA-64	P	L+V	225	12
BA-3	P	L+V	244	13	BA-34	P	L+V	200	10	BA-65	P	L+V	223	14
BA-4	P	L+V	225	12.5	BA-35	S	L+V	186	9.3	BA-66	S	L+V	178	11.3
BA-5	P	L+V	233	12.8	BA-36	P	L+V	238	11	BA-67	P	L+V	233	10.8
BA-6	P	L+V	220	12	BA-37	P	L+V	195	12	BA-68	S	L+V	170	10.6
BA-7	P	L+V	225	10	BA-38	P	L+V	233	10	BA-69	P	L+V	231	9.8
BA-8	P	L+V	217	10	BA-39	P	L+V	228	11	BA-70	P	L+V	214	12
BA-9	P	L+V	219	14	BA-40	P	L+V	223	11	BA-71	P	L+V	208	11.3
BA-10	P	L+V	230	12	BA-41	P	L+V	235	11.3	BA-72	P	L+V	221	10.7
BA-11	P	L+V	222	11	BA-42	P	L+V	218	15	BA-73	P	L+V	220	11.3



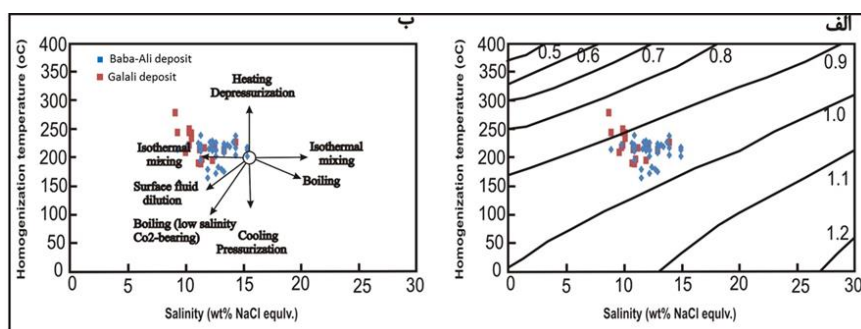
شکل ۷: الف: میانبر سیال دوفازی غنی از مایع با شکل هندسی نامنظم، ب و ج: میانبر سیال اولیه دوفازی با شکل منظم، د: میانبر سیال دوفازی غنی از مایع در حال Necking down.



شکل ۸: الف: هیستوگرام فراوانی درصد شوری میانبرهای سیال کانسار باباعلی، ب: هیستوگرام فراوانی درصد شوری میانبرهای سیال کانسار گلالی، ج: هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبرهای سیال کانسار باباعلی، د: هیستوگرام فراوانی دمای همگن شدن میانبرهای سیال کانسار گلالی

سیال دوفازی غنی از مایع در کانسار باباعلی بیش از کانسار گلالی است. اختلاف در چگالی سیال اهمیت ویژه‌ای دارد و فرآیند جریان سیال، متأثر از چگالی آن می‌باشد. با افزایش شوری میانبرهای سیال، چگالی سیال افزایش پیدا می‌کند، خروج فاز گازی و تولید حباب موجب افزایش چگالی سیال باقیمانده می‌شود که این فرآیند به چگالش معروف است (Wilkinson, 2001). جوشش و آمیختگی سیال‌های گرمایی، دو عامل مهمی هستند که معمولاً شرایط لازم برای ته‌نشست کانسارها را فراهم می‌آورند و سبب فوق اشباع شدن سریع سیال گرمایی در محدوده سنگ‌ها و ته‌نشست کانسار می‌شوند (Wilkinson, 2001). با توجه به شکل ۹ ب، روندهای فیزیکی اصلی برای نهشت کانسار آهن باباعلی و گلالی، نشانه آمیخته شدن ایزوترمال سیال با سیالی است که شوری متفاوتی دارد.

