

Genesis of the Choghart iron ore deposit, Central Iran: Implication on geochemistry of fluid inclusions

Sina Asadi¹, Mahya Manouchehry Nya^{2*}, Ali Akbar Hassannezhad

1- Department of Geology, Shiraz University, Shiraz, Iran

2- Department of Geology, Damghan University, Damghan, Iran

Keywords: Apatite-bearing iron, Microthermometry, Fluid inclusion, Choghart

1- Introduction

The last decade has seen major progress in our understanding of the origin of iron ore deposits worldwide. The majority of interpretations focused on the igneous iron oxide deposit either having formed by magmatic liquid immiscibility or by hydrothermal alteration and replacement. The hydrothermal iron deposits are generally found at many locations around the Pacific basin, Central America, Australia, and Japan (Asadi and Rajabzadeh, 2014). Fluid inclusions (FIs) are small part of ore bearing fluid in crystals that are trapped in crystal growth zones or inside any deficiencies which has been created during crystal growth. Nowadays, one of the most important methods for acquiring physiochemical characteristics of thermal ore fluids is employing different analysis and purposive measurements of FIs that are trapped in ores with the basis of ore bearing fluids (Barnes, 1997). Investigating fluid geochemistry and accurate composition of different ores such as apatite in the Choghart iron ore deposit is very important for gaining appropriate understanding about primary conditions of ore formation and regional geological events. On the basis of specific characteristics of apatite in determination of ore bearing processes and ore formation conditions in the Choghart is required. The goal of this study is investigating nature of ore forming fluid and chemical composition of apatite in order to study temperature, pressure, and magma subtraction degree in the Choghart deposit. Bafgh - Posht Badam district, in the center of Iran which is the home of Choghart iron ore deposit is located in a northward-southward zone in the eastern margin of central Iran zone and west of Lut block. This district extended with an area of 2500 km and more than 41 iron deposits and including about 2 billion tons of iron ore. From the tectonic point of view this area is a part of Lut block (small continental East Central Iran) and is consisted of Precambrian continental basement that is covered by the sectors related to Infra Cambrian to Triassic (Forster and Jafarzadeh, 1994). The evaluation of the area is a consequence of relocation of large growth Gondwanaland and development of Lut block in the active phase of Pan-African have been highly 600 million years ago (Samani, 1988). The Choghart iron ore host rocks are consist of a collection of intermediate to acidic igneous rocks ones and mafic dykes which in some areas are highly heterologous and are known as metasomatisms (Forster and Jafarzadeh, 1994).

2- Results and discussions

In order to achieve a better understanding of hydrothermal fluid in the Chogharat, and it's relation to hydrothermal and magmatic phenomena, the study of FIs on apatite mineral is done. In paragenetic sequence apatite is seen in granular, veins and veinlet forms in the magnetite ore. According to the microscopic studies fluid inclusions in the Choghart's appetites are divided into 5 groups as follow: I- three-phase solid-liquid-gas (L+V+S), II- two-phase Liquid - gas (liquid rich) L+V, III- two-phase gas -

* Corresponding author: mahia.manouchehri@gmail.com

DOI: 10.22055/aag.2019.28137.1918

Received 2019-01-05

Accepted 2019-04-26

liquid (gas rich) V+L, IV- single-phase liquid (L), and V-single-phase gas (V). The FIs of I, and II-stages are mainly homogenized at temperatures of 310–450 °C, and 150–350 °C, with salinities of 19–35, and 1–10 wt.% NaCl equivalent, respectively.

Based on microthermometric data, eutectic temperatures of aqueous inclusions range from –0.9 to –57.3 °C, indicating the presence of Na⁺, K⁺, Fe²⁺, Ca²⁺, and Mg²⁺ cations in the FIs from I to II-stages of mineralization. These compositional systematics are typical of major ore fluid in many iron ore deposits worldwide (Hitzman, 2000). The source of the fluids (magmatic or mixing origin) could not be unequivocally determined from the available data; nevertheless, the distribution of FIs in (*T_h*)-salinity diagram, with lines of constant fluid density imply cooling and increasing of pH, boiling, and fluid mixing, may play an important role in the iron ore deposition in the area. Cooling and increasing of pH are the main factors affecting precipitation of layered magnetite minerals. However, other processes such as fluid mixing and boiling also seem to be effective on such a precipitation. The precipitation of layered magnetite ores and actinolite was occurred by cooling and an increasing of pH. This accompaniment to cooling would result in production of a relatively high-density liquid phase (0.7 to 1.0 g/cm³).

3- Conclusions

Field observations and fluid inclusions microthermometry in apatite indicates the ore forming fluids in the Choghart are magmatic- hydrothermal mixed with brines. The temperatures during the both stages of mineralization (I-II stages) were between 150 and 450 °C. Increasing in pH is due to reaction of ore fluids with igneous host rocks and effervescence can be effective mechanisms of iron ore precipitation. In addition, mixing with cooler meteoric fluids had the effect of decreasing the salinity (1–10 wt.% NaCl equivalent) and temperature (150–350°C) of the equilibrated magmatic fluid, making it more buoyant and capable of moving out from the apophyses into the host rocks. This lead to metasomatic reactions and precipitating high-grade magnetite ores from magmatic-hydrothermal fluids. Finally, FIs and geochemistry of apatite minerals indicate that genesis of the mine is similar to iron-oxide copper gold (IOCG) deposits.

References

- Asadi, S., Rajabzadeh, M.A. 2014. Geochemistry, paragenesis, and wall-rock alteration of the Qatrueh iron deposits, southwest of Iran: Implications for a hydrothermal-metasomatic genetic model. *Journal of Geological Research* 2014, 1-24.
- Barnes, H. L., 1997. *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, John. Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Forster, H., Jafarzadeh, A., 1994. The Bafq mining district in central Iran; a highly mineralized Infracambrian volcanic field. *Economic Geology* 89, 1697–1721.
- Hitzman, M.W., 2000. Iron oxide–Cu–Au deposits: what, where, when and why. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective 2*, Adelaide, Australian Mineral Foundation 9–25.
- Samani, B.A., 1988. Metallogeny of the Precambrian in Iran. *Precambrian Research* 39, 85-106.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Asadi, S., Manouchehry Nya, M., Hassannezhad, A.A., 2020. Genesis of the Choghart iron ore deposit, Central Iran: Implication on geochemistry of fluid inclusions. *Adv. Appl. Geol.* 9(4), 454-465.

DOI: 10.22055/AAG.2019.28137.1918

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15067.html?lang=en

خاستگاه کانسار آهن چغارت، ایران مرکزی: کاربردی از زمین‌شیمی میانبارهای سیال

سینا اسدی

دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

محیا منوچهری نیا*

دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

علی اکبر حسن نژاد

دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۵

*mahia.manouchehri@gmail.com

چکیده

کانسار آهن چغارت در زون ایران مرکزی و ۱۲ کیلومتری شمال شرق بافق، ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرق شهرستان یزد واقع شده است. سنگ میزبان غالب در این منطقه شامل مجموعه‌ای از نفوذی‌های آذرین حد واسط تا اسیدی و دایک‌های مافیک است که در برخی از بخش‌ها به شدت دگرسان شده‌اند و به متاسوماتیت معروف‌اند. این سنگ‌های آذرین در برخی نقاط تا حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند. مگنتیت فراوانترین کانسنگ اکسیدی منطقه است که به شکل‌های لایه‌ای، توده‌ای و افشان در سنگ میزبان کانسار چغارت حضور دارد. کانه‌زایی اصلی کانسار در سازندهای پرکامبرین پسین و به شکل پر عیار (مگنتیت + آپاتیت + آمفیبول) رخ داده است. داده‌های حاصل از مطالعه میانبارهای سیال در آپاتیت همزاد با مگنتیت نشان می‌دهد که توده آهن چغارت در محدوده‌ی دمایی ۳۷۰ تا ۳۸۵ درجه‌ی سانتی گراد تشکیل شده است. بیشترین نرخ شوری بین ۲۰ تا ۳۹ درصد وزنی معادل نمک طعام تشخیص داده شد. شواهد صحرایی و ریزدماسنجی میانبارهای سیال در کنای آپاتیت کانسار چغارت نشان می‌دهد که سیال کانسنگ ساز بسیار شبیه به ذخایر ماگمایی- گرمابی طلا-مس-اکسید آهن (IOCG) است.

