

## Geology and Geochemistry of Cu Mineralization in the Dehmadan and Darreh-Yas indices, Charmahal va Bakhtiari Province

Alireza Zarasvandi<sup>1\*</sup>, Houshang Pourkaseb<sup>1</sup>, Abde-Khalil Fatemi<sup>1</sup>, Zahra Fereydouni<sup>1</sup>, Mahmoud Ghasemi<sup>2</sup>

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

2-Research Institute for Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, Tehran, Iran

**Keywords:** Sedimentary-hosted copper, Dehmadan, Darreh-Yas, Mashayekh area, Chaharmahal va Bakhtiari

### 1-Introduction

Sedimentary rock-hosted copper deposits are the second most important producer of copper after porphyry copper (Taylor et al., 2013). The reserves are formed by the movement of oxidized, copper-bearing fluids through the reduction front that result in the deposition of copper sulfides. Totally, sedimentary copper can be deposited through different processes. Precipitation is generally caused by chemical changes, either by the contact with specific host rocks, or as in the case of sedimentary exhalative deposits, via contact with water (Hitzman et al., 2005). These deposits are also the most important sources of cobalt and silver as by-products. In addition to cobalt and silver, some minerals such as nickel, gold, lead, zinc and platinum are important in the Sedimentary copper deposits (Hitzman et al., 2005; Taylor et al., 2013). Supergiant deposits of sedimentary rock-hosted copper are currently recognized in only three basins: the Paleoproterozoic Kodaro-Udokan basin of Siberia, the Neoproterozoic Katangan basin of south-central Africa, and the Permian Zechstein basin of northern Europe (Hitzman et al., 2005). Iran ranks 17th in terms of copper deposit in the world, most of which are located in Kerman and Azerbaijan provinces. Major sedimentary copper deposits in Iran are in the Zagros fold belt and the Tabas block (Ghorbani, 2007). Mashayekh area is located in Charmahal va Bakhtiari Province and is structurally located in the high Zagros belt. This region is characterized by two mining districts, namely, the Dehmadan and the Darreh-Yas, approximately two kilometers apart. The most mineralization is associated with organic-bearing carbonate rocks in the Dehmadan deposit. The presence of Doab salt dome and Ab-Vanak reverse fault in around of the study area have been resulted in changing the salinity, Eh, pH and movement of ore forming fluids.

### 2-Methodology

In the field observation, 12 samples selected and were taken from different units of the Dehmadan and the Darreh-yas ore deposits. After preliminary investigations, 11 samples were selected for mineralogical studies and 10 samples for mineralogical studies. Thin and polished sections were prepared at Shahid Chamran University of Ahvaz. Mineralogy of the samples was determined by polarizing-reflected light optical microscopy in Shahid Chamran University of Ahvaz. Geochemical studies on mineralized and host rocks were performed by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) after lithium metaborate ( $\text{LiBO}_2/\text{LiB}_4\text{O}_7$ ) fusion and nitric ( $\text{HNO}_3$ ) digestion of 0.2g of sample in order to determine the major, trace, and rare earth elements at Zarazma Company in Pardis Science and Technology Park, Tehran. The minimum detection limit for major and trace elements is 0.1ppm and 0.02 ppm for rare earth elements.

### 3- Results and discussion

According to the petrography, lithologic units of the Dehmadan and the Darreh-Yas ore deposits mainly include dolomite, quartz and minor feldspar and in addition, clay and silty minerals were also found in the mineralogical composition of the sedimentary units of the area. According to the mineralography, primary minerals including chalcocite, pyrite, bornite, and secondary minerals are malachite, azorite, chalcocite, covellite, hematite and limonite. The presence of secondary minerals indicates the effect of weathering and supergene alteration in the area. Field observations, microscopic and mineralogical studies show the samples in the Dehmadan deposit containing more mineralization than the Darreh-Yas deposit. The geochemical results represent negative Ce and

\*Corresponding author: [zarasvandi\\_a@scu.ac.ir](mailto:zarasvandi_a@scu.ac.ir)

DOI: 10.22055/aag.2020.30592.2029

Received 2019-08-07

Accepted 2020-02-18

Eu anomalies, LREE enrichment relative to HREE in the Dehmadan deposit that the features are analogous to that of central African Zambian belt sedimentary copper deposits. The Darreh-Yas deposit also shows weak negative Ce anomaly and HREE enrichment relative to LREE. In general, the results indicate that metals of old units have been leached by high saline brines with oxic conditions and entered into sedimentary basins. Then, the reaction of ore-forming fluid with organic-bearing carbonate rocks lead to ore deposition in a reduced condition. Finally, the ore has been undergone by late-stage supergene and weathering processes.

#### 4- Conclusion

1. According to the mineralogy, two-stage mineralization has accrued in the area and the mineralization includes primary ores such as chalcopyrite, bornite as the dominant sulphides and secondary ore including chalcocite, covellite, malachite, azorite ores and iron oxides.
2. The abundance of secondary ores in the Dehmadan deposit is much higher than the Darreh-yas that indicating the effect of supergene alteration and weathering in the Dehmadan deposit, which has also increased its economic potential.
3. The presence of effect of organic matter such as bitumen in the Dehmadan deposit, is the difference between the two studied ore deposits. This factor with reductive role can have a significant impact on sulfide deposition and increase productively of the Dehmadan ore deposit.
4. The negative Ce anomalies indicate the reductive conditions in the Dehmadan deposit, which can be attributed to the presence of organic matter and their role in the reductive environment and consequently the deposition of metals simultaneously with deposition.

#### References

- Ghorbani, M., 2007. Economic Geology of Mineral Deposits and Natural Resources of Iran, 1<sup>st</sup> edition, Arian Zamin Publishers, p. 492.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., Selley, D., 2005. The sediment hosted stratiform copper ore system. *Economic Geology*, 609–642.
- Taylor, C.D., Causey, J.D., Denning, P.D., Hammarstrom, J.M., Hayes, T.S., Horton, J.D., Kirschbaum, M.J., Parks, H.L., Wilson, A.B., Wintzer, N.E., Zientek, M.L., 2013. Descriptive models, grade-tonnage relations, and databases for the assessment of sediment-hosted copper deposits-With emphasis on deposits in the Central African Copperbelt, Democratic Republic of the Congo and Zambia, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2010–5090–J, 154.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Zarasvandi, A., Pourkaseb, H., Fatemi, A.K., Fereydouni, Z., Ghasemi, M., 2020. Geology and Geochemistry of Cu Mineralization in the Dehmadan and Darreh-Yas indices, Charmahal va Bakhtiari Province. *Adv. Appl. Geol.* 10(1), 60-77.

DOI: 10.22055/AAG.2020.30592.2029

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_15335.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_15335.html?lang=en)

## زمین شناسی و زمین شیمی کانه زایی مس، در اندیس های ده معدن و دره یاس، استان چهارمحال و بختیاری

علیرضا زراسوندی\*

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

هوشنگ پور کاسب

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

عبدخلیل فاطمی

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

زهرا فریدونی

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

محمود قاسمی

پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۱۶

\*zarasvandi\_a@scu.ac.ir

## چکیده

منطقه مشایخ در استان چهارمحال و بختیاری و از لحاظ ساختاری، در کمربند زاگرس مرتفع واقع شده است. این منطقه از دو کانسار ده معدن و دره یاس با فاصله‌ی حدوداً ۲ کیلومتری، تشکیل شده است. حداکثر کانه‌زایی در ارتباط با واحدهای کربناته‌ی حاوی مواد آلی در کانسار ده معدن می‌باشد. حضور گنبد نمکی دو آب و گسل معکوس آب‌ونک در اطراف منطقه‌ی مورد مطالعه باعث تغییر در میزان شوری، Eh، Ph و تحرک سیال کانه‌دار شده است. نتایج زمین شیمی، بیانگر وجود ناهنجاری منفی Eu و Ce، غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) نسبت به عناصر نادر خاکی سبک (LREE) برای کانسار ده معدن می‌باشد که بسیار مشابه با کانسارهای مس رسوبی کمربند مس آفریقای مرکزی است. کانسار دره یاس هم، ناهنجاری منفی Ce و تهی‌شدگی HREE نسبت به LREE را نشان می‌دهد. به طور کلی، نتایج بیانگر این است که سیالی شور با شرایط اکسیدان، فلزات را از واحدهای قدیمی‌تر شسته و به حوضه‌ی رسوبی وارد کرده است. سپس، در اثر برخورد سیالات کانه‌دار با یک واحد کربناته‌ی حاوی مواد آلی، مواد معدنی در یک شرایط احیایی ته‌نشین شده‌اند. در نهایت، ماده معدنی، تحت تاثیر فرآیندهای برون‌زاد و هوازدگی قرار گرفته است.

کلمات کلیدی: مس رسوبی، ده معدن، دره یاس، منطقه مشایخ، چهارمحال و بختیاری

## مقدمه

رخ داده‌اند. این ذخایر در لایه‌های رسوبی سیاه، قهوه‌ای، سبز یا سفید و احیایی، درون یا بالای یک مقطع ضخیم از لایه‌های قرمز (اکسیدی) نهشته شده‌اند (Taylor et al., 2013). انواع ذخایر ویژه‌ای که با این نوع کانسار مس در ارتباط هستند، عبارتند از تبخیری‌ها، ذخایر نوع آهن-اکسید-مس-طلا (IOCG) و ذخایر مس جانشینی یا رگه‌ای با میزان رسوبی دارای کنترل ساختاری (Cox and Burnstein, 1986; Pirajno et al., 2016). همچنین، جهت تشکیل کانسارهای مس رسوبی، شرایط ذیل نیاز می‌باشد: ۱- وجود سنگ منبع برای مس، بطور مشخص سیلیسی، کلسیتی، اکسیدی یا سنگ‌های آتشفشانی نیمه عمیق مافیک، ۲- حضور شورابه‌های رسوبی زیر سطحی، در محدوده‌ی پایداری هماتیت (اکسیدی) که توانایی انحلال و انتقال مس در محلول را داشته باشند، ۳- حرکت شورابه‌ها در جهت تخلیه‌ی حوضه-ی رسوبی، ۴- ساختارهای محدود کننده، همانند لایه‌های محبوس کننده، تنگناهای چینه‌ای و یا تله‌های تاقدیسی، ۵- وجود توالی غنی از مواد آلی در سنگ‌های رسوبی برای احیاکنندگی درجا و تولید عوامل احیاکننده‌ی متحرکی همچون گاز طبیعی، نفت و  $H_2S$  که سبب ته‌نشست مس از شورابه‌های زیرسطحی اکسیدی می‌شوند. بطور کلی کانه‌زایی مس استراتی‌بند با میزان رسوبی از سیالات گرمایی تشکیل شده در طول دیاژنز و تشکیل ریزسنگ‌ها در