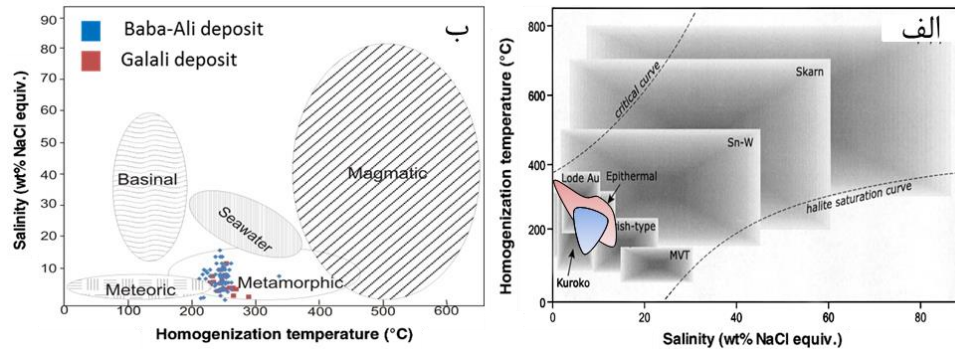
همان‌طور که ملاحظه می‌شود مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات درگیر در هر دو کانسار آهن گلالی و باباعلی شباهت قابل توجهی دارند و این نشان از وجود همبستگی معنی‌دار بین مقادیر داده‌های ریزدماسنجی به دست آمده از هر دو کانسار است، لذا از بررسی آماری داده‌های دو کانسار می‌توان نتیجه گرفت که فرآیندهای گرمایی تأخیری در هر دو کانسار مشابه هم عملکرد داشته‌اند. نمودار دمای همگن‌شدن - درجه شوری برای سیالات درگیر کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در شکل ۹ الف نشان داده شده است. از نظر دمای همگن‌شدن و شوری تمامی نمونه‌های مطالعه شده یک محدوده نسبتاً پیوسته و مشخص را نشان می‌دهند. چگالی میانبرهای سیال نمونه‌های کوارتزی کانسار آهن باباعلی از ۰/۹۱ تا ۰/۹۸ تغییر می‌کند، در حالی که در کانسار آهن گلالی از ۰/۸۴ تا ۰/۹۵ متغیر است که نشان دهنده این مطلب است که شوری



شکل ۹: الف: نمودار شوری - درجه همگن‌شدگی میانبرهای سیال نمونه‌های کانسارهای باباعلی و گلالی برای تعیین چگالی (Wilkinson, 2001)؛ ب: نمودار شوری - درجه همگن‌شدگی میانبرهای سیال نمونه‌های کانسارهای باباعلی و گلالی برای تعیین مکانیسم نهشت (Wilkinson, 2001).

در نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری ( Kesler, 2005) میانبارهای سیال مربوط به کانی‌سازی در محدوده آب‌های دگرگونی قرار می‌گیرد (شکل ۱۰ ب)، شایان ذکر است، مشاهدات ساخت، بافت و کانی‌شناسی نیز این وضعیت کانه‌سازی را در کانسارهای باباعلی و گلالی تأیید می‌نماید.

به نظر می‌رسد که سیالی با شوری پایین‌تر به‌طور متناوب و در طی دوره‌های کوتاه مدت با سیال با شوری بالا مخلوط شده است. به باور هدنکوئیست و هنلی ( Hedenquist and Henley, 1985) همراهی میانبارهای سیال با چگالی کم (Low density) و زیاد (High density)، (با دمای همگن شدگی تقریباً یکسان)، نشانه پدیده جوشش در سیستم‌های گرمایی هستند (شکل ۱۰ الف). از نظر منشأ سیال،



شکل ۱۰ الف: دیاگرام تغییرات دمای همگن‌شدگی - شوری سیالات درگیر در کانسارهای آهن گلالی و باباعلی نسبت به انواع مهم کانی‌سازی (Wilkinson, 2001)، ب: نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری برای میانبارهای سیال کانسارهای گلالی و باباعلی ( Kesler, 2005).

به ترتیب مقادیر ۳ تا ۱۰/۵ و ۶/۹ تا ۱۵/۶ پرمیل را نشان می‌دهد. نسبت‌های  $\delta^{18}\text{O}$  در نمونه‌های مگنتیت کانسار باباعلی، در محدوده ۳ تا ۴/۶ و در کانسار گلالی ۷/۹ تا ۱۰/۴ پرمیل هستند. این نسبت در کانی کوارتز کانسار باباعلی ۹/۶ تا ۱۰/۵ پرمیل می‌باشد. در دو نمونه کلسیت گلالی  $\delta^{18}\text{O}$  میزان ۱۰/۸ تا ۱۵/۶ پرمیل و یک نمونه فلوگوپیت از همین کانسار مقدار ۷/۶ پرمیل را نشان می‌دهند. مگنتیت کمترین و کوارتز بیشترین مقدار  $\delta^{18}\text{O}$  را متمرکز می‌کند (Afzali et al, 2016)؛ این موضوع در نتایج حاصل از تجزیه ایزوتوپی اکسیژن کانسار باباعلی نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۱ الف).