کلمات کلیدی: آهن آپاتیت‌دار، ریزدماسنجی، میانبار سیال، چغارت

۱- مقدمه

کانسار آهن چغارت در زون ایران مرکزی و در ۱۲ کیلومتری شمال شرق بافق واقع شده است. محدوده‌ی بافق - پشت بادام یک پهنه فلززایی بسیار مهم در ایران است چرا که میزبان ذخایر ارزشمندی مانند آهن (چغارت، چادرملو، سه چاهون، لکه سیاه، فسفات (اسفوردی، زیرگان و گزستان)، سرب و روی (کوشک، چاه میر و زیرگان)، اورانیم (ساغند) و عناصر خاکی کمیاب (ذخایر فسفات و آهن - فسفات) است (Rahimi, 2015; Darvishzadeh, 1983; Ebrahimi and Mokhtari, 2015; Haghipour, 1974). ذخایر آهن اکسید آپاتیت‌دار فراوان‌ترین مواد معدنی در محدوده ایران مرکزی به شمار می‌آیند. تا کنون بیشترین گزارش‌ها از این ذخایر در سازند ساغند، سری ریزو و هم ارزهای آن معرفی شده است (Samani, 1988). ذخایر اکسید آهن آپاتیت‌دار از نوع گرمابی دیرزاد بوده و سنگ بستر آنها بیشتر از نوع آتشفشانی، رسوبی و دگرگونی می‌باشد (Hitzman, 2000; Sillitoe, 2003; Rasty and Rajabzadeh, 2017).

کانسارهای مس-طلا همراه با اکسید آهن یا Iron-Oxide (IOCG) یا Copper Gold در ذخایر سولفیدی همراه با مگنتیت کم تیتانیم یا اسپیکولاریت هستند که منشأ گرمایی دارند و انواع کانه‌زایی برشی، رگه و رگچه‌ای، افشان و توده‌ای در آنها دیده می‌شود. این کانسارها معمولاً

چندفلزی (مس، طلا، نقره، اورانیم، عناصر کمیاب خاکی، بیسموت، کبالت، نیوبیم و فسفر) بوده و در ارتباط با گرانیتوئیدهای سری آذرین (I) و ناکوهزایی (A) و یا استوک‌های آلكالین-کربناتیت بوده که اغلب کنترل ساختاری دارند. ارتباط آنها با توده‌های نفوذی مانند ذخایر پورفیری، واضح و مشخص نیست (Hitzman, 2000). سنگ میزبان این کانسارها متنوع و از سنگهای رسوبی از قبل موجود در منطقه تا سنگهای آتشفشانی-درونی مافیک تا فلسیک و حتی سنگهای دگرگونی مانند شیست‌ها و گنیس‌ها متغیر است. کانسارهای IOCG معمولاً بیش از ۲۰ درصد اکسید آهن دارند. زون‌های دگرسانی در این کانسارها بیشتر سدیک، پتاسیک، کلریت، سریسیت و کربنات است (Guilbert and Park, 1997; Corriveau, 2007). این کانسارها در حوضه‌های کششی پشت کمر بند زون فروورانش، ریفتهای درون قاره‌ای، نقاط داغ داخل قاره‌ای و حوضه‌های کششی بعد از تصادم قاره‌ای و یا حواشی فعال قاره‌ای نیز تشکیل می‌شوند (Hitzman, 2000). شناسایی این کانسارها اولین بار با کشف ذخیره بزرگ المپیک دم استرالیا آغاز شد (Roberts and Hudson, 1983). این تیپ از ذخایر نخستین بار در ایران توسط Karimpour و Mazloomi (۱۹۹۷) معرفی و مورد توجه قرار گرفتند. بر پایه تلفیق رده‌بندی‌های مختلف بسیاری از پژوهشگران (Hitzman et al., 1992; Hitzman, 2000; Barton)

شهرستان یزد و در بلوک بافق- پشت بادام قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است، که در دوران پرکامبرین و پالئوزوئیک بخشی از بزرگ قاره گندوانا بوده است (Stocklin, 1974; Berberian and King, 1981). زون ساختاری ایران مرکزی، شامل کمربند فلزی بسیار مهم انارک- بافق- کرمان، بخش‌هایی از کمربند آتشفشانی سهند - بزمان و زون دگرگونی- ساختاری سهندج - سیرجان است (Samani, 1988; Alavi, 1994). بلوک بافق- پشت بادام تحت تاثیر رخداد کوهزایی پان آفریکن شکل گرفته است. در اثر این کوهزایی، پی- سنگهای با سن پرکامبرین توسط گسل‌های بزرگ شکسته شده و حوضه‌های گرابنی و ریفتی بزرگی را ایجاد کرده است. پی‌آمد این رخداد گسترش وسیع سنگهای آتشفشانی و تشکیل انواع نفوذی‌ها است (Paknejad, 1991). کانسار مورد مطالعه در یک زون کافتی با امتداد شمال- جنوب در حاشیه شرقی زون ساختاری ایران مرکزی و در غرب بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱). وسعت این منطقه در حدود ۲۵۰۰۰ کیلومتر مربع است و بیش از ۴۱ ذخیره آهن با تناژی در حدود ۲ میلیارد تن کانسنگ را در بر دارد. از نظر زمین ساختی این منطقه بخشی از بلوک لوت (کوچک قاره شرق ایران مرکزی) و مرکب از پی سنگ قاره ای پرکامبرین است که توسط بخش‌های مربوط به اینفرآ کامبرین تا تریاس پوشیده می شود. تکامل منطقه مرتبط با جابجایی و رشد بزرگ قاره گندوانا و توسعه کوهزایی بلوک لوت طی فاز کوهزایی پان آفریکن در ۶۰۰ میلیون سال پیش به شدت دگرگون شده است (Samani, 1988). همچنین نشانه‌هایی از فعالیت‌های ماگمایی مرتبط با گوشته بالایی در منطقه اثبات شده است (Samani, 1988). سنگ‌های میزبان کانسار آهن چغارت شامل مجموعه ای از سنگهای آذرین حد واسط تا اسیدی و دایکهای مافیک است که در برخی از بخش‌ها به شدت دگرسان شده اند و متاسوماتیت معروف اند (Forster and Jafarzadeh, 1994). سنگهای رسوبی، رگه‌ها و دایک‌های آپاتیتی همچنین سنگ‌های دگرگون شده نیز در منطقه مشاهده می شوند که درجه دگرگونی آنها در حد رخساره شیبست سبز است.

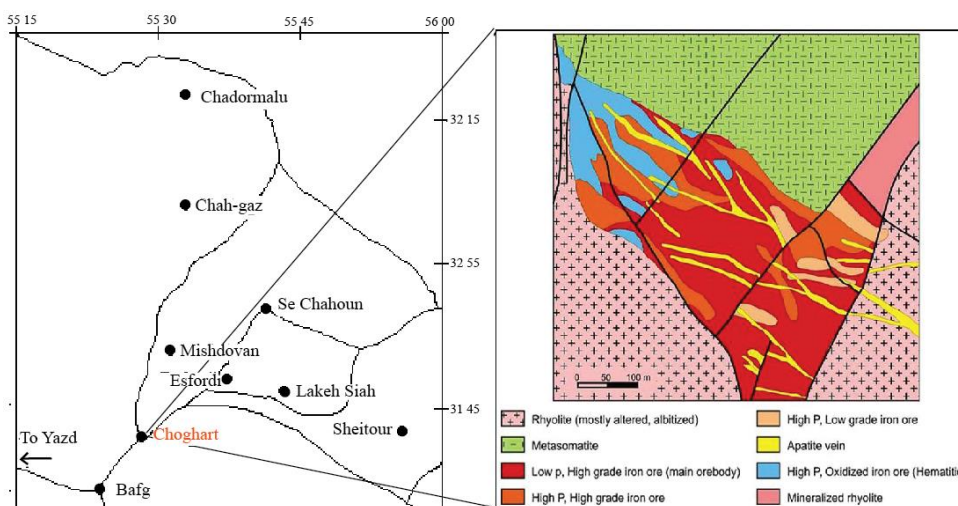
(Karimpour, 2005 and Johnson, 2004) کانسارهای نوع مس- طلای همراه با اکسید آهن (IOCG) به چهار گروه IOCG همراه با مگنتیت (مس- طلا - اورانیم- عناصر کمیاب خاکی) مثل المپیک دم، IOCG همراه با مگنتیت (مس- طلا) مانند کندلاریا، IOCG همراه با اسپیکولاریت (مس- طلا) مانند قلعه‌زری و IOCG همراه با اسپیکولاریت (طلا - مس) مثل کوه‌ز تقسیم می‌گردند.