ذخایر مس با گرایش رسوبی-شیمیایی، بعد از مس پورفیری، دومین تولیدکننده مهم این فلز، در جهان می‌باشند و حدود ۲۷ درصد ذخایر کشف شده مس جهان را به خود اختصاص داده‌اند. این ذخایر همچنین، مهم‌ترین منابع تولید کبالت و نقره به عنوان محصول فرعی قلمداد می‌شوند. علاوه بر کبالت و نقره، در برخی کانسارها، عناصر فرعی مانند: نیکل، طلا، سرب، روی و عناصر گروه پلاتین نیز، از اهمیت بالایی برخوردارند (Hitzman et al., 2005; Taylor et al., 2013; Zhao et al., 2013). مهم‌ترین کانسارهای این نوع از ذخایر عبارتند از: کمربند مس زامبیا، مس کوپرشیف در اروپا، وایت پاین در آمریکا، ادوکان در روسیه و کروکرو در بولیوی (Taylor et al., 2013; Pirajno et al., 2016). کشور ایران از حیث ذخایر معدنی مس جهان، در رتبه هفدهم است که عمده این ذخایر در استان‌های کرمان و آذربایجان قرار دارد. از جمله‌ی ذخایر مس رسوبی در ایران، کمربند زاگرس چین‌خورده و بلوک طبرستان (Ghorbani, 2007). ذخایر مس استراتی‌بند با سنگ میزبان رسوبی را کانه‌زایی‌های مسی می‌دانند که حاوی کانی‌های ریز مس و کانی‌های دانه‌ریز مس-آهن-سولفید می‌باشند و به صورت استراتی‌بند تا استراتی‌فرم در سنگ‌های رسوبی سیلیسی-کلسیتی یا دولومیتی

غرب می‌باشد که در شکل a1 نشان داده شده است (Alavi, 2007). منطقه-ی مورد مطالعه (مشایخ) به طول ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه شمالی در حوالی روستای دهمعدن و منطقه‌ی دره‌یاس از توابع شهرستان اردل، استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل b1). دسترسی به منطقه از طریق مسیر اصفهان- بروجن و بخش ناغان و یا از طریق مسیر شهرکرد- شلمزار و بخش ناغان می‌باشد. از دیدگاه زمین‌شناسی کانسارهای مورد مطالعه در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ اردل تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و از لحاظ ساختاری در زون زاگرس مرتفع قرار می‌گیرند. با توجه به بازدیدهای صحرائی، کانسارهای مذکور در ارتباط با واحدهای رسوبی عمدتاً شیل، دولومیت و ماسه‌سنگی سازندهای باروت، زاگون، لالون و میلا با محدوده‌ی سنی کامبرین تا پرمین می‌باشند. از دیگر عوارض زمین‌شناختی که می‌توانسته بر کانسارهای دره‌یاس و دهمعدن متأثر باشد، وجود گنبد‌های نمکی و فعالیت‌های مربوط به آنها می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه بخشی از یک ساختار زمین‌شناسی بزرگ به نام ناودیس سبزکوه-کلار است که کوه کلار، یال شمال شرقی و سبزکوه نیز یال شمال غربی آن را تشکیل می‌دهد. وجود گسل-های تراسی در منطقه همانند گسل آب‌ونک با امتداد NW-SE می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل در صعود گنبد‌های نمکی همچون دوآب و تحرک و تمرکز فلزات توسط سیالات گرمایی در حین فعالیت‌های این گنبد نمکی باشد.

شیل‌های سرخ قهوه‌ای، دولومیت، مقادیری نمک و گچ به همراه آثاری از سنگ‌های آذرین در منطقه دهمعدن دیده می‌شود که بیانگر فعالیت و بالا آمدن گنبد‌های نمکی و تحرک مواد پی‌سنگی به سمت سطح زمین در ارتباط با گسل‌های منطقه است. سازند باروت به سن کامبرین زیرین با ترکیبی از میان لایه‌های دولومیت و شیل قرمز که توسط دولومیت‌های توده‌ای متبلور در بالا و پایین مشخص است، در محدوده‌ی کانسار دهمعدن نسبت به دره‌یاس فراوانی و رخنمون بیشتری دارد. این سازند احتمالاً در دهمعدن نقش به‌سزایی در کانه‌زایی منطقه داشته است (شکل a2). وجود آثار فعالیت‌های گنبد نمکی در منطقه‌ی مورد مطالعه به‌ویژه در محدوده‌ی کانسار دهمعدن و نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اردل بخوبی قابل مشاهده می‌باشد که بنام گنبد نمکی دوآب معروف است (شکل b2). بخش زیرین سازند میلا نیز، توسط واحد ماسه-سنگی تاپ کوارتزیت مربوط به سازند لالون قابل شناسایی می‌باشد (شکل c2). کانسار دهمعدن در نزدیکی روستایی به همین نام و در دامنه‌ی کوه سبزکوه قرار گرفته است. سازند زاگون با سنگ شناسی شیل‌های میکادار به رنگ ارغوانی دارای میان لایه‌های نازکی از ماسه‌سنگ قرمز می‌باشد که در اطراف کانسار دهمعدن بر روی سازند باروت قرار می‌گیرد و توسط سازند لالون پوشانده شده است و هر سه در محدوده‌ی سنی کامبرین زیرین قرار دارند. در کانسار دره یاس به احتمال زیاد بخش عمده‌ی کانه‌زایی در ارتباط با این واحد باشد. سازند لالون به سن کامبرین زیرین با ترکیب سنگ‌شناسی شیل، ماسه‌سنگ قرمز تا سبز همراه با میکا بر روی دو واحد مذکور قرار گرفته است و در هر دو منطقه‌ی مورد مطالعه دارای رخنمون می‌باشد (شکل d2). از واحدهای زمین‌شناسی مهم در این کانسار می‌توان به رسوبات ماسه‌سنگی، شیل و کربنات‌های عمدتاً دولومیتی یا میان لایه‌های شیل (همگی در محدوده‌ی سنی کامبرین) که آثار رسوبات قرمز نیز، در همگی آنها قابل مشاهده می‌باشد، اشاره داشت. گاه‌آثار مواد آلی و بی‌تومین نیز، در این رسوبات نمایان است. با توجه به مشاهدات صحرائی احتمالاً رسوبات لایه‌ای دولومیت-شیلی سازند باروت در کانسار دهمعدن نقشه سنگ میزبان را دارد، زیرا عمده کانه‌زایی این کانسار

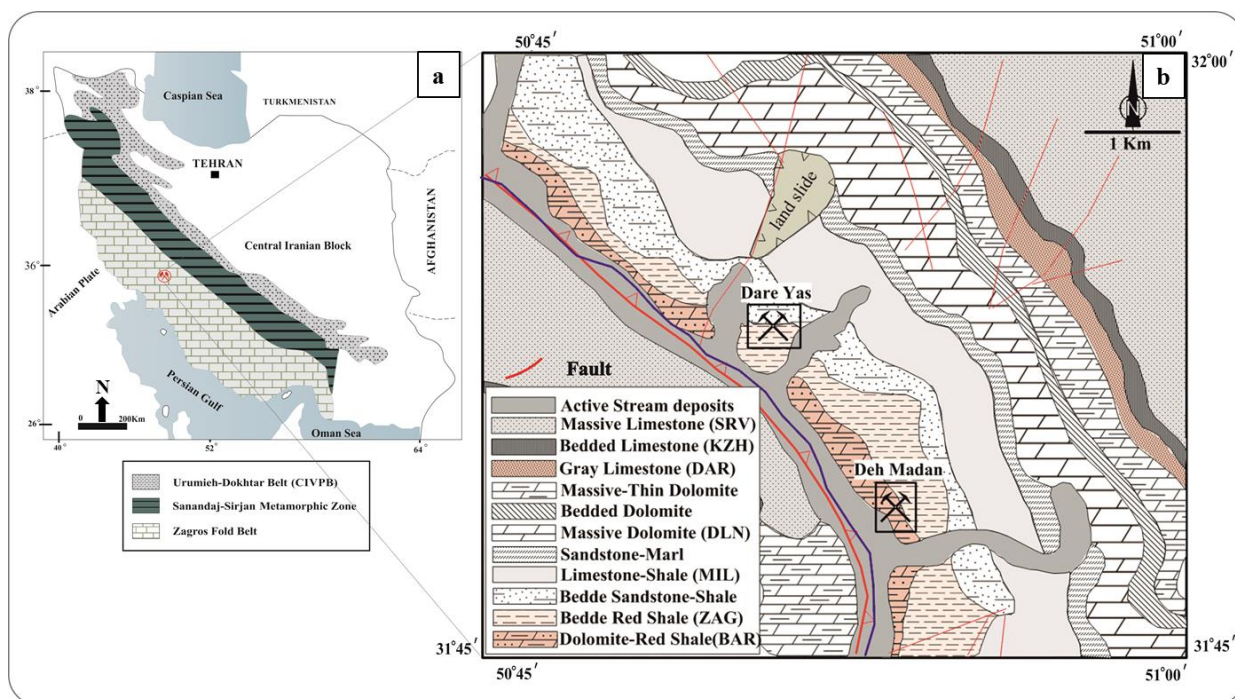
حوضه‌های رسوبی، ناشی می‌شود (Bornhorst et al., 2013; Taylor et al., 2013). تغییرات pH و Eh، تاثیر فعالیت‌های باکتریایی و حضور مواد آلی در انحلال، جابجایی و ته‌نشست مواد فلزی به ویژه مس و کبالت همراه با تاثیر فعالیت‌های گرمایی، در تشکیل و ذخیره این دسته کانسارها اهمیت دارند (Ohmoto, 1986; Zhao et al., 2013). به نظر می‌رسد نوع سنگ میزبان، نوع سنگ‌بستر، سیستم تکتونیکی-مورفولوژیکی و شرایط دیاژنزی از مهم‌ترین فاکتورهای موثر در نحوه تشکیل این دسته کانسارها، می‌باشد. خاستگاه زمین‌شناسی مشخص، اساس تقسیم‌بندی ژنتیکی آنهاست. تعداد کمی از این ذخایر در محیط‌های کشتی شامل حوضه‌های تراکشتی و درون کوهستانی و برخی درون مرزهای حوضه‌های کشتی درون کراتونی و در نهشته‌های مولاس یافت می‌شوند (Cox and Burnstein, 1986; Bornhorst et al., 2013). حوضه‌های ریفتی درون قاره‌ای که در مدارهای ۲۰ تا ۳۰ درجه استوایی تشکیل شده‌اند، از ایده‌آل‌ترین جایگاه‌های تشکیل ذخایر مس استراتی باند با سنگ میزبان رسوبی می‌باشند، زیرا این حوضه‌ها حاوی مجموعه‌ی ضخیمی از لایه‌ی قرمز که در آب و هوای گرم و خشک تشکیل شده‌اند، هستند که همچنین تبخیری‌ها را نیز در بردارند (Kirkham, 1989; Nowecki, 2014). همچنین ذخایر مس رسوبی، بر اساس سنگ میزبان به سه گروه: ۱- کانسنگ‌های مجاور با ماسه سنگ‌های آواری درشت دانه بیشتر به رنگ خاکستری مانند کوروکورو در بولیوی، ۲- کانسنگ‌های مجاور با شیل‌های آهکی مانند کوپرشیف و مانسفلد آلمان، ۳- کانسنگ‌های مجاور با کربنات‌ها یا سیست‌های دولومیتی مانند کاتانگا در زئیر، تقسیم‌بندی می‌شوند (Ahankoub, 2009). کانسارهای دهمعدن و دره‌یاس، در منطقه‌ی اردل، استان چهارمحال و بختیاری و در زون ساختاری زاگرس مرتفع واقع شده‌اند. مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد که کانسارهای مذکور در ارتباط با واحدهای رسوبی عمدتاً شیل، دولومیت و ماسه سنگی، هستند. از دیگر عوارض زمین‌شناختی موثر بر کانسارهای دره یاس و ده معدن، وجود گنبد‌های نمکی و فعالیت‌های مربوط به آنها، می‌باشد. شباهت کانسارهای مورد مطالعه (بویژه دهمعدن)، از لحاظ کانی شناسی، به کانسارهای مس استراتیفرم کمربند آفریقای مرکزی، بیشتر می‌باشد. این کانسارها به دو گروه عمده زامبیا و ذخایر نوع کونگو تقسیم می‌شود (Cailteux et al., 2005). در هر دو نوع ذخیره زامبیا و کونگو، غالب ماده معدنی دارای واحدهای شیل- کربنات و مواد تبخیری می‌باشد. تمامی این واحدها توسط سنگ‌های رسوبی سیلیکات قاره‌ای که تحت شرایط اکسیدی، محیط گرم و خشک تا نیمه خشک ته نشین شده‌اند، پوشانده می‌شود. این ویژگی جبهه‌ی اکسیدی/احیایی را بوجود می‌آورد، ضمن اینکه، نشانه‌هایی دال بر تاثیر پذیری از واحدهای ماگمایی، در آنها دیده نمی‌شود (Cailteux et al., 2005).

### زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

کوهزایی زاگرس به‌عنوان بخشی از سلسله کوه‌های آلپ- هیمالیا، با طول تقریبی ۲۰۰۰ کیلومتر و عرض ۱۰۰ تا ۳۰۰ متر، مشخص می‌گردد (Alavi, 1994). این کمربند کوهزایی محصول همگرایی بین صفحات اوراسیا و آفریقا- عربی می‌باشد، کوهزایی زاگرس از اواخر کرتاسه شروع، در ائوسن ادامه و در میوسن (نتوزن) برخورد صورت پذیرفته است (Alavi, 1994). کمربند کوهزایی-فلز زایی زاگرس ترکیبی از سه زون تکتونیکی با روند شمال غرب- جنوب شرق است که شامل: زون چین خورده-رورانده زاگرس در سمت جنوب غرب، زون سنندج-سیرجان در وسط و کمان ارومیه-دختر در سمت شمال

دره یاس با دهمعدن عدم وجود رخنمون مناسب و کافی از رسوبات دولومیتی-شیلی قرمز رنگ مربوط به سازند باروت که در دهمعدن احتمالاً تأثیر بسزایی در کانه‌زایی داشته است، می‌باشد و از این رو احتمالاً می‌توان قابلیت اقتصادی پایین‌تر این بخش از منطقه‌ی مورد مطالعه را، در رابطه با عدم وجود این واحد جستجو کرد.

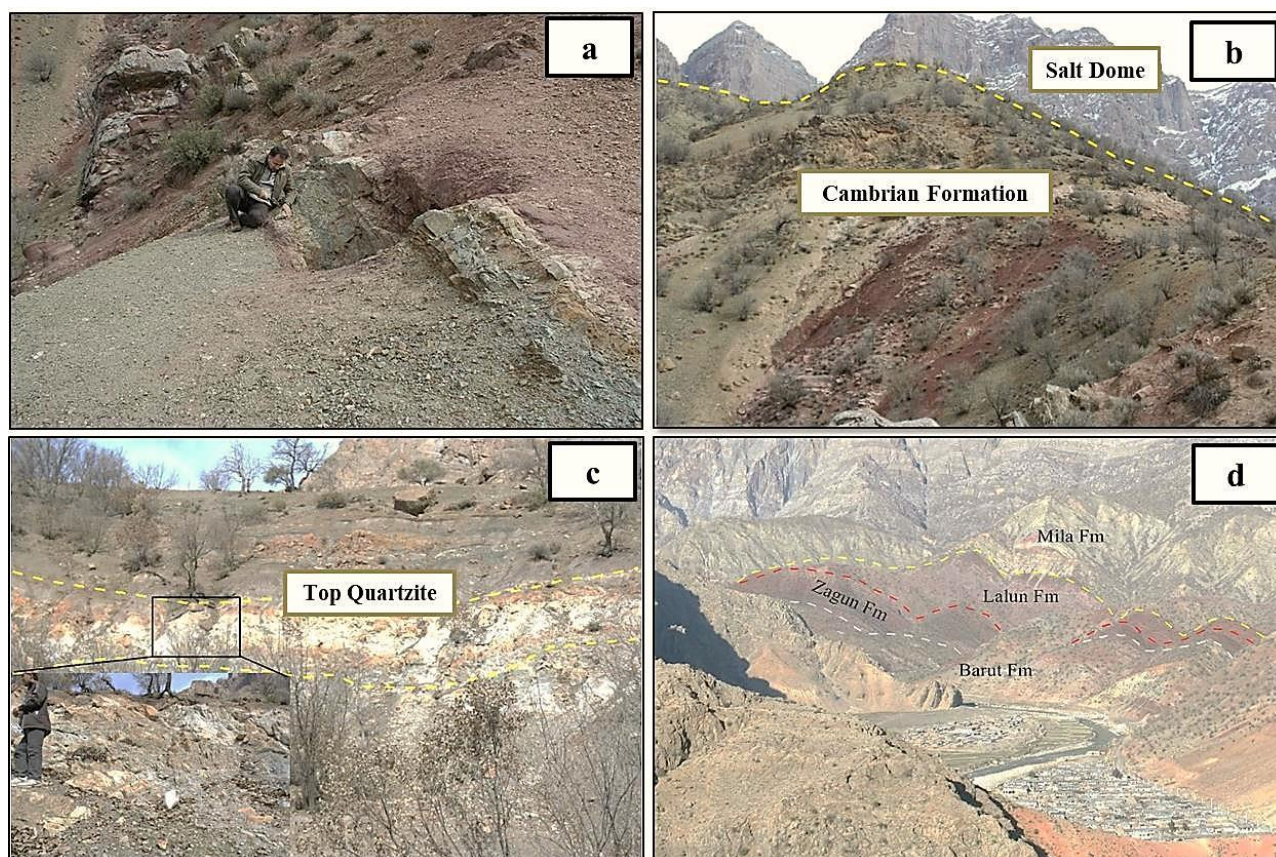
بصورت آثار حضور کانی‌های ثانویه‌ی مس در نمونه‌های دستی و رخنون‌های صحرایی در این بخش از کانسار قابل مشاهده است. کانسار دره یاس با فاصله‌ی تقریبی ۲ کیلومتر در شمال غرب دهمعدن واقع شده است (شکل ۱b) و با توجه به بررسی‌های صحرایی قابلیت کانه‌زایی این بخش نسبت به کانسار دهمعدن پایین‌تر است. از لحاظ زمین‌شناسی این کانسار نیز با واحدهای رسوبی ماسه‌سنگی، دولومیتی و شیلی کامبرین در ارتباط می‌باشد. عمده تفاوت



شکل ۱- (a) موقعیت واحدهای ساختاری اصلی ایران (اصلاح شده از Zarasvandi et al., 2008) بر اساس داده‌های (Alavi, 2004) و موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و (b) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (ساده شده از Bakhshi Kermani et al., 1996).

Fig. 1. (a) Location of main structural units of Iran (modified after Zarasvandi et al., 2008) Based on data (Alavi, 2004) and location of study area in Iran, and (b) Geological map of the study area (Simplified from Bakhshi Kermani et al., 1996).





شکل ۲- (a) نمایی از سازند باروت و دهانه‌ی معدن قدیمی، (b) نمایی از گنبد نمکی دوآب و رسوبات کامبرین (دید به سمت جنوب)، (c) نمایی از سازند لالون و لایه‌ی تاپ کوارتزیت آن و (d) تصویر توالی‌های رسوبات کامبرین در منطقه‌ی مورد مطالعه (دید به سمت شمال).

Fig. 2. (a) A view of the Barut Formation and the opening of the old mine, (b) A view of the Do-ab salt dome and the Cambrian sediments (south view), (c) A view of the Lalun Formation and its layer of quartzite top, and (d) Image of the Cambrian sediments sequences in the study area (north view).

### کانی شناسی

مهم‌ترین کانی‌هایی که در واحدهای سنگی مرتبط با کانسارهای ده معدن و دره یاس توسط مطالعات میکروسکوپی شناسایی شدند، عبارتند از دولومیت، کوارتز و مقادیر کمی فلدسپات و علاوه بر این‌ها، کانی‌های رسی و سیلیتی نیز در ترکیب کانی‌شناسی واحدهای رسوبی منطقه، دیده شدند. عمده کانی سیلیکاته در کانسارهای ده معدن و دره یاس را کانی‌های کوارتز تشکیل می‌دهند (شکل‌های ۳c، a و d). کانی‌های کوارتز در واحدهای رسوبی به دو صورت رگه‌ای و دانه ریز پراکنده دیده می‌شوند و در برخی واحدها به عنوان کانی اصلی و در برخی نقش سیمان سیلیسی را بر عهده دارند. مهم‌ترین کانی کربناته‌ی سنگ‌های رسوبی کانسارهای مورد نظر را دولومیت و مقادیر کمتری کلسیت تشکیل می‌دهد (شکل‌های ۳b و d). بر اساس اندازه‌ی دانه‌ها، دو نوع دولومیت (دولومیکرایت و دولومیکرواسپارایت) دیده شد که دولومیکرواسپارایت، از تجدید تبلور یافتن دولومیکرایت تشکیل شده است. عقیده بر این است که نوع نخست، اولیه بوده و نوع دوم بر اثر جانشینی اپی-ژنتیک یا دیاژنتیک در سنگ‌آهک تشکیل شده است. در این گونه دولومیت‌های ثانویه، بافت و ساخت اولیه از بین رفته است، ولی می‌توان شواهد و آثار اولیه اوولیت‌ها و فسیل‌ها را به صورت سایه‌های کم‌رنگ در اطراف دانه‌ها مشاهده