#### ایزوتوپ‌های پایدار

ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن، هیدروژن و کربن: تجزیه ایزوتوپ‌های پایدار (S, O, H, C) یکی از بهترین روش‌های زمین‌شیمیایی در زمینه بررسی تشکیل و برخی ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی سیال‌های گرمایی کانه‌ساز، منشأ (Hoefs, 2008) و تکامل برخی سازنده‌های کانه‌ساز است. به علاوه مقدار و حجم واکنش ایزوتوپ‌های پایدار با سنگ‌های دیواره و سازوکارهای نهشت کانسنگ را فراهم می‌آورند (Pirajno, 2009). به منظور مطالعه منشأ سیال‌های کانه‌ساز، نسبت ایزوتوپی اکسیژن، هیدروژن، کربن و گوگرد در کانی‌سازی منطقه باباعلی و گلالی ارزیابی شده است (جدول ۲). داده‌های  $\delta^{18}\text{O}$  در کانسارهای باباعلی و گلالی

جدول ۲: مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{34}\text{S}$ ،  $\delta^{18}\text{O}$ ،  $\delta\text{D}$  و  $\delta^{13}\text{C}$  بر حسب پرمیل در کانسارهای باباعلی (BA) و گلالی (GA)

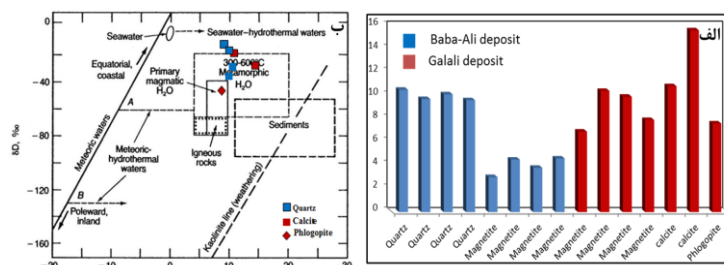
Sample	Mineral	$\delta^{34}\text{S}$	Sample	Mineral	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta\text{D}$	$\delta^{13}\text{C}$
86-BA-P1	pyrite	10.2	86- BA -Q1	Quartz (Fluid inc. to be analysed)	10.5	-30	
86- BA -P2	pyrite	10.3	86- BA -1160	Quartz (Fluid inc. to be analysed)	9.7	-16	
86- BA -P3	pyrite	9.9	86- BA -1164	Quartz (Fluid inc. to be analysed)	10.1	-35	
86- BA -P7	pyrite	10.9	86- BA -1165	Quartz (Fluid inc. to be analysed)	9.6	-10	
86- BA -P10	pyrite	5.8	86-GA-PH2	phlogopite	7.6	-53	
86- BA -P11	pyrite	8.3	86- BA -P7M	Magnetite	3		



86- BA -P14	pyrite	5.8	86- BA -P1M	Magnetite	4.5		
86- BA -P22	pyrite	8.6	86-GA-P2	Magnetite	6.9		
86-GA-P1	pyrite	6.3	86-GA-1167	Magnetite	10.4		
86-GA-P20	pyrite	9.3	86-GA-1168	Magnetite	9.9		
86-GA-P11	pyrite	9.4	86-GA-1169	Magnetite	7.9		
86-GA-P22	pyrite	6.3	86- BA -P2M	Magnetite	3.8		
86-GA-P14	pyrite	10.4	86- BA -P3M	Magnetite	4.6		
86-GA-P7	pyrite	8.7	86-GA-C1	Calcite	10.8	-17	-3
			86-GA-1166	Calcite	15.6	-23	-1.4

می‌دهد. این دامنه از نسبت‌های ایزوتوپی هیدروژن همراه با دامنه نسبت‌های ایزوتوپی اکسیژن، همخوانی مناسبی با آب‌های با منشأ دگرگونی و تا حدی ماگمایی دارد (شکل ۱۱ ب) که با نتایج حاصل از میانبارهای سیال مطابقت دارد. تجزیه ایزوتوپ کربن دو نمونه کلسیت از کانسار گلالی نیز مقدار  $\delta^{13}\text{C}$  برابر  $1/4$  - تا  $3$  - را نشان داد که قابل مقایسه با آهک‌های دگرگون شده است (Ohmoto, 1972).