در تشکیل این ذخایر فلزی، شواب‌ها نقش بسیار مهمی دارند و هر سامانه کانه‌زایی دارای شرایط ترمودینامیکی و فیزیکوشیمیایی متفاوتی است (Hitzman, 2000). از این رو مطالعه میانبارهای سیال به عنوان بازمانده- های دیرینه شواب‌ها در شناسایی و چگونگی تشکیل این نوع از ذخایر ارزش بالایی دارند. مطالعه میانبارهای سیال می‌تواند اطلاعات جامعی را در ارتباط با چگالی، فشار، دما، عمق، شوری، نوع کانه‌زایی، و مقدار مواد محلول در سیال را فراهم نماید (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985). رایج‌ترین روش برای محاسبه ترکیب شیمیایی و شوری میانبارهای سیال، آزمایش گرمایش-سرمایش است.

با توجه به مطالعاتی که بر روی کانسار آهن چغارت صورت گرفته، به طور کلی نظریات مختلفی در مورد منشأ این کانسار وجود دارد. بیشتر پژوهشها و برخی از مطالعات جدید بر پایه میانبارهای سیال تاییدکننده منشأ ماگمایی-جوی برای این کانسار است. از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی زمین شیمی سنگ- سیال و خاستگاه آهن توسط Moore و Modabberi (۲۰۰۳)، Torab و Lehmann (۲۰۰۶) و Eslamizadeh (۲۰۱۶) اشاره کرد که اختلاط دو سیال با گرایش برتر سیال ماگمایی-گرمایی و کانه‌زایی نوع کایرونا از زیر مجموعه ذخایر IOCG (Hitzman et al., 1992; Hitzman, 2000) اشاره کرد. بر این اساس هدف اصلی این مطالعه بازسازی ویژگی‌های PTVX تشکیل کانسنگ به منظور دستیابی به روند تکامل سیال گرمایی-ماگمایی و کانه‌زایی آهن در سنگ میزبان دگرگون و دگرسان شده چغارت می‌باشد.

۲- زمین‌شناسی منطقه

کانسار آهن آپاتیت‌دار چغارت در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شرق



شکل ۱- راه‌های دسترسی و نقشه زمین‌شناسی کانسار چغارت (Moore and Modabberi, 2003).

Fig. 1. Access roads and geological map of Choghart deposit.

۳- روش مطالعه

پس از بررسی‌های صحرایی و تفکیک واحدهای سنگی از مناطق کانه‌دار و همچنین از مغزه‌های حفاری نمونه برداری گردید و تعداد ۸ مقطع نازک و ۱۴ مقطع صیقلی به جهت مطالعات دقیق ویژگی‌های کانی‌شناختی و بافتی واحدهای سنگی میزبان، کانسنگ آهن و باطله تهیه شد. به جهت مطالعه میانبراهای سیال ۸ نمونه شفاف و بدون شکستگی کانی آپاتیت همزاد با مگنتیت جهت تهیه مقاطع دوبر صیقل انتخاب و به آزمایشگاه آذین زمین پویا تهران و آزمایشگاه دانشگاه تهران ارسال گردید. سپس توسط میکروسکوپ پلاریزان پتروگرافی میانبراهای سیال موجود در آپاتیت چفارت مورد بررسی قرار گرفت. ریزدماسنجی بر روی ۷۸ میانبار سیال اولیه و ثانویه کاذب در کانی آپاتیت کانسار آهن چفارت توسط دستگاه Linkam THMSG 600 در آزمایشگاه ریزدماسنجی زمین پویا تهران انجام گرفت. این دستگاه قادر به اندازه‌گیری دما در محدوده 196°C تا 600°C می‌باشد. بهنجارسازی دستگاه با استفاده از $\text{C}_4\text{H}_3\text{CH}_3$ در دمای 95°C درجه سانتیگراد و KNO_3 در دمای 335°C درجه سانتیگراد صورت گرفت.

۴- بحث

۴-۱- کانی‌شناسی، دگرسانی و پاراژنز

مطالعات صحرایی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که مگنتیت به عنوان فراوانترین کانی اکسیدی منطقه می‌باشد که با شکل‌های برشی (شکل a۲)، توده‌ای (شکل b۲) و دانه‌ای (شکل c۲) در سنگ میزبان کانسار چفارت حضور دارد. مهم‌ترین بافتی که در بیشتر نمونه‌ها مشاهده می‌شود بافت توده‌ای است که این بافت نشانگر فراوانی و غلظت مگنتیت است. مگنتیت در بعضی مناطق بر اثر اکسایش به کانی‌هایی مانند مارتیت، همتایت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند. برون‌رست تیغه‌های صورتی رنگ ایلمنیت از داخل مگنتیت‌ها نیز نشانگر غنی بودن مگنتیت چفارت از عنصر تیتانیم است (Ramdohr, 1980; Charlier et al., 2015). هر دو نوع بافت‌های ماگمایی و جانشینی در نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. اکتینولیت‌های دسته جارویی (شکل d۲) که یکی از ویژگی‌های مهم کانسنگ آهن چفارت می‌باشد بافت ماگمایی را نشان می‌دهد، همچنین مارتیتی شدن نوع خاصی از پدیده‌ی جانشینی است که در طی آن، مگنتیت در امتداد سطوح (۱۱۱) توسط همتایت جانشین می‌شود و یکی از پدیده‌های رایج در کانسنگ‌های مگنتیتی چفارت می‌باشد (شکل e۲).

اکتینولیت و تیتانیت فراوان‌ترین کانیهای سیلیکاتی در هم‌رشدی با مگنتیت مشاهده می‌شوند. آپاتیت فراوانترین کانی باطله در کانسار چفارت است. آپاتیت در توالی پاراژنتیکی و به صورت دانه‌ای، رگه‌ای و رگچه‌ای در کانسنگ مگنتیت دیده می‌شود. رشد تماسی و درهم‌رشدی متناوب آپاتیت و مگنتیت در مطالعات میکروسکوپی، آپاتیت دانه‌ای را از نوع اولیه معرفی می‌کند. کوارتز، اپیدوت و کلریت دیگر سیلیکات‌های فراوان همراه با مگنتیت

هستند. کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی به صورت بی شکل در متن مگنتیت زمینه دیده در مراحل نهایی تشکیل کانسنگ است. پیریت نیز در برخی از بخش‌های کانسار مشاهده می‌شوند که طی کانه‌زایی آهن شکل گرفته‌اند (شکل c۳ و d). بورنیت به ندرت در نمونه‌ها دیده شده است که به صورت ریز بلور، بی‌شکل و با رنگ صورتی تا بنفش دیده می‌شود. در بعضی از موارد کانی کالکوپیریت در حاشیه‌ها به کوولیت تبدیل شده است (شکل ۳ c).