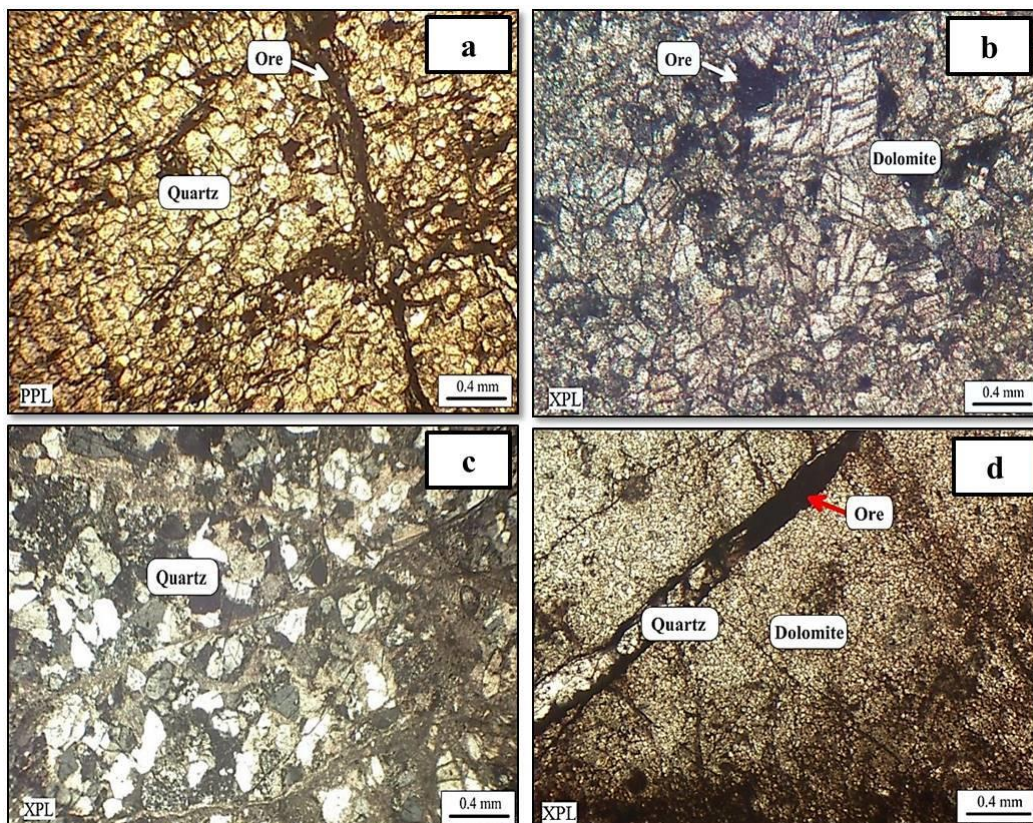
### روش کار

در بررسی‌های صحرایی و بازدیدهای زمین‌شناسی، ۱۲ نمونه از کانسارهای مورد مطالعه، برداشت شد. پس از بررسی‌های اولیه تعداد ۱۱ نمونه به منظور مطالعات کانی‌شناسی و ۱۰ نمونه جهت مطالعه کانه‌نگاری انتخاب گردید. مقاطع میکروسکوپی و صیقلی در کارگاه مقطع‌گیری دانشگاه شهید چمران اهواز تهیه شد. همچنین تعداد ۱۲ نمونه به منظور تعیین غلظت عناصر و مطالعات زمین‌شیمیایی برای انجام آنالیز ICP-MS انتخاب گردید. عمل خردایش و تهیه‌ی پودر سنگ به منظور انجام آنالیزهای زمین‌شیمیایی در آزمایشگاه زمین‌شیمی دانشگاه شهید چمران اهواز و با استفاده از هاون‌های چینی و دستگاه آسیاب کاربید تنگستن انجام گردید. قبل از تهیه‌ی هر نمونه پودر، به منظور جلوگیری از تأثیرات مرتبط با آلودگی‌های دستگاهی، وسایل مورد استفاده کاملاً با آب مقطر شستشو می‌شدند. در نهایت هر نمونه به صورت بسته‌های ۱۰۰ گرمی پودر سنگ به شرکت زرآما برای انجام آنالیز ICP-MS فرستاده شد و میزان ۱۰۰ گرم نیز در دانشگاه شهید چمران اهواز بایگانی گردید. حد آشکار سازی برای عناصر اصلی ۰/۱ ppm و برای عناصر کمیاب و نادر خاکی ۰/۰۲ ppm می‌باشد.



موجب تشکیل لوزی‌های دولومیتی پراکنده در یک زمینه کلسیتی تغییر نیافته، می‌گردد.

کرد و در بعضی نمونه‌ها، دانه‌های پراکنده کوارتز تخریبی، شاهدی بر ماهیت آواری سنگ‌اولیه است. باز بلورش کامل، موجب تشکیل دولومیت‌های بلورین دانه‌ریز تا متوسط موزاییکی می‌شود، به گونه‌ای که در آن بسیاری از بلورهای دولومیتی شده به صورت خوش وجه، ظاهر می‌شوند. دولومیتی شدن ناقص،



شکل ۳- (a) تصویر میکروسکوپی کانی‌های دانه ریز کوارتز همراه با کانه‌زایی رگه‌ای، (b) تصویر میکروسکوپی کانی‌های لوزی شکل دولومیت همراه با کانه‌های فلزی اپک، (c) بلورهای درشت کوارتز با رگه‌های کربناته و (d) تصویر میکروسکوپی کانی‌های دانه ریز دولومیت همراه با رگه‌ی کوارتز و ماده معدنی.

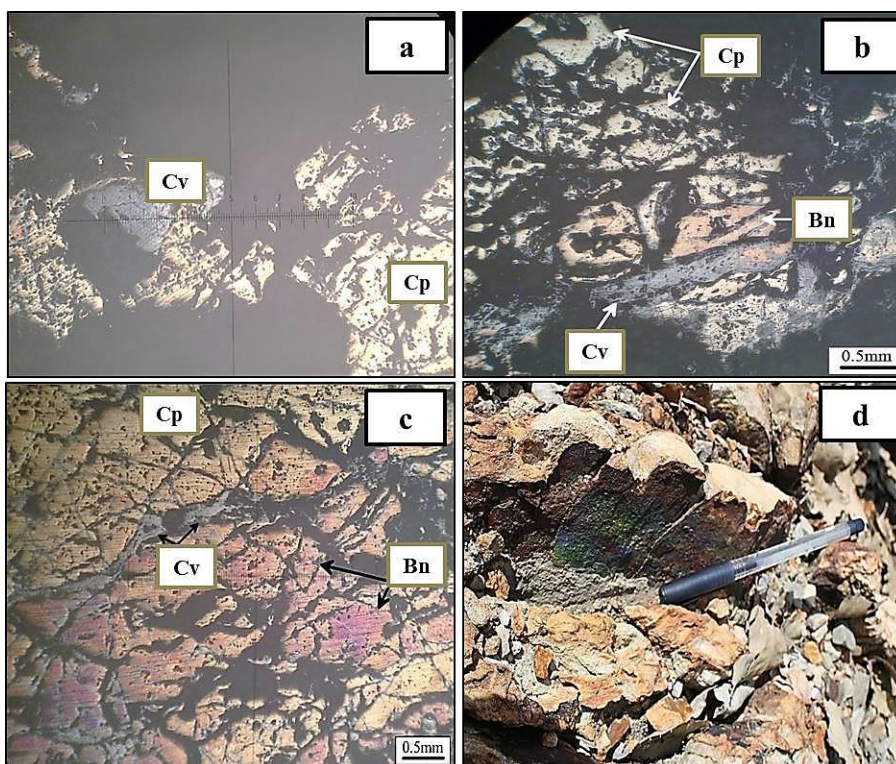
Fig. 3. (a) Microscopic image of quartz fine-grained minerals with vein mineralization, (b) Microscopic image of rhombus shape minerals Dolomite with opaque metal ores, (c) Coarse crystals of quartz with carbonate veins, and (d) Microscopic image of Dolomite fine-grained minerals with quartz vein and ore.

## کانه‌نگاری

عمده کانه‌های برون‌زاد در منطقه عبارتند از ملاکیت (شکل ۸۵)، کالکوسیت (شکل ۸۵)، آزوریت (شکل ۸۵)، و کوولیت. کانه‌ی کوولیت در اثر دگرسانی کانه‌های اولیه‌ی مس بوجود آمده است و بصورت هاله و رگه‌ای در اطراف این کانه‌ها به رنگ آبی دیده می‌شود. کالکوسیت دیگر کانه‌ی ثانویه‌ی سولفید مس است که به صورت پراکنده و به رنگ خاکستری مایل به آبی کم رنگ در مقاطع صیقلی دیده می‌شود. آثار دندریتی منگنز (شکل ۸۵) و همچنین نشانه‌هایی از کانه‌زایی روی نیز، در مناطق مورد مطالعه وجود دارد. از کانه‌های اکسید آهن در منطقه‌ی دره‌یاس و ده‌معدن، می‌توان به وجود هماتیت، لیمونیت و گوتیت اشاره داشت که به ترتیب در رنگ‌های قرمز آجری تا قهوه‌ای، زرد کم‌رنگ تا لیمویی و قرمز در بخش بالایی واحدهای کانه‌دار دیده می‌شوند و بیانگر تأثیر هوازدگی و فعالیت آب‌های جوی موجود در اطراف کانسارها هستند (شکل ۸۵).

به طور کلی، در محدوده‌ی مورد مطالعه، عمده کانه‌زایی در کانسار ده‌معدن متمرکز شده است که این کانه‌زایی، بیشترین ارتباط را با واحدهای کربناته-شیلی (شکل ۸۶) نشان می‌دهد. از مهم‌ترین تفاوت‌های سنگ‌شناسی و کانه‌زایی دو کانسار، وجود مواد آلی و احیاء کننده، همچنین رخداد دگرسانی برون‌زاد و هوازدگی در بخش‌های سطحی کانسار ده‌معدن می‌باشد (شکل ۸۶). در حالیکه در کانسار دره‌یاس، واحد اصلی میزبان کانه‌زایی، واحدهای ماسه سنگی-شیلی هستند که میزان مواد آلی در آنها، فراوانی کمتری را نشان می‌دهد.