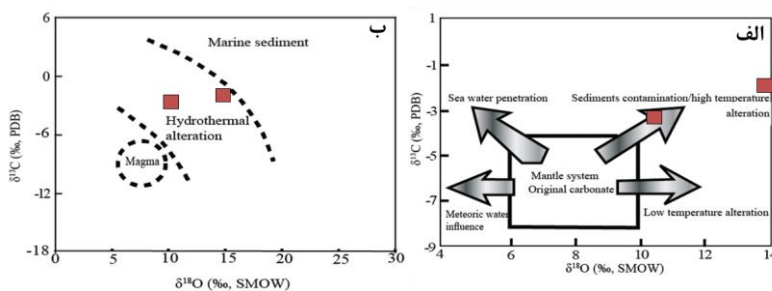
همراه با تجزیه ایزوتوپ پایدار اکسیژن، نمونه‌های کوارتز کانسار باباعلی و نمونه‌های کلسیت و فلوگوپیت کانسار گلالی برای نسبت ایزوتوپی هیدروژن نیز تجزیه شدند. در مجموع داده‌های  $\delta\text{D}$  مقادیر  $10$  - تا  $53$  - را نشان می‌دهد. نسبت‌های  $\delta\text{D}$  در نمونه‌های کوارتز کانسار باباعلی، در محدوده  $10$  - تا  $35$  - هستند. نسبت‌های  $\delta\text{D}$  در نمونه‌های کلسیت کانسار گلالی  $17$  - تا  $23$  - و فلوگوپیت  $53$  - را نشان



شکل ۱۱ الف: نمودار فراوانی ایزوتوپ  $\delta^{18}\text{O}$  نمونه‌های کوارتز، مگنتیت، کلسیت و فلوگوپیت در کانسارهای باباعلی و گلالی، ب: نمودار مقایسه دامنه تغییرات ایزوتوپ‌های اکسیژن و هیدروژن برای آب‌های ماگمایی، دگرگونی، گرمایی، اقیانوسی و سطحی و موقعیت نمونه‌های کانسارهای آهن باباعلی و گلالی.

مانند آلودگی به وسیله رسوبات و یا دگرسانی دما بالا هستند (Sun et al, 2001). بر پایه مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن کلسیت‌های کانسار آهن گلالی می‌توان نتیجه گرفت که این کلسیت‌ها در نتیجه دگرسانی گرمایی تشکیل شده‌اند (شکل ۱۲ ب).

شکل ۱۲ الف نشان دهنده مقادیر ایزوتوپی کربن و اکسیژن کربنات‌های با منشأ ماگمایی و همچنین فرآیندهای تأثیر گذار بر  $\text{CO}_2$  و یون‌های کربنات در کانسار آهن گلالی است. مقادیر ایزوتوپی  $\delta^{13}\text{C}$  و  $\delta^{18}\text{O}$  در کلسیت‌های کانسار آهن گلالی گویای تأثیرپذیری از شرایطی

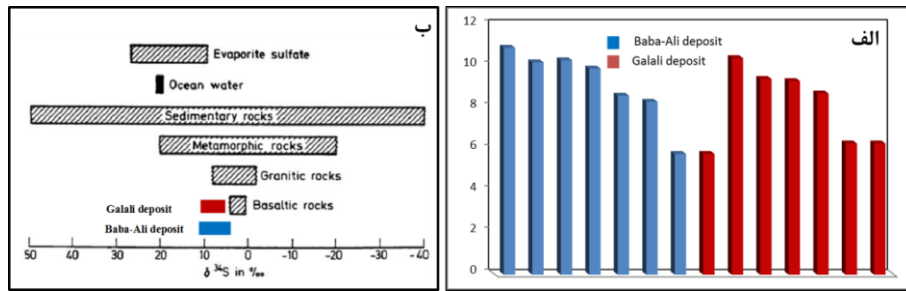


شکل ۱۲ الف: نمودار  $\delta^{13}\text{C}$  در برابر  $\delta^{18}\text{O}$  کانی کلسیت در کانسار آهن گلالی (Sun et al, 2001)، ب: موقعیت مقادیر  $\delta^{13}\text{C}$  در برابر  $\delta^{18}\text{O}$  کانی کلسیت در کانسار آهن گلالی (Zang et al, 2004).

ماگمایی را نشان می‌دهد. (۲) نسل دوم شامل پیریت‌های با بافت نواری شکل همراه با مگنتیت است. شواهد به دست آمده از نتایج مطالعات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی و بافت کانسنگ آهن نشان‌دهنده این مطلب است که این نسل از پیریت‌ها در حین دگرگونی ناحیه‌ای منطقه همراه با مگنتیت‌های دچار دگرشکلی شده و نیز فولیاسیون در آن‌ها گسترش پیدا نموده است. مقادیر ایزوتوپ گوگرد اندازه‌گیری شده در ۴ نمونه از این نسل در مقایسه با نسل اول بالاتر است ( $\delta^{34}\text{S} = 10.2-10.9$  (CDT)).