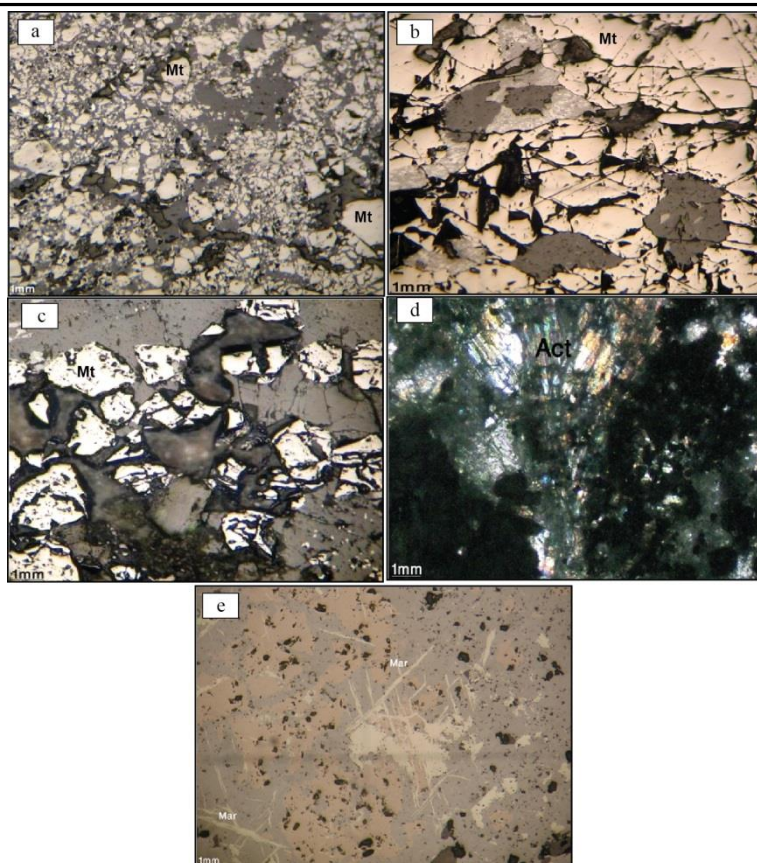
کانه‌زایی در کانسار آهن چفارت در دو تیپ کانسنگ اصلی صورت گرفته است: کانسنگ پر عیار (مگنتیت + آپاتیت + آمفیبول): بیشتر در قسمت‌های بالایی کانسار گسترش دارد (شکل a۳).

در این پژوهش بخش پرعیار کانسار چفارت مورد مطالعه قرار گرفته است. کانسنگ کم عیار (مگنتیت + آپاتیت + فلدسپات آلکالی $\pm$ پلاژیوکلاز): قسمت عمده‌ی ذخیره‌ی معدنی را تشکیل می‌دهد و به سمت مناطق ژرف بر مقدار آن افزوده می‌شود (شکل ۳ b). همچنین کانه‌زایی آهن در چفارت در عمق زیاد و با مجموعه‌ای از کانی‌های مگنتیت $\pm$ پیریت $\pm$ کالکوپیریت $\pm$ همتایت مشخص می‌شود. نهشت بلورهای مگنتیت در سنگ منشا با مجموعه کانیایی سدیمی- کلسیمی همخوانی دارد. حضور بلورهای مگنتیت درون اکتینولیت و وجود اکتینولیت درون مگنتیت دلیل این ادعا است. حضور کانی‌های سرشار از سدیم و کلسیم همچون تیتانیت و ترمولیت- اکتینولیت شاخص دگرسانی سدیمی- کلسیمی عمیق می‌باشد (Hitzman et al., 1992). اکتینولیت نیز کانی معمول ذخایر میان دمایی است (Audetat et al., 1998).

کانه زایی در کانسار آهن چفارت در دو مرحله اولیه و سوپرژن انجام گرفته است (شکل ۴) که عبارت‌اند از: بخش اعظم مگنتیت به صورت اولیه تشکیل شده است، این مگنتیت‌ها احتمالاً تحت تاثیر یک فاز هیدروترمال جابجاشده و ضمن غنی شدگی، آهن توانسته تحت تاثیر فرآیندهای متاسوماتیک و هیدروترمال به صورت جانشینی و پرکننده‌ی فضاهای خالی، کالکوپیریت و پیریت به صورت رگچه‌ای و دانه‌ای در مراحل آخر فاز هیدروترمالی تشکیل می‌گردد. آخرین مرحله مربوط به تاثیر پدیده‌های سوپرژن بر روی کانسار آهن بوده، که مارتیت و دیگر هیدروکسیدهای آهن را تشکیل داده است. همچنین کالکوپیریت و بورنیت تجزیه شده و به مالاکیت و کوولیت تبدیل شده است.

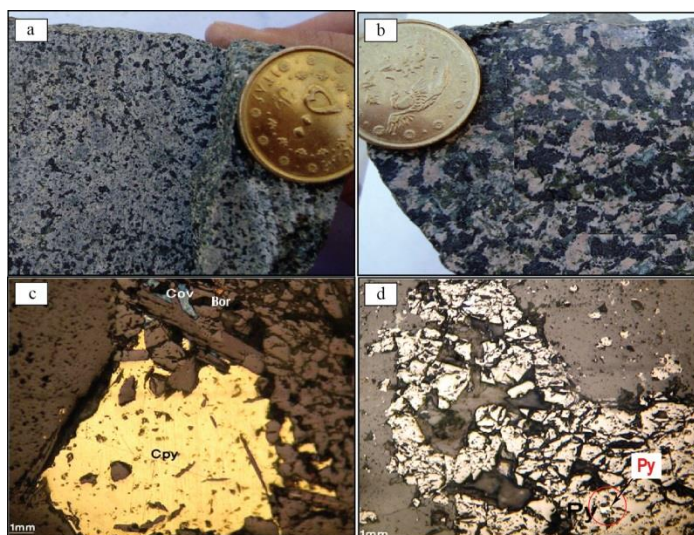
متاسوماتیسم: احتمالاً در یک مرحله‌ی پیش‌رونده تشکیل کانی‌هایی مثل آمفیبول و اورتوکلاز و در یک مرحله‌ی پس‌رونده کانی‌هایی مثل اپیدوت و کلریت.

پاراژنز کانیایی به صورت همراهی مگنتیت- اکتینولیت- پلاژیوکلاز در کانسار می‌باشد.



شکل ۲- انواع بافت‌های مشاهده شده در مگنتیت (a) بافت برشی در کانسنگ مگنتیتی و بلورهای ریز و درشت مگنتیت که نشانه ی نیروهای تکتونیکی اعمال شده به کانسار هستند (b) بافت توده‌ای که دارای اندازه‌ای از چند میلی متر تا ۲-۳ سانتی متر هم می رسد. (c) بافت دانه ای در کانسنگ مگنتیتی و وجود دانه های شکل دار مگنتیت. (d) اکتینولیت دسته جارویی. (e) مارتیتی شدن نوع خاصی از پدیده ی جانشینی است. اختصارات: Act: اکتینولیت. Mt: مگنتیت. Mar: مارتیت.

Fig. 2. Types of textures observed in magnetite. (a) Breccia texture in magnetite ore and fine and coarse magnetite crystals that indicate tectonic forces applied to the deposit. (b) A mass of tissue ranging in size from a few millimeters to 2-3 cm. (c) Grain texture in magnetite ore and presence of magnetite-shaped grains. (d) Actinolite, (e) martite is a special kind of succession phenomenon. Abbreviations; Mt: Magnetite, Act: Actinolite, Mar: Martite.



شکل ۳- (a) تصویری از نمونه دستی، کانه زایی پر عیار مگنتیت (b) تصویری از نمونه دستی، کانه زایی کم عیار مگنتیت (c) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت، بورنیت و کوولیت (d) تصویر میکروسکوپی پیریت با بافت شکافه پر کن اختصارات: Cov: کوولیت، Cpy: کالکوپیریت، Bor: بورنیت، Py: پیریت.

Fig. 3. (a) Image of hand sample, high cutie magnetite mineralization, (b) Image of hand sample, low cutie magnetite ore, (c) Microscopic image of Chalcopyrite, bornite and covellite. (d) Photomicrographs of pyrite fill with slit texture. Abbreviations; Cov: Covellite, Cpy: Chalcopyrite, Bor: Bornite, Py: Pyrite.