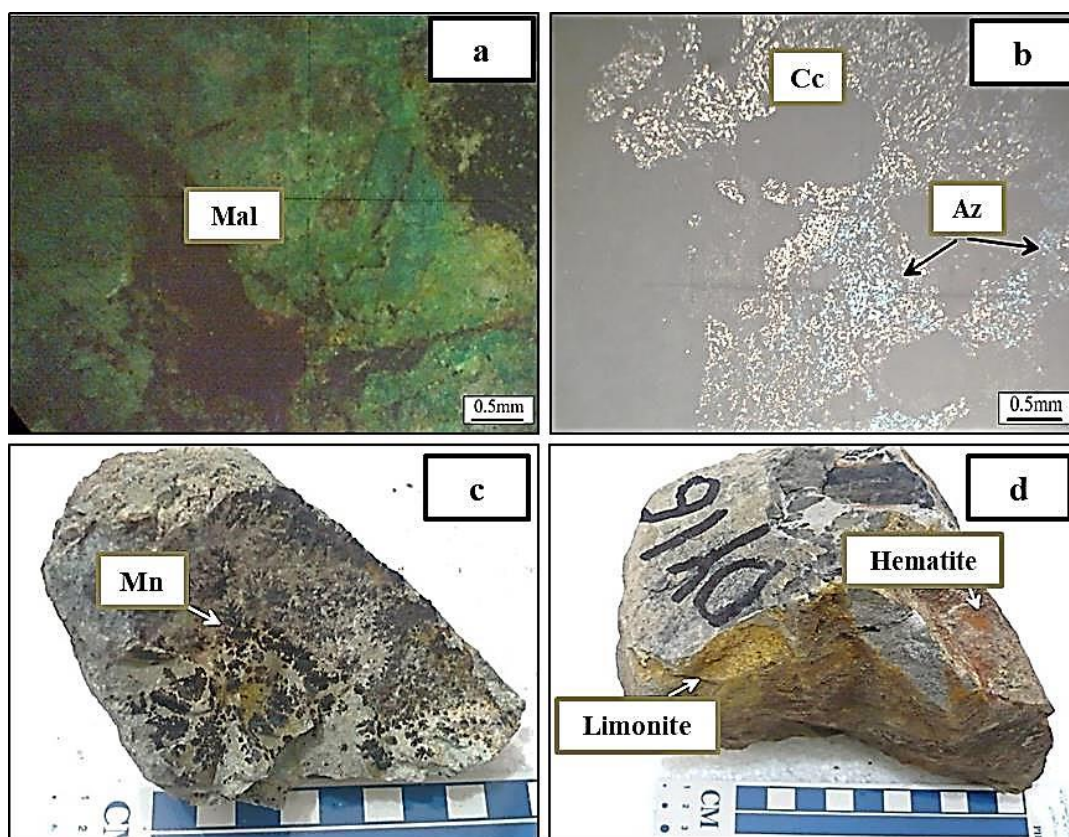
کانه‌های اولیه همچون کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و کانه‌های ثانویه همانند ملاکیت، آزوریت، کاکوسیت، کوولیت، هماتیت و لیمونیت می‌باشند. وجود کانه‌های ثانویه بیانگر تأثیر هوازدگی و دگرسانی برون‌زاد، در منطقه است. از دیگر کانه‌هایی که در این دو کانسار قابل شناسایی هستند، عبارتند از اسفالریت، گالن و آثار دندریتی منگنز. با توجه به مشاهدات صحرایی، مطالعات میکروسکوپی و کانی‌شناسی، نمونه‌های موجود در کانسار ده‌معدن، نسبت به کانسار دره‌یاس آثار کانه‌زایی بیشتری را نشان می‌دهند. کانه‌زایی به دو صورت پراکنده و رگه‌ای در ارتباط با واحدهای رسوبی کربناته-شیلی سازند باروت در ده‌معدن و واحدهای رسوبی شیلی قرمز رنگ زاگون در دره‌یاس می‌باشند. کالکوپیریت به عنوان کانه‌ی سولفیدی مس اولیه و به رنگ زرد متمایل به سبز، در نمونه‌های مربوط به کانسار ده‌معدن به صورت عمدتاً پراکنده، دیده می‌شود و در اثر فعالیت‌های برون‌زاد و هوازدگی در بخش‌های اکسیدی به کانه‌های ثانویه همانند کوولیت تبدیل شده است. این کانه را همراه با بورنیت و کوولیت مهم‌ترین کانه‌ی مس در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌توان معرفی کرد (شکل ۸۴- a-c). بورنیت دومین کانه‌ی سولفیدی و درون‌زاد مس است که در منطقه و مقاطع صیقلی به صورت کانه‌های نارنجی تا صورتی رنگ دیده می‌شود که در اثر تماس با هوا به سرعت تغییر رنگ داده و رنگ بنفش تیره تا ارغوانی و آبی را نشان می‌دهد (شکل ۸۴- b-d). بورنیت همانند کالکوپیریت، در اثر فعالیت‌های برون‌زاد به کانه‌های ثانویه‌ی مس همانند کوولیت تبدیل می‌شود. پیریت نیز با رنگ زرد طلایی در نمونه‌های دستی و مقاطع صیقلی، آثار کمی از آن وجود دارد که احتمالاً به علت رخداد دگرسانی برون‌زاد و هوازدگی، به کانه‌های ثانویه همچون کالکوسیت و کانه‌های اکسید آهن تبدیل شده است.



شکل ۴- (a-c) تصاویر میکروسکوپی کانه‌های درون‌زاد (Cp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت) و کانه برون‌زاد (Cv: کوولیت) سولفید مس و (d) نمونه‌ی دستی از کانه‌ی درون‌زاد (بورنیت) که در معرض هوا تغییر رنگ داده است.

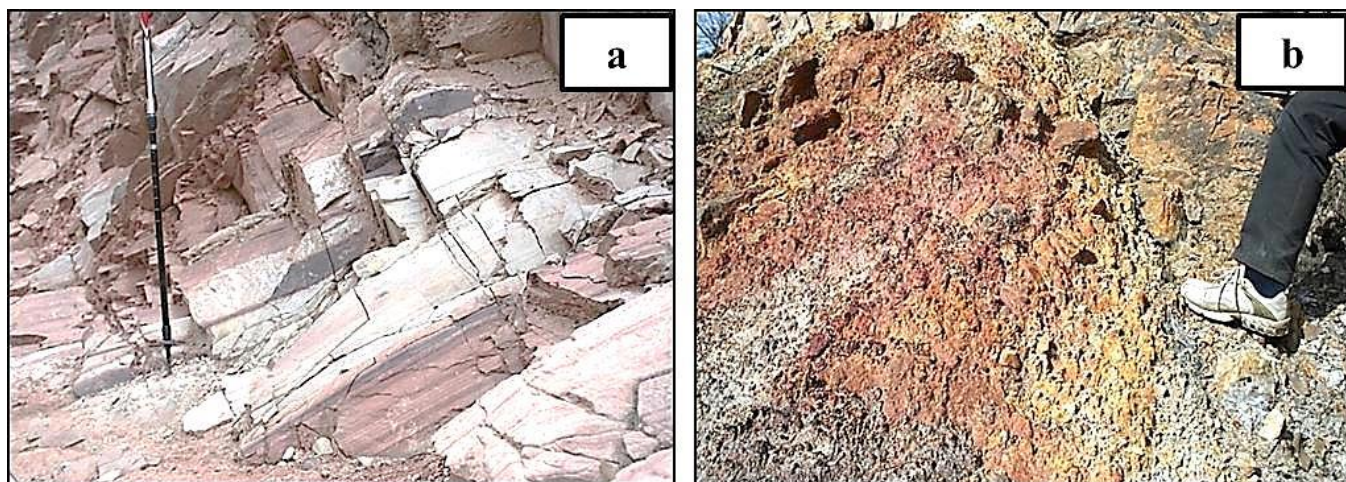
Fig. 4. (a-c) Microscopic images of hypogene ores (Cp: Chalcopyrite, Bn: Bornite) and supergene ore (Cv: Covellite) copper sulfide, and (d) hand specimen of hypogene ore (Bornite) which has changed color when exposed to air.





شکل ۵- (a-b) کانه‌های ثانویه مس (Mal: ملاکیت، Cc: کالکوسیت، Az: آزوریت)، (c) آثار دندریتی کانه‌زایی منگنز (Mn: منگنز) و (d) کانه‌های اکسید آهن.

Fig. 5. (a-b) Secondary ores of copper (Mal: Malachite, Cc: Chalcocite, Az: Azorite), (c) Dendritic effects of Manganese mineralization (Mn: Manganese), and (d) Iron oxide ores.



شکل ۶- (a) نمایی از واحدهای کربناته-شیلی حاوی مواد آلی که نقش سنگ‌میزبان را در کانسار دهمعدن را دارند و (b) نمایی از کانه‌های اکسید آهن که تاثیر هوازدگی در کانسار دهمعدن را نشان می‌دهند.

Fig. 6. (a) A view of carbonate-shale units containing organic matter that plays the role of host rock in the Dehmadan ore deposit, and (b) A view of the iron oxide ores that show the effect of weathering in the Dehmadan ore deposit.

## زمین‌شیمی

تأثیرات متاسوماتیزم مربوط به سیستم‌های کانه‌زایی مس استراتی‌باند با میزان رسوبی، می‌تواند بر پایه‌ی ترکیب عناصر اصلی سنگ‌های اطراف و کانه-دار، ثبت شود ( Hayes, 1990; Sutton and Maynard, 2005; Nowecki, 2014). در مطالعات زمین‌شیمی، توجه به عناصر اصلی و رابطه‌ی آنها با یکدیگر، یکی از روش‌های مناسب در شناسایی و تقسیم بندی واحدهای سنگی درگیر، در تشکیل ذخایر معدنی می‌باشد. محاسبه کاربرد عناصر اصلی در مطالعه واحدهای رسوبی، بررسی روند هوازگی و تعیین میزان آن، می‌باشد. مهم‌ترین اکسیدهای عناصر اصلی که برای این منظور از آنها استفاده می‌شود، عبارتند از:  $\text{CaO}$ ،  $\text{K}_2\text{O}$ ،  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ، زیرا این عناصر در رسوبات و فرآیندهای هوازگی، بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند. CIA یا شاخص شیمیایی دگرسانی، معیاری است برای تعیین میزان هوازگی شیمیایی رسوبات که از رابطه‌ی  $\text{CIA} = [\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})]$  محاسبه می‌شود (Nesbitt and Young, 1982). با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۱، به عناصر اصلی که در رابطه با ذخایر با میزان رسوبی و ذخایر مرتبط با فرآیندهای گرمایی کاربرد زیادی دارند، می‌توان به Al و Si اشاره داشت. با استفاده از نمودار دو متغیره تغییرات Si در برابر Al (Toth, 1980)، ذخایر گرمایی از رسوبی قابل تفکیک هستند. بر پایه‌ی این نمودار، غالب نمونه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در محدوده‌ی ذخایر رسوبی و تعداد اندکی از نمونه‌ها به ویژه نمونه‌های کانسار دره‌یاس در محدوده‌ی گرمایی قرار می‌گیرند (شکل a۷).

نمودار  $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$  نیز، به منظور بررسی میزان هوازگی در ارتباط با رسوبات مورد استفاده قرار می‌گیرد، (شکل b۷)

(Nesbitt and Young, 1989). در این نمودار روندهای موازی با محور سمت رأس  $\text{Al}_2\text{O}_3-(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})$  بیانگر هوازگی مرحله‌ی اول و هرچه نمونه‌ها به سمت رأس  $\text{Al}_2\text{O}_3$  تمایل داشته باشند، نشان دهنده‌ی هوازگی پیشرفته است (Rollinson, 1996). با توجه به این نمودار، نمونه‌های کانسار ده معدن هوازگی شیمیایی را نشان می‌دهند، در حالیکه نمونه‌های دره‌یاس دارای آثار کمتری از هوازگی می‌باشند (شکل b۷). در کل می‌توان بیان داشت که تأثیر هوازگی شیمیایی در کانسار ده معدن نسبت به دره‌یاس، بیشتر بوده است.