(۳) نسل سوم پیریت‌های مورد بررسی دارای بافت‌های کاملاً درشت‌بلور و رگچه‌ای است. این نسل از کانی‌سازی پیریت در فازهای انتهایی کانی‌سازی منطقه شکل گرفته و ناشی از سیالات گرمایی تاخیری است. مقادیر ایزوتوپ گوگرد در تعداد ۶ نمونه مختلف از این نسل پیریت برابر با (CDT) =  $8.3-9.9$   $\delta^{34}\text{S}$  به دست آمده است (شکل ۱۳ الف). مقادیر متوسط  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه‌های متعلق به پیریت‌های اولیه بالاتر از مقادیر آن در نسل‌های دیگر کانی‌سازی است. محتوای ایزوتوپ گوگرد پیریت‌های دارای بافت باندی و نواری شکل که طی دگرگونی دیناموترمال منطقه دچار فولیاسیون شده‌اند، از میانگین پیریت‌های رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی که در نسل‌های بعدی کانی‌سازی شکل گرفته‌اند، بالاتر است. این ویژگی ایزوتوپ پایدار گوگرد می‌تواند به-عنوان شاهدهی بر شکل‌گیری نسل‌های اولیه کانی‌سازی با منشا آتشفشانی - رسوبی تلقی شود. با توجه به شکل ۱۳ ب نمونه‌های مورد بررسی در محدوده سنگ‌های دگرگونی واقع شده‌اند. رخداد فرآیند دگرگونی ناحیه‌ای باعث همگن‌شدن و یکنواختی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار عناصر مختلف شده است. در این راستا نزدیکی مقادیر به دست آمده از نمونه‌های پیریت‌های اولیه و نیز مقایسه با نسل‌های دیگر خود شاهدهی بر عملکرد رخداد دگرگونی ناحیه‌ای بر بخش‌هایی قابل توجهی از کانسنگ آهن با توجه به نوسانات نسبتاً پایین ترکیب ایزوتوپی گوگرد در کلیه نمونه‌های پیریت مورد مطالعه، می‌توان اظهار داشت که رخداد دگرگونی دیناموترمال در منطقه بر روی سنگ دربرگیرنده و ماده معدنی نقش قابل توجهی در همگن‌شدن نسبی ترکیب ایزوتوپی گوگرد در نمونه‌های تجزیه شده ایفا نموده است.

ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد: مهم‌ترین منابع گوگرد در کانسارها شامل منابع ژرفایی، سنگ‌های قاره‌ای محلی، آب دریا یا تبخیری‌های دریایی هستند (Sharp, 2017). همچنین ۳ منبع مجزا از دید ایزوتوپی برای گوگرد وجود دارد که عبارتند از (۱) گوگرد مشتق شده از گوشته با مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  حدود صفر پرمیل، (۲) گوگرد آب دریا با مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  ۲۰ پرمیل، (۳) گوگرد رسوبی خیلی احیا شده با مقادیر گسترده خیلی منفی از  $\delta^{34}\text{S}$  (Hoefs, 2009). تغییر در ترکیب ایزوتوپی گوگرد ناشی از دو فرآیند است: (۱) احیا یون‌های سولفات به سولفید هیدروژن توسط باکتری‌های بی‌هوازی که این امر موجب غنی شدن سولفید هیدروژن از  $\delta^{34}\text{S}$  می‌شود (احیا باکتریایی سولفات)، (۲) واکنش‌های تبادل ایزوتوپی مختلف میان یون‌ها، مولکول‌ها و جامدات گوگردار که توسط آن‌ها  $\delta^{34}\text{S}$  در ترکیبات دارای بالاترین حالت اکسایش گوگرد یا بیشترین نیروی پیوندی متمرکز می‌شود (احیا ترموشیمیایی سولفات) (Hoefs, 2009). دو عامل مهم که باید در بررسی تغییرات دامنه مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در نظر گرفته شوند؛ یکی تأثیر مقادیر ایزوتوپی گوگرد منبع و دیگری تأثیر فرآیندهای ایجاد کننده تفکیک ایزوتوپی هستند. مقادیر ایزوتوپ گوگرد تابع ترکیب ایزوتوپی سیال منشاء می‌باشد که در نتیجه گذر زمان و تغییرات شرایط فیزیکوشیمیایی محیط (دما، pH و فوگاسیته اکسیژن) دستخوش تغییر می‌گردد (Latifi Saei et al, 2015). با توجه به اینکه کانی پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی به عنوان پارائز اصلی همراه با کانی‌سازی مگنتیت و در نسل‌های مختلف آن شرکت نموده است، لذا در این مطالعه سعی شده است تا مقادیر ایزوتوپ پایدار گوگرد در نسل‌های مختلف پیریت که به وضوح قابل تفکیک است، مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. در این راستا تعداد ۱۴ نمونه از نسل‌های مختلف پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی جهت مطالعات ایزوتوپ‌های پایدار مورد تجزیه قرار گرفته است (جدول ۲): (۱) نسل اول پیریت‌های همراه با سنگ‌های آتشفشانی فلسیک (توف‌های ریولیتی) است که به صورت بافت‌های دانه‌پراکنده و برشی شده همراه با آتشفشانی‌ها دیده می‌شود. مقادیر ایزوتوپ گوگرد در ۴ نمونه اندازه‌گیری شده از کانی‌های پیریت در کمترین مقدار است ( $\delta^{34}\text{S} = 5.8-6.3$  (CDT)) و شباهت و نزدیکی قابل توجهی به ترکیب پیریت‌های