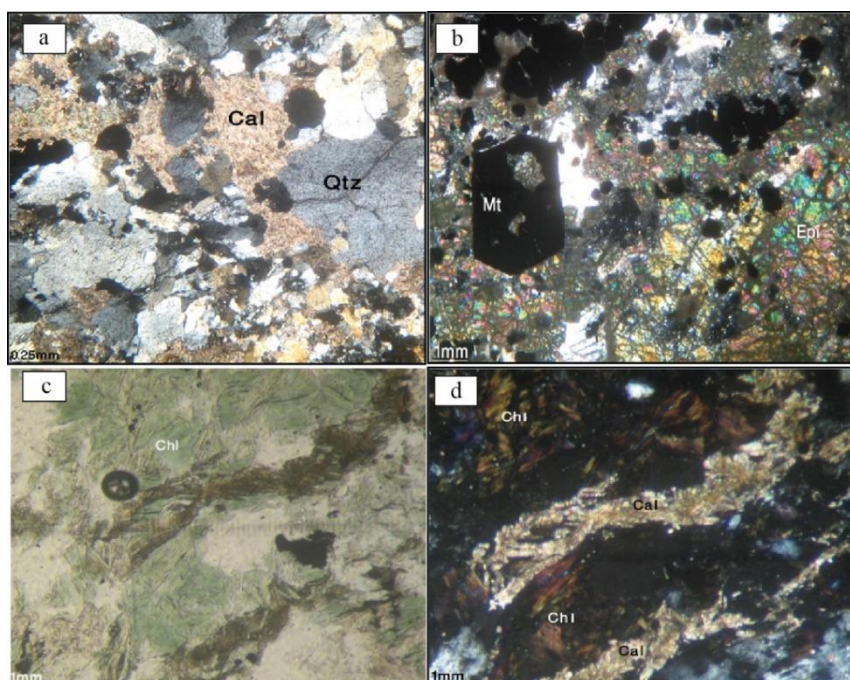
Stage Mineralogy	Primary			Supergene
	Stage 1	Stage 2	Stage 3	
Qtz				
Orthoclase				
Albite				
Amphibole				
Epidote				
Chlorite				
Calcite				
Magnetite				
Chalcopyrite				
Pyrite				
Bornite				
Covellite				
Martite				

شکل ۴- توالی پاراژنزی و کانه زایی در منطقه‌ی چغارت.

Fig. 4. Paragenesis of mineral association in the Choghart deposit.

حاصل شده است. همچنین در برخی از مقاطع، به نظر می‌رسد شروع فرآیند کانی‌سازی آهن همراه با اپیدوت بوده است (شکل ۵b). پدیده‌ی کلریتی شدن نیز در محدوده مورد مطالعه قابل تشخیص می‌باشد که معمولاً آمفیبول‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۵c و d).

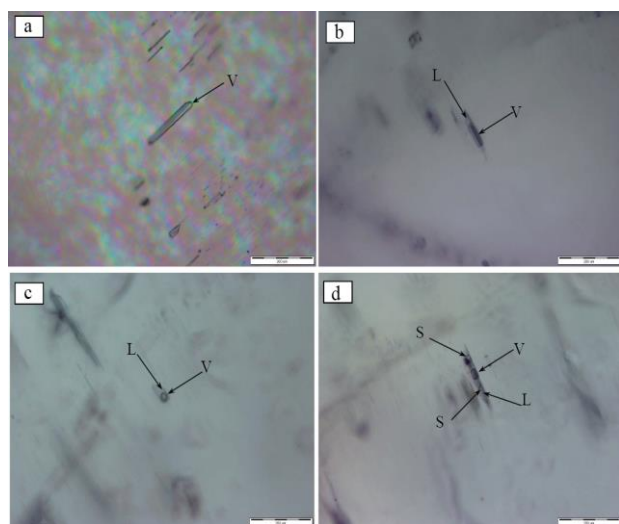
پدیده سیلیسی شدن یکی از دگرسانی‌هایی است که در ترکیب سنگ-های چغارت اتفاق افتاده و باعث تغییر ترکیب اولیه‌ی سنگ نیز گردیده است. این پدیده را می‌توان به مراحل انتهایی عملیات آتشفشانی در منطقه و نفوذ محلول‌های داغ سیلیس‌دار در سنگ‌های پیرامون کانسار نسبت داد (شکل ۵a). دگرسانی اپیدوتی شدن احتمالاً از تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت در منطقه



شکل ۵- (a) دگرسانی سیلیسی، (b) دگرسانی اپیدوتی، (c - d) دگرسانی کلریتی. اختصارات: Cal: کلسیت، Qtz: کوارتز، Epi: اپیدوت، Mt: مگنتیت، Chl: کلریت.

Fig. 4. (a) Siliceous alteration, (b) epidote alteration, (c - d) chlorite alteration. Abbreviations; Cal: calcite, Qtz: quartz, Epi: epidote, Mt: magnetite, Chl: chlorite.

بیش از ۷۰ درصد حجم سیال را دربرگرفته است. دمای همگن شدن در این نوع میانبارها متوسط و درصد شوری و چگالی اندک است و یکنواختی در آنها با تشکیل فاز گازی همراه است. میانبارهای گروه چهارم در چگارت نسبت به انواع دو فاز غنی از مایع فراوانی بیشتری دارند (شکل ۶c). نوع پنجم: سه فاز جامد - مایع - گاز (L+V+S) (شکل ۶d) هستند. در میانبارهای این گروه، فاز مایع همراه با فاز حباب گاز وجود دارد. با توجه به آزمایش سرمایش بر روی آنها، به نظر می‌رسد ترکیب اصلی فاز گازی بخار آب باشد. میانبارهای نوع پنجم به وفور در آپاتیت یافت می‌شوند. حضور میانبارهای سیال نوع یک همراه میانبارهای سیال نوع سوم و چهارم نشان‌دهندگی این است که جوشش هنگام تبلور آپاتیت‌ها در منطقه رخ داده است (Simmons et al., 2000). وجود فازهای نوزاد بی‌شمار در میانبارها بیانگر شوری زیاد و نیز غنی بودن محلولهای به وجود آورنده بلورها از آهن است زیرا بیشتر فازهای نوزاد، کانی‌های آهن دار هستند. برخی از این فازهای تیره رنگ ممکن است بقایای از ماگمای مادر اولیه باشند. پدیده گردن باریک‌شدگی (Necking down) یک فرآیند عمومی در محیط‌های گرمایی است (Bodnar et al., 1985) که این پدیده در نمونه یاد شده نیز قابل مشاهده است. به لحاظ ژنتیکی هر سه گروه میانبار سیال اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در نمونه‌ها مشاهده می‌گردد.



شکل ۶- تصاویر میکروسکوپی میانبارهای سیال در کانی آپاتیت کانسار آهن آپاتیت‌دار چگارت، (a) تک فاز گازی و تک فاز مایع، (b) دو فاز غنی از گاز، (c) دو فاز غنی از مایع، (d) سه فاز جامد-مایع-گاز.

Fig. 6. Photomicrographs of fluid inclusions in apatite mineralization of apatite-iron at Choghart deposit. (a) Only vapor phase and only Liquid phase, (b) gas-rich fluid inclusion, (c) liquid-rich fluid inclusion, (d) solid-bearing fluid inclusion.

(T_h) برای ۴۹ میانبار سیال از ۱۵۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد تشخیص داده شد که بیشترین فراوانی در محدوده دمایی ۳۵۰-۴۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (شکل ۷a). برای انجام مطالعات سرمایش، میانبارهای

به نظر می‌رسد که سیال سازنده مگنتیت پس از تفکیک اولیه سبب کانی-سازی سیلیکاتی در منطقه شده است. این شرایط در سامانه‌هایی بوجود می‌آید که نسبت سیال به سنگ بسیار پایین، pH سیال به شدت قلیایی و لیگاندهای کلریدی در سیال گرمایی فراوان باشند (Lottermoser, 1992). دگرسانی‌های جزئی سرسیتی - سیلیسی بیشتر با کانه‌زایی اسپیکولاریت همراه است. این دگرسانی احتمالاً ناشی از پیشروی سیال گرمایی عمیق به سطوح کم عمق تر پوسته و اختلاط آنها با آبهای جوی است که با افزایش نسبت واکنش پذیری سیال به سنگ، افزایش میزان اکسایش سیال، کاهش دما و افزایش pH همراه است و برای نهشت توالی پارائزنی اسپیکولاریت + سرسیت + کوارتز + اپیدوت + کلریت $\pm$ مگنتیت مناسب می‌باشد. این نوع کانه‌زایی آهن وابسته به مناطق فشارشی در طول یک حاشیه قاره‌ای مرتبط با فرورائش بوده و دگرسانی‌های وابسته به کانه‌زایی مگنتیت از عمق با دگرسانی سدیمی یا سدیمی-کلسیمی شروع و به سمت بالا به مجموعه دگرسانی‌های سرسیتی-سیلیسی همراه با کانه‌زایی هماتیت ختم می‌شود (Hitzman, 2000).