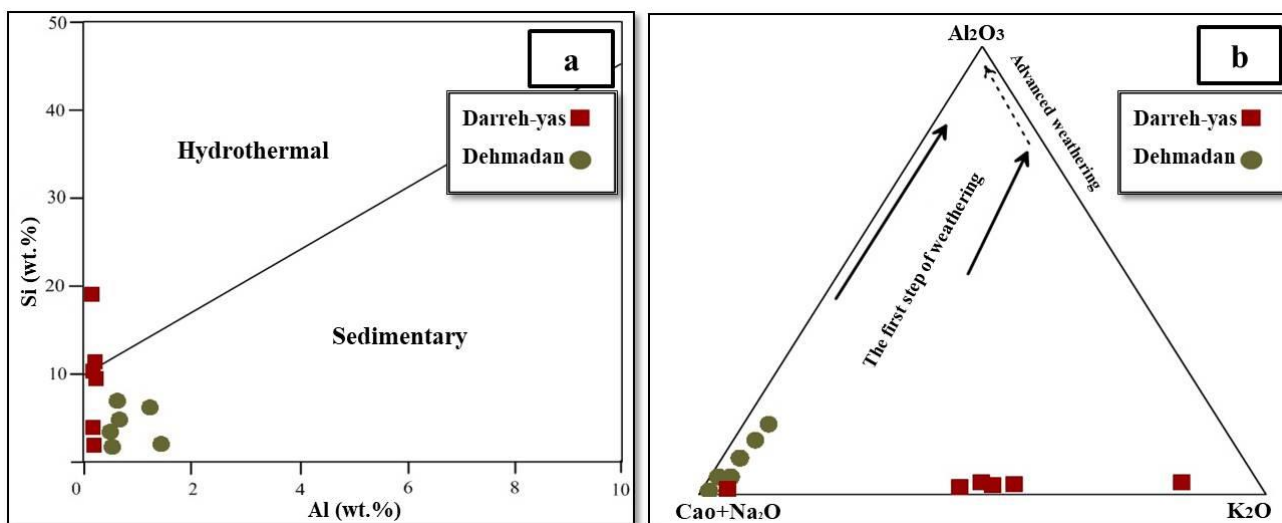
از نمودارهای دو متغیره عناصر فرعی، در تعیین میزان اختلاط رسوبات، می‌توان به نمودار Sc در برابر Th/Sc (Condie and Wronkiewicz, 1990) (شکل a۸) و Sc/Th در مقابل Cr/Th (McLennan and Taylor, 1991) (شکل b۸)، اشاره کرد که جهت تعیین منشأ اولیه‌ی رسوبات به کار می‌رود. از آنجاییکه Th و La، شاخص منشأهای آذرین فلسیک و Sc و Cr آذرین مافیک هستند، وجود همبستگی خطی در این نمودارها، بیانگر اختلاط بین منشأهای مختلف، در تشکیل این رسوبات می‌باشد (Norman and De Deckker, 1990). با توجه به این نمودارها، واحدهای رسوبی ده معدن و دره‌یاس، از اختلاط مواد آذرین فلسیک و مافیک تشکیل شده‌اند که این اختلاط برای رسوبات دره‌یاس بیشتر است. محیط تکتونیکی نیز، یکی از عوامل مؤثر در تشکیل این نوع از ذخایر می‌باشد، به‌طوری‌که این ذخایر در محیط‌های تکتونیکی مختلف، اعم از مناطق کافتی، کراتون‌های درون قاره‌ای و مناطق مرتبط با فرورانش، یافت می‌شوند (Hitzman et al., 2010; Taylor et al., 2013; Nowecki, 2014). براساس نمودارهایی که بر پایه‌ی عناصر فرعی و همچنین عناصر اصلی ترسیم شده‌اند، نمونه‌های محدوده‌ی مورد مطالعه غالباً موقعیت حواشی قاره‌ای فعال را نشان می‌دهند (شکل a۹ و b).

جدول ۱- نتایج آنالیز ICP-MS کانسارهای دره یاس (DY) و ده معدن (DM)، عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی (wt%) و عناصر فرعی و نادر خاکی بر حسب (ppm).

Table 1. The results of ICP-MS analysis of the Darreh-Yas (DY) and the Dehmadan (DM) ore deposits, Major elements based on percentage by weight (wt.%) and Trace and Rare earth Elements based on (ppm).

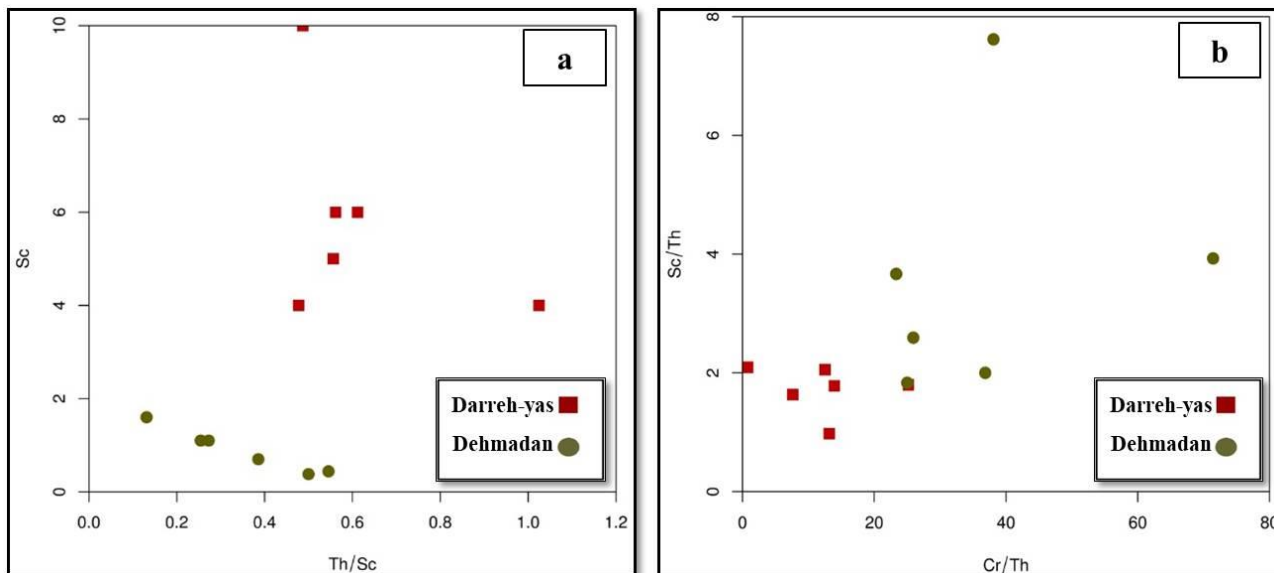
Sample Elements	Dy-3	Dy-5	Dy-11	Dy-13	Dy-15	Dy-17	Dm-1	Dm-3	Dm-4	Dm-6	Dm-10	Dm-11
(wt.%)												
SiO <sub>2</sub>	11.01	20.15	4.37	2.46	11.84	12.30	1.50	6.98	6.20	5.30	4.01	2.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.03	0.04	0.05	0.05	0.05	0.04	0.54	0.63	1.21	0.61	0.50	1.40
CaO	4.70	2.15	5.75	5.78	10.43	0.02	56.29	11.72	70.60	73.88	53.85	72.15
Na <sub>2</sub> O	33.61	17.05	3.56	72.09	55.02	25.20	1.21	1.14	0.22	0.46	0.20	0.22
K <sub>2</sub> O	40.30	22.65	53.50	0.01	0.01	24.92	1.43	0.52	0.79	0.61	0.47	0.78
CIA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.02
(ppm)												
Ag	0.03	0.04	0.04	0.03	0.09	0.04	1.20	61.20	0.1	17.80	0.80	0.1
Cr	28.00	70.00	61.00	54.00	47.00	1.50	7.25	6.00	7.00	7.50	8.3	20.00
Co	7.90	0.60	11.10	3.30	0.80	7.80	195.80	36.50	137.80	20.60	187.60	137.10
Hf	0.60	1.06	1.41	1.05	1.26	0.36	0.80	0.79	0.79	0.82	0.76	0.81
In	0.06	0.01	0.03	0.02	0.02	0.05	0.25	1.22	0.30	0.40	1.68	0.24
Nb	2.70	4.20	7.30	4.30	5.90	1.30	0.90	0.50	0.37	0.98	0.66	0.39
S	877.00	1630.00	48.00	3010.00	3420.00	74.00	4115.00	89757.00	175.00	2098.00	16264.00	160.00
Sc	6.00	5.00	10.00	4.00	6.00	4.00	0.70	0.44	1.10	0.38	1.60	1.10
Sn	0.90	1.30	1.20	1.20	1.60	0.50	0.60	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60
Th	3.67	2.78	4.78	4.10	3.37	1.91	0.27	0.24	0.30	0.19	0.21	0.28
U	0.34	2.21	0.91	1.33	2.61	0.55	2.50	0.30	1.00	0.80	1.60	0.90
V	34.00	40.00	15.00	27.00	52.00	14.00	5.00	10.00	6.00	4.00	6.00	6.00
Mo	0.40	1.40	0.30	1.30	2.30	0.40	2.97	203.60	12.25	5.09	44.73	9.38
Cu	42.70	26.50	11.40	10.90	16.90	15.90	28537.0	317210.0	2010.00	18473.00	40189.00	1927.00
Zn	19.60	5.20	19.10	6.60	6.10	27.70	2686.00	993.00	192.00	51.00	2862.00	200.00
Ni	20.00	4.00	28.00	8.00	5.00	22.00	24.00	6.00	46.00	9.00	20.00	56.00
La	44.30	38.70	25.20	17.00	117.00	8.79	2.00	0.80	3.00	3.00	2.00	3.00
Ce	94.70	51.00	40.90	31.70	129.00	21.50	3.00	1.00	9.00	10.00	5.00	8.00
Pr	11.40	5.09	3.47	3.20	10.90	2.85	0.82	0.48	1.60	1.70	1.16	1.55
Nd	43.60	17.60	9.60	11.30	31.90	14.40	2.10	<0.5	6.50	6.80	4.30	6.20
Sm	7.63	2.65	1.32	1.79	3.58	4.66	0.71	0.21	1.97	1.66	1.32	1.87
Eu	1.32	0.52	0.25	0.39	0.78	1.17	0.08	0.04	0.44	0.23	0.15	0.41
Gd	4.72	2.96	1.84	1.98	5.73	4.67	0.55	0.03	2.21	1.74	1.36	2.09
Dy	1.78	1.88	1.58	1.64	2.21	3.38	<0.05	<0.05	2.22	0.50	0.73	2.06
Er	1.00	1.07	1.03	1.03	1.25	1.49	0.46	0.08	1.73	0.53	0.76	1.65
Tm	0.13	0.17	0.15	0.17	0.21	0.19	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Yb	0.72	1.03	1.03	0.96	1.24	0.99	0.10	<0.05	0.60	0.05	0.20	0.60
Lu	0.13	0.22	0.30	0.20	0.29	0.18	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ΣREE	211.85	123.22	86.92	71.66	304.51	65.01	9.98	2.64	29.66	26.42	17.23	27.81
Ce/Ce*	0.97	0.84	1.01	0.99	0.83	0.99	0.55	0.38	0.94	1.02	0.76	0.86
Eu/Eu*	1.04	0.87	0.75	0.97	0.81	1.18	0.60	2.45	0.99	0.64	0.53	0.98
Pr/Pr*	1.05	1.00	1.03	1.00	1.00	0.96	1.92	0.00	1.24	1.21	1.48	1.29