شکل ۱۳: الف: نمودار فراوانی  $\delta^{34}\text{S}$  نمونه‌های پیریت در کانسارهای باباعلی و گلالی، ب: مقایسه محدوده ایزوتوپی گوگرد در کانی‌های سولفیدی کانسارهای آهن باباعلی و گلالی با محیط‌های سنگی مختلف (Hoefs, 2008).

### نتیجه‌گیری

تجزیه ایزوتوپ کربن ( $\delta^{13}\text{C}$ ) در کانسار گلالی مقدار ۳- تا ۱/۴- را نشان داد که قابل مقایسه با آهک‌های دگرگون شده است. مقدار متوسط ایزوتوپ پایدار گوگرد ( $\delta^{34}\text{S}$ ) در نمونه‌های متعلق به پیریت‌های اولیه بالاتر از مقادیر آن در نسل‌های دیگر کانی‌سازی است. این ویژگی ایزوتوپ پایدار گوگرد می‌تواند به عنوان شاهدهی بر شکل‌گیری نسل‌های اولیه کانی‌سازی آهن با منشأ آتشفشانی - رسوبی تلقی شود. مشاهدات صحرایی، ساخت و بافت، سنگ‌میزبان، هم‌بافت، زمین‌شیمی، دگرسانی‌ها، مطالعات میانبارهای سیال و ایزوتوپ‌های پایدار در کانسارهای باباعلی و گلالی، نشان می‌دهد که این کانسارها از نوع کانسارهای آهن تیپ آتشفشانی - رسوبی دگرگون و دگرشکل شده هستند. بررسی‌های انجام شده طی سال‌های گذشته در شمال باختر پهنه سنندج - سیرجان به شناسایی کانه‌زایی‌ها و بی‌هنجاری بسیاری از کانسارهای آهن با منشأ آتشفشانی - رسوبی منجر شده است. از آنجایی که اغلب این کانه‌زایی‌ها در واحدهای آتشفشانی - رسوبی دگرگون شده قرار دارند، این مجموعه‌های سنگی از نظر اکتشاف آهن دارای اهمیت بالایی هستند. بررسی این واحدهای سنگی در منطقه و تعمیم شواهد به دست آمده از آن‌ها به مناطق مشابه در زون سنندج - سیرجان، می‌تواند به شناسایی این نوع از کانسارهای آهن منجر شود.

ترکیب سنگ‌شناسی سنگ‌های دربرگیرنده کانسارهای گلالی و باباعلی شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حدواسط دگرگون شده، بیشتر به صورت گدازه و توف ریولیتی، همراه با میان‌لایه‌های کربناتی و گاه ماسه‌سنگ توفی دگرگون شده است. جایگیری توده‌های نفوذی و نیمه‌عمیق با ترکیب گابرو - دیوریت، کوارتز مونوزودیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی سنگی در حین فعالیت‌های زمین‌ساختی، باعث دگرشکلی و دگرگونی سنگ‌های منطقه و کانسنگ آهن باباعلی و گلالی شده است. مطالعه میانبارهای سیال بر روی کانی کوارتز شوری  $9 \pm 5$  و  $12 \pm 5$  درصد معادل وزنی NaCl را به ترتیب برای کانسارهای آهن گلالی و باباعلی نشان می‌دهد. میانگین دمای همگن شدن برای سیالات کانه‌ساز تأخیری در کانسار آهن گلالی  $220 \pm 5$  و برای کانسار آهن باباعلی  $226 \pm 5$  درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شده است که با منشأ سیالات کانه‌ساز با آب‌های دگرگونی مطابقت دارد. رخداد فرآیند دگرگونی ناحیه‌ای در این کانسارها باعث همگن شدن و یکنواختی ترکیب ایزوتوپ‌های پایدار اکسیژن و هیدروژن شده است و نشان از نقش آب‌های دگرگونی در فرآیند کانی‌سازی منطقه دارد که با نتایج حاصل از مطالعه میانبارهای سیال مطابقت دارد. همچنین