۴-۲- پتروگرافی میانبارهای سیال

مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال کمک بسیاری به شناسایی روابط پیچیده میان میانبارهای سیال و کانی‌های میزبان می‌کند (Van den Kerkhof and Hein, 2001) از این جهت مطالعات پتروگرافی دقیقی بر روی میانبارهای سیال کانی آپاتیت کانسار چگارت انجام گرفت. میانبارهای سیال، به فراوانی و با توزیع و ترکیب‌های متفاوت در آپاتیت‌ها وجود دارند. میانبارهای مطالعه شده در این پژوهش مطابق معیارهای Rodder (۱۹۸۴) از نوع اولیه و بطور محدود از نوع ثانویه دروغین می‌باشد. ابعاد میانبارهای سیال از چند میکرون تا ۲۰ میکرون متغیر است، اما بیشتر آنها دارای اندازه‌ای کوچکتر از ۲۰ میکرون می‌باشند. میانبارهای سیال اولیه به صورت مجزا و درشت در زمینه آپاتیت پراکنده هستند. میانبارهای سیال ثانویه بصورت خطی در محل شکستگی‌ها قرار گرفته‌اند. میانبارهای سیال ثانویه کاذب به شکل بسیار ریز و بصورت خطی دیده می‌شوند.

شکل‌های مشاهده شده میانبارهای سیال در کانی آپاتیت، به ترتیب فراوانی به صورت نامنظم، کشیده، پهن، کروی، بیضی و شکل منفی بلور دیده می‌شوند. تقسیم‌بندی میانبارهای سیال اولیه موجود در کانی آپاتیت چگارت، طبق تقسیم بندی ژنزی و بافت انجام گرفت که اخیراً به وسیله Van den Kerkhof and Hein (2001) مورد تجدید نظر قرار گرفته شده است. میانبارهای مطالعه شده بر اساس فازهای مشاهده شده به پنج گروه تقسیم می‌شوند:

گروه اول (V): گروهی از میانبارها می‌باشند که تنها از گاز تشکیل شده‌اند (شکل ۶a). گروه دوم (L): این نوع میانبار سیال تماماً از مایع پر شده است و ساده‌ترین نوع میانبار و با فراوانی کم می‌باشد و به اشکال مختلفی دیده شده است (اکثر کروی) که احتمالاً حاصل یک باریک‌شدگی می‌باشند (تک فاز مایع) (شکل ۶a). گروه سوم (L+V): میانبارهای دو فاز غنی از مایع با فراوانی نسبتاً زیاد می‌باشند (شکل ۶b). گروه چهارم (V+L): حباب گاز

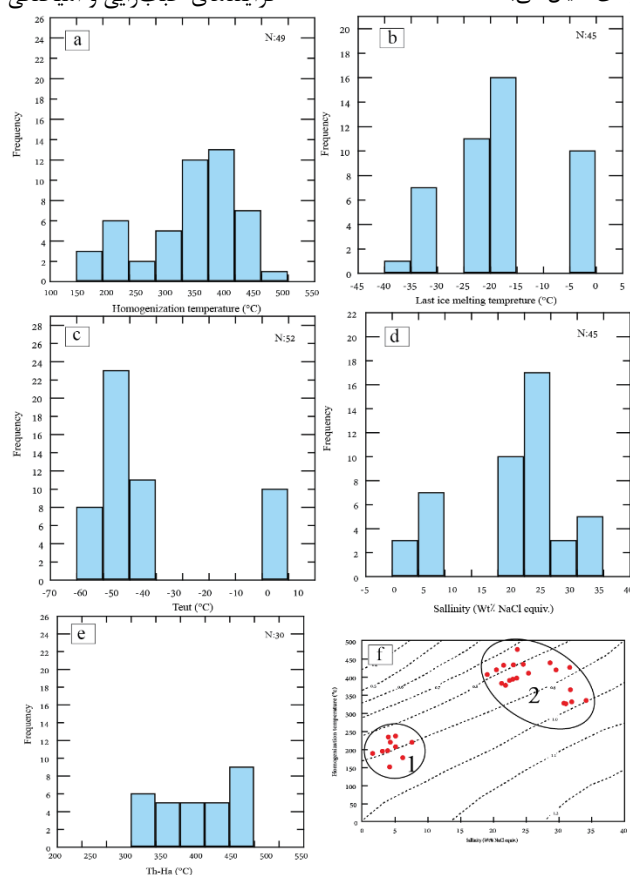
۴-۳- ریزدماسنجی

مطالعات ریزدماسنجی بر روی حدوداً ۷۸ میانبار سیال اولیه و ثانویه کاذب موجود در کانی آپاتیت کانسار چگارت انجام گرفت. طبق مطالعات ریزدماسنجی و با توجه به نمودارهای شکل ۷، محدوده دمای همگن‌شدگی

مقدار شوری از معادله‌ی Bodnary and Vityk (۱۹۹۴) محاسبه گردید. مقدار شوری بین دو دامنه دمایی ۰ تا ۱۰ و ۲۰ تا ۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد که در محدوده‌ی ۲۰ تا ۲۵ بیشترین فراوانی را دارد (شکل ۶). در این مطالعه همچنین دمای ذوب بلور نمک نیز اندازه‌گیری گردید که طبق شکل ۶ در دامنه دمایی ۳۰۰ تا ۵۰۰ همگن شدگی فاز جامد اتفاق می‌افتد.

با استفاده از شوری میانبرهای سیال و دمای همگن شدگی می‌توان چگالی سیال را با تقریب نسبتاً خوبی محاسبه کرد (Zang and Frantz, 1987) (شکل ۷). در این حالت با استفاده از خطوط هم‌چگال که در دیاگرام شوری- دمای همگن شدگی قرار دارند میتوان چگالی سیال را بدست آورد. همانطور که از شکل ۷ مشخص می‌باشد، دو محدوده‌ی چگالی وجود دارد. محدوده اول شوری و دما پایین و با چگالی ۰/۸ تا ۰/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب و محدوده دو با شوری و دمای بالا و محدوده چگالی ۰/۷ تا ۱/۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. تغییرات چگالی نشان می‌دهد که فرآیندهای حباب‌زایی و آمیختگی سیالات در منطقه رخ داده است.

سیال تا حدود ۹۰- درجه سانتی‌گراد سرد شدند و پس از انجماد کامل، به آرامی گرم گردیدند. دمای ذوب آخرین بلور یخ (T_m) بین ۰/۹- تا ۳۸- درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به نمودار شکل b۷ دو گستره‌ی دمایی در محدوده‌ی ۰ تا ۵ نشانگر شوری‌های پایین و ۱۵ تا ۳۸ نشانگر شوری بالا است. دمای ذوب اولین بلور یخ (T_e) یا دمای یوتکتیک در دو محدوده‌ی دمایی ۴/۵- تا ۰/۹- و ۳۸/۴- تا ۵۷/۳- درجه سانتیگراد بیشترین فراوانی را از خود نشان می‌دهند (شکل c۷). دمای یوتکتیک میانبرهای سیال در محدوده‌ی دمایی حدوداً ۵۰- تا ۵۳- درجه سانتیگراد (شکل d۷) به حضور کاتیون‌های Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Fe^{2+} , Ca^{2+} در سیال گرمایی-ماگمایی اشاره می‌کند (Yao et al., 2001) و دمای بسته‌شدن سیستم را در سامانه $H_2O-CaCl_2-KCl$ و $H_2O-NaCl-CaCl_2$ تایید می‌کند. البته در این حالت حضور کاتیون Na^+ نسب به کاتیون Ca^{2+} همیشه بیشتر است (Grandia et al., 2003). تعداد بیشتری از میانبرهای سیال دمای اولین ذوب بلور یخ در محدوده ۵۶- درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شده است که نشان دهنده حضور فاز CO_2 مایع در میانبرهای سیال می‌باشد.