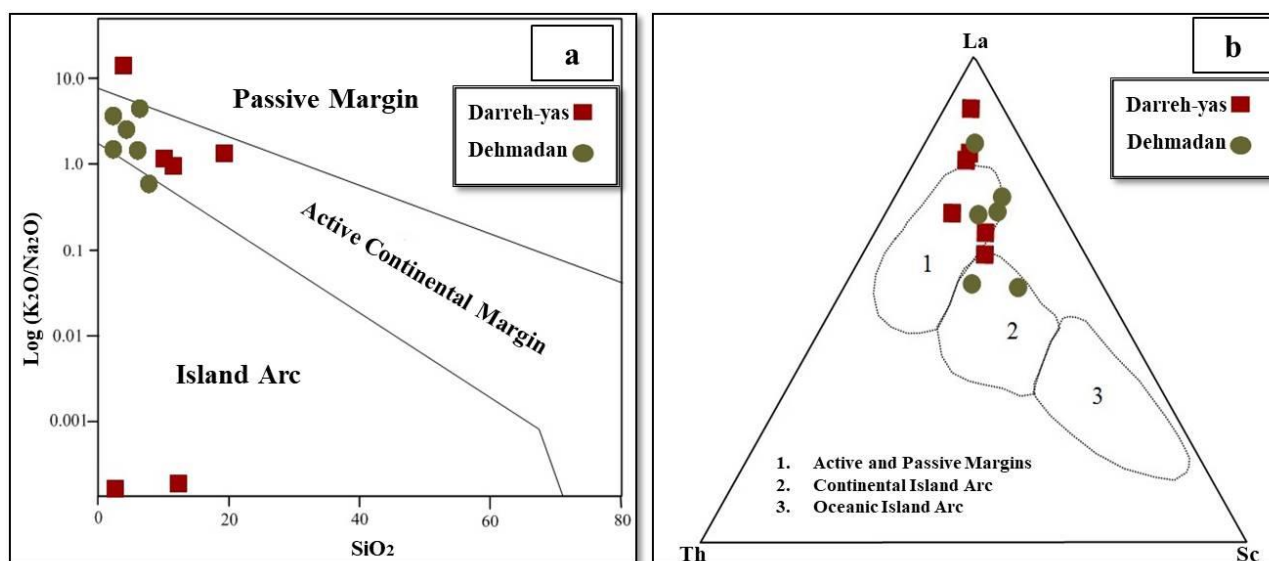
شکل ۷- (a) نمودار تغییرات میزان Si در برابر Al (Toth, 1980)، که بیانگر رسوبی بودن کانسارهای مورد مطالعه می‌باشد، (b) روند هوازدگی در نمودار  $(CaO+Na_2O)-Al_2O_3-K_2O$  ساده شده از (Nesbitt and Young, 1989).

Fig. 7. (a) Variation diagram of Si value vs. Al (Toth, 1980), which indicates the study ore deposits are sedimentary, and (b) Weathering process in diagram of  $(CaO + Na_2O)-Al_2O_3-K_2O$  Simplified from (Nesbitt and Young, 1989).



شکل ۸- (a) نمودار Sc در مقابل Th/Sc، (b) Sc/Th در برابر Cr/Th که تاثیر اختلاط سنگ‌های آذرین مافیک و فلسیک در تشکیل رسوبات منطقه است.

Fig. 8. (a) Sc vs. Th/Sc, (b) Sc/Th vs. Cr/Th which is the effect of mixing mafic and felsic igneous rocks on the formation of regional sediments.



شکل ۹- تعیین محیط تکتونیکی محدوده‌ی مورد مطالعه بر اساس (a) نمودارهای  $\log (K_2O/Na_2O)$  در برابر  $SiO_2$  (Roser and Korsch, 1986)، (b) La-Th-Sc (Bhatia and Crook, 1986).

Fig. 9. Determination of the tectonic setting of the study area based on (a)  $\log (K_2O/Na_2O)$  vs.  $SiO_2$  (Roser and Korsch, 1986), and (b) La-Th-Sc diagrams (Bhatia and Crook, 1986).

وجود  $Eu_n/(Sm_n \times Gd_n)^{1/2}$  محاسبه گردید. ناهنجاری مثبت  $Eu$ ، بیانگر وجود شرایط احيایی و فوگاسیته‌ی پایین اکسیژن در محیط می‌باشد. با توجه به شکل ۱۱ b و جدول ۱، برخی نمونه‌ها به‌ویژه در کانسار دهمعدن، ناهنجاری منفی  $Eu$  را نشان می‌دهند (میانگین ۰/۹۸) که مبین وجود شرایط نسبتاً اکسیدی در هنگام تکامل کانسار می‌باشد.

یکی از مواردی که در زایش برخی از کانسارهای مس‌رسوبی نقش بسزایی را ایفا می‌کند، فعالیت‌های باکتریایی است که با احيای سولفات‌های فلزی سبب ته‌نشست آنها می‌گردد (مانند کانسارهای کمر بند مس آفریقای مرکزی؛ Cailteux et al., 2005). عامل ارگانیکی دیگری که در تشکیل این ذخایر می‌توان به آنها اشاره کرد، وجود مواد آلی در رسوبات میزبان است. مواد آلی با ایجاد شرایط احيایی در فرایند ته‌نشست سولفیدهای مس موثر می‌باشند (Taylor et al., 2013; Nowecki, 2014). به‌منظور بررسی میزان تأثیر فعالیت‌های باکتریایی در ذخایر رسوبی-گرمابی، از نمودارهای (a۱۲) و (b) استفاده شد که نشان دهنده رفتار، ته‌پاشی و غنی‌شدگی عناصری همچون  $Mn$ ،  $As$ ،  $Ba$ ،  $Sr$ ،  $Co$  و  $Ce$  می‌باشند، فرآیندهای میکروبی و باکتریایی در جدایش انتخابی عناصر فوق و رفتارشان، در طول تشکیل کانسار موثر می‌باشند (Zarasvandi et al., 2013). با توجه به این مورد و شکل‌های (a۱۲) و (b) نمونه‌های کانسارهای مورد مطالعه آثار چندان مشخصی از وجود فعالیت‌های باکتریایی را نشان نمی‌دهند.

بطور کلی، الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با رسوبات پس از آرکئن استرالیا (PAAS) در کانسار دهمعدن، غنی‌شدگی HREE نسبت به LREE، تحذب رو به بالا در MREE و ناهنجاری منفی  $Ce$  و  $Eu$  را نشان می‌دهد. در حالیکه الگوی REE دره‌یاس بیانگر غنی‌شدگی LREE و تقعر رو به بالا در MREE می‌باشد. نکته‌ی قابل توجه این است که روند بسیار مشابهی بین الگوی عناصر نادر خاکی کانسار دهمعدن با کانسار Nchanga در کمر بند

### زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی (REE)

با توجه به اینکه نمونه‌های مورد مطالعه، ترکیبی از رسوبات کربناته، شیل و ماسه‌سنگی می‌باشند، به منظور بررسی دقیق زمین‌شیمی عناصر نادر خاکی، از نمودار بهنجار شده‌ی REEها بر اساس استاندارد میانگین سنگ‌های رسوبی پس از آرکئن استرالیا (PAAS) (McLennan, 1989)، استفاده شد (شکل ۱۰a). همچنین نمودار مقادیر بهنجار شده عناصر نادر خاکی بر اساس استاندارد کندریت (Boynnton, 1984) نیز، ترسیم گردید (شکل ۱۰b). طبق این نمودارها، نمونه‌های مربوط به منطقه‌ی دره‌یاس در مقایسه با دهمعدن، درجه‌ی تفکیک و جدایش بیشتری را برای REEها نشان می‌دهند، بطوریکه میزان نسبت‌های  $(La/Y)_n$  و  $(Ce/Yb)_n$  به ترتیب برای دره‌یاس (۲۷/۴۷ و ۱۶/۳۶) و برای دهمعدن (۶/۷۴ و ۵/۳۸) می‌باشند. ضمن اینکه، غنی‌شدگی LREEها نسبت به HREEها در ذخایر با احتمال مشارکت فرآیندهای گرمابی، امکان تأثیر این فرآیندها در زایش را نشان می‌دهد (Hongo and Nozaki, 2001; Zarasvandi et al., 2013; Nowecki, 2014). بر همین اساس می‌توان ادعا داشت که در منطقه‌ی مورد مطالعه، فرآیندهای گرمابی با تأثیری هرچند ضعیف، در تمرکز عناصر سولفیدی، به‌ویژه کانسار دره‌یاس مداخله داشته‌اند.

عناصر  $Ce$ ، از رابطه‌ی  $Ce_n/(La_n \times Pr_n)^{1/2}$  جهت تعیین ناهنجاری  $Ce$  استفاده شد. Bau و Dulski (۱۹۹۶) بیان داشته‌اند که تفسیر این ناهنجاری در رسوبات دریایی، در اثر ناهنجاری‌های احتمالی فراوانی  $La$  خواهد بود، از این رو نمودار  $Ce/Ce^*$  در مقابل  $Pr/Pr^*$  معرفی ترسیم گردید. ناهنجاری منفی  $Ce$  در نمونه‌ها به‌ویژه کانسار دهمعدن، همراه با غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)، می‌تواند بیانگر منشاء دریایی برای واحدهای کربناته‌ی منطقه باشد (شکل‌های ۱۱ a)، (Webb and Kamber, 2000; Shields and Webb, 2004). ناهنجاری  $Eu$  بر اساس معادله‌ی

آوری کانسار، از فرسایش واحدهای قدیمی تر و قاره‌ای ناشی شده است که می‌تواند منشاء فلزات کانسارهای منطقه باشند.

۹- الگوی عناصر نادر خاکی (REE) کانسار دهمعدن شباهت بسیار زیادی با کانساری از کمربند مس استراتی-فرم آفریقای مرکزی دارد، به‌طوریکه HREEها نسبت به LREEها غنی‌شدگی نشان می‌دهند و MREEها نیز تحذب رو به بالا دارند.

۱۰- الگوی REEها همراه با ناهنجاری منفی Eu، ته نشست دولومیت‌ها از آب دریا در شرایط اکسیدان که برای حمل و انتقال فلزات مناسب هستند، سازگاری دارد.

۱۱- وجود ناهنجاری منفی Ce که بیانگر شرایط احیایی در منطقه دهمعدن می باشد، را می‌توان به وجود مواد آلی و نقش آنها در ایجاد محیط احیایی و در نتیجه ته‌نشست فلزات بطور همزمان با رسوب‌گذاری، نسبت داد.

۱۲- دیاگرام‌های V/Cr در مقابل Ni/Co، V/(V+Ni) در برابر Ni/Co و Mo/Ni/Co در مقابل Ni/Co، همگی بیانگر شرایط اکسیدی در ارتباط با رسوبات منطقه مورد مطالعه، هستند.