### پانویس

1-Queen's University  
2-Carousel  
3-Vario EL III elemental

4-Ratio Mass Spectrometer  
5-Thermo Finnigan Deltaplus  
6-ZIESS

### منابع (References)

-Afzali, S., Nezafati, N. and Ghaderi, M., 2016. Fluid inclusion and stable isotope study of the

Gazestan magnetite-apatite deposit, Central Iran: Journal of Geosciences, v. 26, p. 35-44.

- Aliani, f., Dadfar, S. and Maanijou, M., 2015. Detection of alteration zones of haji Abad iron deposit with (SWIR+ VNIR) data of aster sensor: *Journal of Geosciences*, v. 24, p. 73-80.
- Amiri, M., Khalaji, A.A., Tahmasbi, Z., Santos, J.F., Sahamieh, R.Z. and Zamanian, H., 2017a. Geochemistry, petrogenesis, and tectonic setting of the Almogholagh batholith in the Sanandaj- Sirjan zone, western Iran: *Journal of African Earth Sciences*: v. 134, p. 113-133.
- Amiri, M., Khalaji, A., Tahmasbi, Z., Sahamieh, R. and Zamanian, H., 2017b. Geothermo-barometry of Quartz Crystals in the Intrusive bodies of Almogholagh Batholith, (Hamedan). *International Journal of Academic Research*, v. 3, p. 11-21.
- Barati, M., 2012. Mineralogical, geochemistry and sulphur isotopes studies in Galali orebody, western Iran. *Iranian Journal crystallography and mineralogy*, v. 20, p. 215-228.
- Calagari, A.A., 2004. Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran: *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 23. p. 179-189.
- Ebrahimi, M., Kouhestani, H. and Shahidi, E., 2015. Investigation on type and origin of iron mineralization at Mesgar occurrence, south of Zanjan, using petrological, mineralogical and geochemical data, *Journal of Economic Geology*, v. 7, p. 111-127.
- Eshraqi, P., 1380. Geological map 1:100000. Sangar, Publications of the Organization of Geology and Mineral Exploration of Iran (in Persian).
- Ghorbani, M., 2007. Economic geology, mineral deposits and natural resources of Iran, Arian Zamin, Tehran, 492 p.
- Hajimirzajan, H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Homam, S.M. and Hidarian Shahri, M., 2017. Modeling of magnetite- specularite mineralization in Dehzaman iron deposit, Khorasan Razavi province: mineralogy, texture and structure, and alteration, *Iranian Journal crystallography and mineralogy*, v. 25, p. 543-556.
- Hoefs, J., 2008. Stable isotope geochemistry: Springer Science & Business Media, Springer-Cham, 453 p.
- Hosseini, B. and Ahmadi, A., 2016. Geochemistry and U-Pb dating of north saman granitoid rocks: *Journal of Geoscience*, v. 25, p. 109-120.
- Jani Khani, A., 2014. Mineralogical and geochemical study of Galali iron deposit. Master thesis, Bu-Ali Sina University, 180 p (in Persian).
- John, D., Ayuso, R., Barton, M., Blakely, R., Bodnar, R., Dilles, J., Gray, F., Graybeal, F., Mars, J. and McPhee, D., 2010. Porphyry copper deposit model, chap. B of *Mineral deposit models for resource assessment: Central Mineral and Environmental Resources Science Center, U.S. Geological Survey*, 169 p.
- Kaulina, T., Avedisyan, A., Tomilenko, A., Ryabukha, M. and Ichenko, V., 2017. Fluid inclusions in quartz from uranium mineralization areas of the Litsa ore cluster (Kola Peninsula): *Journal of Russian Geology and Geophysics*, v. 58, p. 1059-1069.
- Kesler, S.E., 2005. Ore-forming fluids: *Journal of Elements*, v. 1, p. 13-18.
- Lai, J., Ju, P., Tao, J., Yang, B. and Wang, X., 2015. Characteristics of Fluid Inclusions and Metallogenesis of Annage Gold Deposit in Qinghai Province, China, *Open Journal of Geology*, v. 5, p. 794-780.
- Latifi Saei, F., Mirnejad, H., Alipur asl, M. and Niromand, S., 2015. Investigation of gold mineralization in Darezar veins system in the region of Pariz (Kerman province), on the basis of studies on fluid inclusions and sulfur isotopes: *Journal of Advanced Applied Geology*, v. 4, p. 65-75.
- Maanijou, M. and Salemi, R., 2015. Mineralogy, chemistry of magnetite and genesis of Korkora-1 iron deposit, east of Takab, NW Iran, *Journal of Economic Geology*, v. 6, p. 355-374.
- Mohajjel, M. and Izadi Kian, L., 2007. Poly-deformed tectonites in dome structure of the Almogholagh region, West of Hamedan: *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, v. 66, p. 116-133.
- Mukherjee, R. and Venkatesh, A., 2017. Chemistry of magnetite-apatite from albitite and carbonate-hosted Bhukia Gold Deposit, Rajasthan, western India—An IOCG-IOA analogue from Paleoproterozoic Aravalli Supergroup: Evidence from petrographic, LA-ICP-MS and EPMA studies: *Journal of Ore Geology Reviews*, v. 91, p. 509-529.
- Nabatian, G., Rastad, E., Neubauer, F., Honarmand, M. and Ghaderi, M., 2015. Iron and Fe–Mn mineralisation in Iran: implications for Tethyan metallogeny, *Journal of Australian Journal of Earth Sciences*, v. 62, p. 211-241.
- Ni, P., Zhang, Y. and Guan, Y., 2017. Volatile loss during homogenization of lunar melt