شکل ۷- (a) نمودار دمای همگن شدگی (T_h), (b) دمای آخرین ذوب بلور یخ (T_m), (c) دمای ذوب اولین بلور یخ (T_e), (d) شوری در میانبرهای سیال اندازه-گیری شده در کانی آپاتیت چغارت, (e) نمودار دمای ذوب هالیت, (f) نمودار تعیین چگالی میانبرهای سیال در آپاتیت کانسار آهن چغارت (Zang and Frantz, 1987).

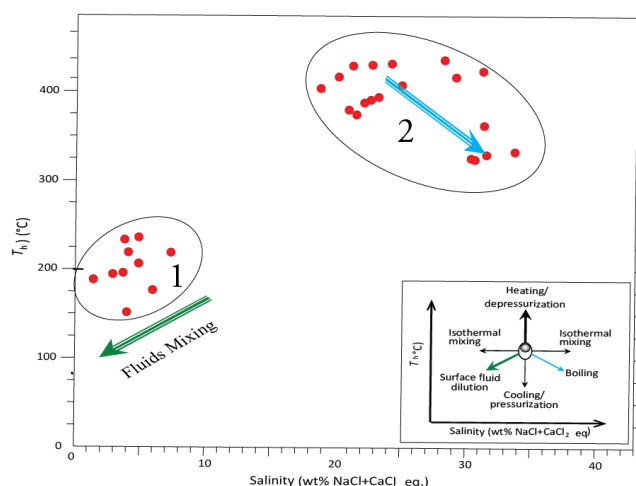
Fig. 7. (a) Homogenization Temperature (T_h °C), (b) histogram of last ice melting temperature (°C), (c) histogram of initial ice melting temperature, (d) Salinity of fluid inclusions measured in apatite, (e) histogram of halite melting, and (f) fluid inclusions density diagram for apatite of Choghart iron deposit (Zang and Frantz, 1987).

۴-۴- خاستگاه کانسار آهن - آپاتیت چغارت

مطالعه میانبارهای سیال در کانسار مگنتیت - آپاتیت چغارت نشان می‌دهد که دو نوع سیال در تشکیل کانسار مورد نظر نقش داشته‌اند. سیال نوع I با دمای بین ۳۱۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی گراد و شوری بین ۱۹ تا ۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام مشخص می‌گردد و سیال نوع II با دمای ۱۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی گراد و شوری پایین ۱ تا ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. همچنین اختلاط یک سیال گرمابی در حال سرد شدن با شوری و دمای بیشتر با یک سیال با شوری و دمای کمتر (احتمالاً جوی) دلیلی بر خاستگاه کایرونا برای کانسار چغارت از مجموعه ذخایر تیپ جهانی IOCG می‌باشد

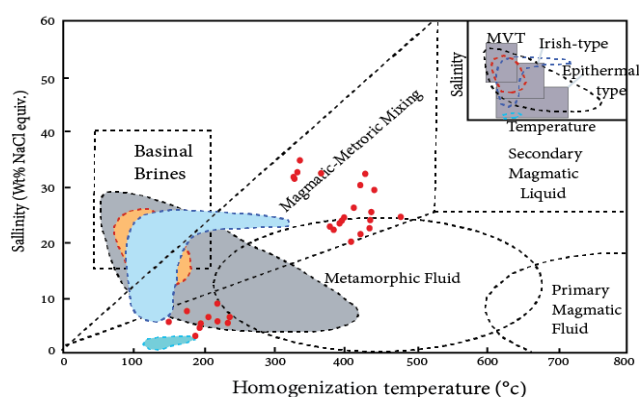
(Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2012; Latifi)
(Saei et al., 2014) محدوده شماره ۲ در شکل ۷ نشان می‌دهد که کانه‌زایی آهن از یک سیال در حال سرد شدن طی پدیده جوشش رخ داده است.

با استفاده از نمودار دوتایی میزان شوری به دمای همگن‌شدگی (Beane, 1983) می‌توان بدون استفاده از ایزوتوپ‌های پایدار منشا احتمالی آب میانبارهای سیال را پیش‌بینی کرد. همانطور که در شکل ۹ دیده می‌شود تجمع میانبارهای سیال در محدوده‌ی اختلاط آب ماگمایی و جوی رخ داده است.



شکل ۸ - نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن انواع سیالات درگیر کانسار چغارت، روندهای ممکن تکامل سیال در نمودار دما شوری از Shepperd و همکاران (۱۹۸۵).

Fig. 8. Salinity vs. homogenization temperature (°C) diagram of fluid inclusions in Choghart deposit. Evolution trends from Shepperd et al. 1985.



شکل ۹- دیاگرام پراکندگی شوری و دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال در کانی آپاتیت چغارت. نمودار پایه از Beane (۱۹۸۳) با تطبیق تیپ MVT، Epithermal و Irish (Wilkinson, 2001).

Fig. 9. Salinity vs. homogenization temperature diagram of fluid inclusions in the apatite mineralization. Basal diagram after Beane (1983) with type matching for MVT, Epithermal and Irish mineralization from Wilkinson (2001).

۵- نتیجه گیری

کلسیمی، پتاسیمی و سرسیتی است که در مناطق بسیار سطحی با سیلیسی شدن همراه است.

مس به صورت کانه‌های سولفیدی (به ویژه کالکوپیریت) در هم‌رشدی پیریت و کانسنگ آهن، همراهی فرایندهای ماگمایی و گرمایی یعنی تشکیل کانسار در اثر فرایندهای ماگمایی، حجم گسترده ای از یک مذاب غنی از آهن و در پی آن ایجاد سامانه گرمایی و جان‌شینی کانسنگ آهن، متاسوماتیزم و دگرسانی‌های گسترده از نوع سدیمی- کلسیمی، پتاسیمی، سرسیتی و سیلیسی شدن که بیانگر نقش مهم یون قلیایی Na در تشکیل کانسنگ آهن است.

با توجه به داده‌های میانبارهای سیال موجود در کانی آپاتیت دمای محلول گرمایی ۱۵۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی گراد و با شوری ۰ تا ۳۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. همچنین با استناد به نتایج حاصل از ترسیم داده‌های میانبارهای سیال موجود در کانی آپاتیت چغارت بر روی دیاگرام پراکندگی شوری در مقابل دمای همگن شدگی احتمالاً کانه زایی در ارتباط با فرآیند ماگمایی- گرمایی بوده است. بنابراین هر دو فرآیند نقش مهمی طی کانه‌زایی داشته‌اند. با توجه به ترکیب کانی‌شناسی، دگرسانی‌ها و ترتیب گسترش آن‌ها، مشاهده آثار دگرگونی در سنگ‌های منطقه، داده‌های میانبار سیال (دما و شوری) و نقش سیالات ماگمایی و گرمایی در کانه‌زایی آهن در چغارت احتمالاً این کانسار از نوع IOCG و زیر گروه ذخایر کایرونا می‌باشد.