- inclusions: *Journal of Earth and Planetary Science Letters*, v. 478, p. 214-224.
- Ohmoto, H., 1972. Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits: *Economic Geology*, v. 67, p. 551-578.
- Pirajno, F., 2009. Hydrothermal processes associated with meteorite impacts, *Hydrothermal processes and mineral systems*, Springer, Dordrecht, 1097 p.
- Poshtkohi, M., 2009. Poly Phase Metamorphism of Pelitic Rocks of Hamedan Area, West Iran Based On Petrography Evidences, *Journal of Acta Geoscientica Sinica*, v. 30, p. 50-60.
- Rostami Paydar, G., Lotfi, M., Ghaderi, M. and Amiri, A., 2010. Vossoughi-Abedini, M. New Results on Mineralography and Crystal Chemistry of Magnetite and Pyrite at Baba-Ali & Galali Iron Deposits, West of Hamedan, Iran: *Journal of Geosciences*, v. 20, p. 121-130.
- Samadi, S., Rasa, I. and Maanijou, M., 2015. Application of microscopic electron data in determining the type of Khosrow Abad iron deposit, Sangar, *Journal of Earth Science Researches*, v. 5, p. 63-74.
- Shahbazi, H., Siebel, W., Ghorbani, M., Pourmoafee, M., Sepahi, A., Vossoughi Abedini, M. and Shang, C., 2015. The Almoghlagh pluton, Sanandaj-Sirjan zone, Iran: geochemistry, U-(Th)-Pb titanite geochronology and implications for its tectonic evolution: *Journal of Mineralogy and Geochemistry*, v. 192, p. 85-99.
- Sharp, Z., 2017. Principles of stable isotope geochemistry: geochemistry, 6th edition: Springer-Verlag, Berlin, 293 p.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. and Alderton, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, Glasgow, 239 p.
- Sun, J., Hu, S., Shen, K. and Yao, F., 2001. Research on C, O isotopic geochemistry of intermediate-basic and intermediate-acid dykes in gold fields of Jiaodong Peninsula, *Journal of Acta Petrologica et Mineralogica*, v. 20, p. 47-56.
- Wilkinson, J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Journal of Lithos*, v. 55, p. 229-272.
- Zamanian, H. and Asadollahi, B., 2013. Geochemistry and ore potential of the Almoghlagh batholith, western Iran: *Journal of Geologos*, v. 19, p. 229-242.
- Zamanian, H. and Radmard, K., 2016. Geochemistry of rare earth elements in the Baba Ali magnetite skarn deposit, western Iran—a key to determine conditions of mineralisation: *Journal of Geologos* v. 22, p. 33-47.
- Zamaniyan, H., Dolatshahi, S. and Zareie Sahamieh, R., 2013. Economic geology of Chenar Olia iron skarn deposit based on investigation of fluid inclusion, northwest of Hamedan. *Advanced Applied Geology*, v. 5, p. 9-19 (in Persian).
- Zang, W.S., Wu, G.G., Zhang, D. and Liu, A.H., 2004. Xinqiao iron-deposit field in Tongling, Anhui: geologic and geochemical characteristics and genesis: *Journal of Geotectonica Et Metallogenia*, v. 28, p. 187-193.