بررسی‌های صحرایی در منطقه بافق حاکی از آن است که فرایندهای گرمایی گسترده‌ای در اثر نفوذ توده‌های آذرین گرانیته و به صورت محلی دیوریتی در کامبرین زیرین رخ داده است، که باعث کانی‌سازی گسترده‌ای از آهن- آپاتیت و برخی کانی‌های عناصر کمیاب خاکی و تشکیل هاله‌های گسترده‌ی دگرسانی (سدیمی- کلسیمی) ناشی از برهم‌کنش گرمایی‌ها و سنگ در برگرفته شده است. همچنین در کانسار چغارت شواهد ویژه‌ای مبنی بر وجود فرایندهای ماگمایی و به دنبال آن عملکرد سامانه گرمایی و متاسوماتیزم دیده می‌شود. حجم بسیار زیاد کانسنگ آهن، مگنتیت‌ها و هماتیت‌های توده‌ای فراوان و ساخت و بافت‌های ویژه ماگمایی از جمله مشاهده آذرآواری‌ها و بافت‌های برشی و جریان‌ها با مرزهای مشخص و ناگهانی بین کانسنگ و سنگ همبر از شواهد وجود یک ماگمای غنی از آهن در منطقه می‌باشد. همچنین بافت‌های جان‌شینی در نمونه‌های میکروسکوپی، وجود مرزهای تدریجی بین کانسنگ و سنگ همبر، متاسوماتیزم و دگرسانی‌های گسترده مشاهده شده در منطقه، نشان دهنده فعالیت گسترده گرمایی در چغارت است. شواهد کانی‌شناختی و بافتی نشان دهنده عملکرد وسیع فرایندهای گرمایی و جان‌شینی‌های گسترده در منطقه است. دگرسانی‌های مشاهده شده در کانسار چغارت از اعماق بیشتر به سطح از نوع سدیمی-

References

- Alavi, M., 1994. Tectonic of Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Audetat, A., Guenther, D., Heinrich, C.A., 1998. Formation of a magmatic-hydrothermal ore deposit; insights with LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions. *Science* 279, 2091–2094.
- Barton, M. D., Johnson, D. A., 2004. Footprints of Fe Oxide (-Cu-Au) Systems. Special Publication, University of Western Australia, Crawley, Australia.
- Beane, R.E., 1981. The magmatic-meteoric transition. *Geothermal Resources Council* 13, 245–253.
- Berberian, M., King, G. C. P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran, *Canadian journal of Earth Science* 18, 210-265.
- Bodnar, R.J., Reynolds, T.J., Kuehn, C.A., 1985. Fluid inclusion systematics in epithermal in systems *Reviews of Economic Geology* 2, 73-97.
- Bodnar, R.H., Vityk, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusion, in De Vivo, B., and Frezzotti, M.L., eds., *Fluid inclusion in minerals: Methods and applications: International mineralogical association, Short course of the working group, Inclusions in minerals* 117-130.
- Charlier, B., Namur, O., Bolle, O., Latypov, R., Duchesne J., 2015. Fe-Ti-V-P ore deposits associated with Proterozoic massif-type anorthosites and related rocks. *Earth-Science Reviews* 141, 56–81.
- Corriveau, k., 2007. Auditory Processing Skills and Specific Language Impairment: A new look at an old hypothesis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research* 50, 647–666.
- Darvishzadeh, A., 1983. Investigation of Bafq-Esfordi phosphate, *Journal of Sciences, Tehran University*, 13(1-2) 2-24 (in Persian).
- Ebrahimi, F., Mokhtari, M., 2015. Vibration analysis of spinning exponentially functionally graded Timoshenko beams based on differential transform method. *Journal of Aerospace Engineering* 229, 1–13.
- Eslamizadeh, A., 2016. Geological setting of iron oxide-apatite deposits in the Bafq district, central Iran with an emphasis on mineralogical, petrographic, and geochemical study of the Sechahun deposit. *Iranian Journal of Earth Sciences* 8, 147-163.
- Foerster, H., Jafarzadeh, A., 1994. The Bafq mining district in central Iran; a highly mineralized Infracambrian volcanic fie. *Economic Geology* 89 (8), 1697-1721.
- Grandia F., Cardellach E., Canals A., Banks D.A., 2003. Geochemistry of the fluids related to epigenetic carbonate-hosted zn-pb deposits in the Maestrat basin, Eastern Spain: fluid inclusion and isotope (Cl, C, O, S, Sr) evidence. *Economic Geology* 98, 933–954.
- Guilbert, J. M., Park, J. R. C. F., 1997. *The geology of ore deposits*, Freeman and company, New York, 985.
- Haghipour, A., 1974. Etude geologique la region de Biabanak - Bafq (Central Iran); Petrologie et tectonique du socle permien et couverture. Ph. D These, Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, France.

- Hitzman, M. W., Oreskes, N., 1992. Einaudi M. T., Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research* 58, 241-287.
- Hitzman, M.W., 2000. Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when and why. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold and Related Deposits: A Global Perspective 2*, Adelaide. Australian Mineral Foundation 9-25.
- Karimpour, M. H, Mazloomi, A, 1997. Geochemistry, Origin and Potential of Gold Mining in Exploration Zone of Torbat Heydariyeh koh zar. *Journal of Earth Sciences* 28-27, 13-2.
- Karimpour, M. H, Mazloomi, A., 1997. Gold Discovery Report in the Torbat-e-Heydariyeh koh zar Area, Zarmahar Gold Company Internal Report 31.
- Karimpour, M. H., 2005. Comparison of Cu-Ag-Au Ghale zary deposit with other Iron Oxides Cu-Au (IOCG) deposits and presenting new classification, crystallography and mineralogy of Iran 134-1677.
- Latifi Saei, F., Mirnejad, H., Alipour Asl, M., Niroumand, S., 2014. Investigation of gold mineralization in thousands of vein systems in the Paris region of Kerman province (with emphasis on studies of fluid shortages and sulfur isotopes. *Advanced Applied Geology* 14, 65-75.
- Lottermoser, B.G., 1992. Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes. *Ore Geology Reviews* 7, 25-41.
- Malekzadeh Shafaroodi, A., Karimpour, M. H., 2012. Geology, Mineralization and Fluid inclusions Studies of Pb-Zn-Cu Hoze Reis Deposition, East Iran. *Advanced Applied Geology* 6, 63 – 73.
- Moore, F., Modabberi, S., 2003. Origin of Choghart iron oxide deposit, Bafq mining district, Central Iran: new isotopic and geochemical evidence. *Journal of Science, Islamic Republic of Iran* 14, 259-269.
- Nystrom, J. O., Henriquwz, F., 1994. Magmatic features of iron ore of the Kiruna type in Chile and Sweden: ore textures and magnetite geochemistry. *Economic Geology* 89, 820-839.
- Paknejad, H., 1991. Complementary exploration of Esfordi deposit. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 11, 89 (in Persian).
- Rahimi, A., 2015. Geochemical and Economic Geological Survey of Rare Elements in the Lake siysh Iron-Apatite Deposition, Northeast Bafgh. M.Sc Thesis, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.
- Ramdohr, P., 1980. The Ore Minerals and their Intergrowths, Pergamon Press, New York, N.Y.
- Rasti, S., Rajabzadeh M. A., 2017. Mineralogical and Geochemical Characteristics of Serpentine-Derived Ni-Bearing Laterites from Fars Province, Iran: Implications for the Lateritization Process and Classification of Ni-Laterites World Academy of Science, Engineering and Technology. *International Journal of Geological and Environmental Engineering* 117.
- Roberts, D. E., Hudson, G. R. T., 1983. The Olympic Dam copper-uranium-gold deposit, Roxby Downs, South Australia. *Economic Geology* 78 (5), 799-822.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12 644p
- Samani, B.A., 1988. Metallogeny of the Precambrian in Iran. *Precambrian Research* 39, 85-106.
- Shepherd, T., Rankin, A. H., Alderton, D., 1985. A practical guide to fluid inclusions studies, Blackie, Glasgow, 239.
- Sillitoe, R.M., 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita* 38, 787-812.
- Simmons, S.F., Simpson, M.P. Mauk, J., 2000. The mineral products of boiling in the golden cross epithermal deposit, New Zealand Minerals and Mining Conference Proceedings, 209-216.
- Stocklin, J., 1974. Possible ancient continental margins in Iran. In the geology of continental margins. Edited by C.A Burk and C.L. Drake. Springer, New York, 333-353.
- Torab, F.M, Lehmann, B., 2006. Magnetite-apatite deposits of the Bafq district, Central Iran: apatite geochemistry and monazite geochronology. *Mineralogical Magazine* 71, 347-363.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F., 2001. Fluid inclusion petrography. *Lithos* 55, 1-4.
- Wilkinson, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposit. *Lithos* 55, 229-72.
- Yao, Y., Murphy, P.J., Robb, L.J., 2001. Fluid characteristics of granitoid-hosted gold deposits in the birimian terrane of Ghana: a fluid inclusion microthermometric and Raman spectroscopic study. *Economic Geology* 96, 1611-43.
- Zhang, Y. G., Frantz, J. D., 1987. Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions. *Chemical Geology* 64, 335-350.