۱۳- در نهایت کانسارهای دهمعدن و دره‌یاس را با توجه به کانی‌شناسی سنگ‌میزبان، کانه‌نگاری فلزات، و داده‌های زمین‌شیمی می‌توان جزء ذخایر مس‌رسوبی از نوع کمربند مس آفریقای مرکزی دانست.

مس آفریقای مرکزی وجود دارد که جزء ذخایر نوع زامبیا به حساب می‌آید (شکل ۱۳) (Roberts et al., 2009). در کانسار Nchangan نمونه‌های ماده معدنی ویژگی تغییر یافته، اما مشابه آب دریا را نشان می‌دهند، در حالیکه الگوی REE غنی‌شدگی MREE و توسعه‌ی ناهنجاری منفی Eu، بیانگر این است که دولومیت در نمونه‌های با کانه‌زایی مس-کبالت از شوراها‌های حوضه‌ای ته‌نشین می‌شود و تحت تاثیر واکنش‌های قابل توجه سیال-سنگ قرار می‌گیرد (Roberts et al., 2009).

از نسبت Ni/Co نیز، به عنوان شاخصی جهت بررسی شرایط اکسیداسیون-احیا استفاده می‌شود (Jones and Manning, 1994). مقادیر پایین‌تر از ۵ نسبت Ni/Co را، شاخصی از محیط اکسیدی و هم‌چنین مقادیر بالاتر از ۵ را نشانه‌ای از محیط نیمه احیایی تا احیایی معرفی کرده‌اند (Jones and Manning, 1994). براین اساس، تمامی نمونه‌های مناطق مورد مطالعه با نسبت Ni/Co کمتر از ۵، شرایط رسوبی نیمه‌اکسیدی را نشان می‌دهند. ترکیب نسبت‌های Ni/Co، V/Cr، V/(V+Ni)، دیگر پارامترهایی می‌باشند که در تفسیر محیط‌های رسوبی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Jones and Manning, 1994; Rimmer, 2004). همچنین استفاده از نمودار Mo در مقابل Ni/Co که در تعیین شرایط اکسایش-کاهش قدیمی توسط Rimmer (2004) به کار گرفته شده است، محیط اکسیدی را برای نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل های ۱۴ a-c).

### نتیجه گیری

۱- بررسی‌های زمین‌شناسی بیانگر وجود رسوبات عمدتاً کربناته با ترکیب دولومیتی تا دولومیت-شیلی به عنوان میزبان کانه‌زایی، در کانسارهای دهمعدن و دره‌یاس می‌باشد.

۲- کانی‌شناسی سنگ‌میزبان، بیانگر وجود کانی‌های دولومیت، کوارتز و کانی‌های رسی به عنوان کانی‌های غالب می‌باشد که دولومیت‌های منطقه عمدتاً از نوع دولومیکرایت و دولومیکروسپاریت هستند.

۳- وجود کانی‌های دولومیت نوع زین اسیبی، بیانگر وجود یک شرایط تدفینی در رابطه با تحولات مربوط به رسوب‌گذاری و تشکیل دولومیت در کانسارهای مورد مطالعه، به‌ویژه دهمعدن، می‌باشد.

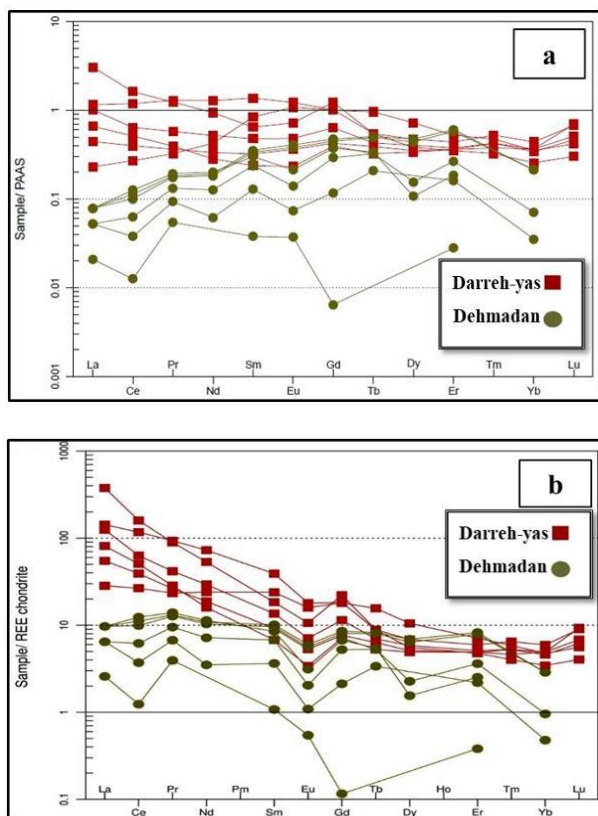
۴- کانه‌نگاری ماده‌معدنی در منطقه، بیانگر وجود کانه‌زایی در دو مرحله است و شامل کانه‌زایی اولیه با کانه‌های سولفیدی مس همچون کالکوپیریت، بورنیت به عنوان سولفیدهای غالب و کانه‌زایی ثانویه با کانه‌های کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن می‌باشد.

۵- فراوانی کانه‌های ثانویه در دهمعدن، به مراتب بیشتر از دره‌یاس می‌باشد که بیانگر تاثیر دگرسانی برون‌زاد و هوازدگی در این بخش بوده که باعث افزایش توان اقتصادی آن نیز گردیده است.

۶- وجود آثاری از مواد آلی همچون بیتومین‌ها در کانسار دهمعدن، همراه با واحدهای شیلی دیگر، تفاوت بین دو کانسار مورد مطالعه است. این عامل می‌تواند با نقش احیای‌کنندگی خود، تاثیر مهمی در ته‌نشست سولفیدها و افزایش باروری کانسار دهمعدن داشته باشد.

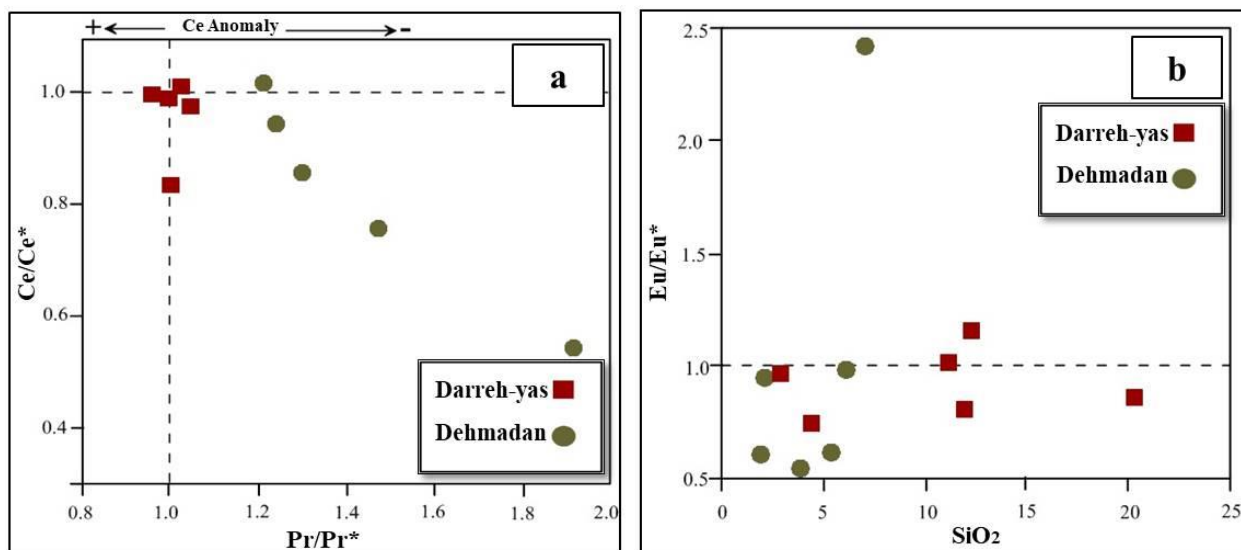
۷- وجود گنبد‌های نمکی، گسل و شکستگی‌ها در محدوده‌ی کانسارهای دهمعدن و دره‌یاس، از دیگر عوامل مهم در تحولات مربوط به تشکیل سیالات، حمل و انتقال مواد فلزی و سولفیدی به محل رسوب‌گذاری می‌باشند.

۸- بر پایه‌ی داده‌های زمین‌شیمی، کانسارهای مذکور در محدوده‌ی حواشی فعال قاره‌ای مرتبط با تحولات کوهزایی زاگرس قرار می‌گیرند و مواد



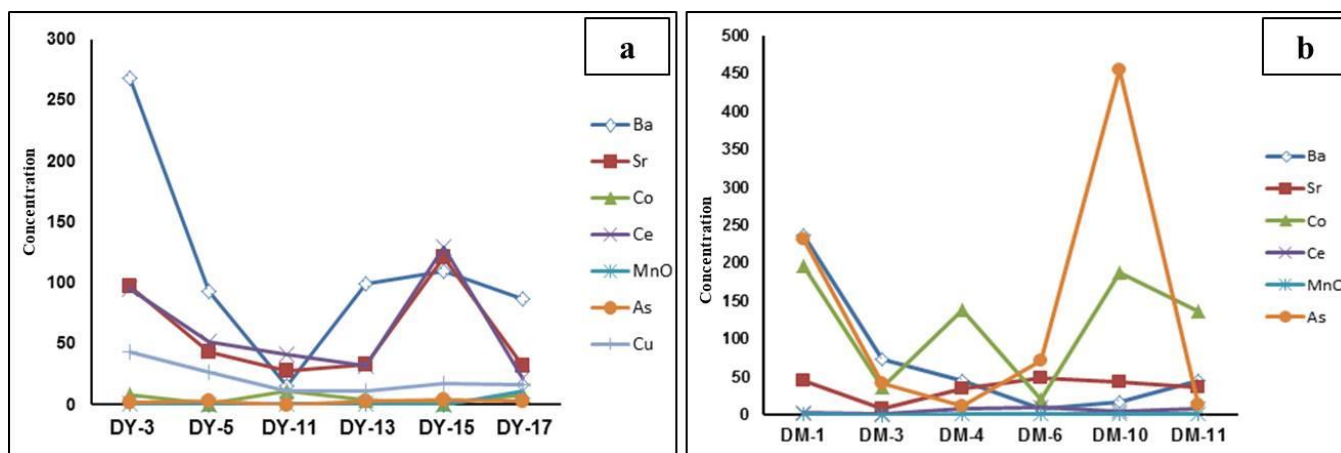
شکل ۱۰- الگوی عناصر نادر خاکی بهنجار شده با (a) میانگین رسوبات پس آرکن استرالیا (PAAS) (McLennan, 1989) و (b) کندریت (Boynton, 1984).  
Fig. 10. The pattern of normalized Rare Earth Elements with (a) Post-Archean Australian shale averages (PAAS) (McLennan, 1989), and (b) Chondrite (Boynton, 1984).





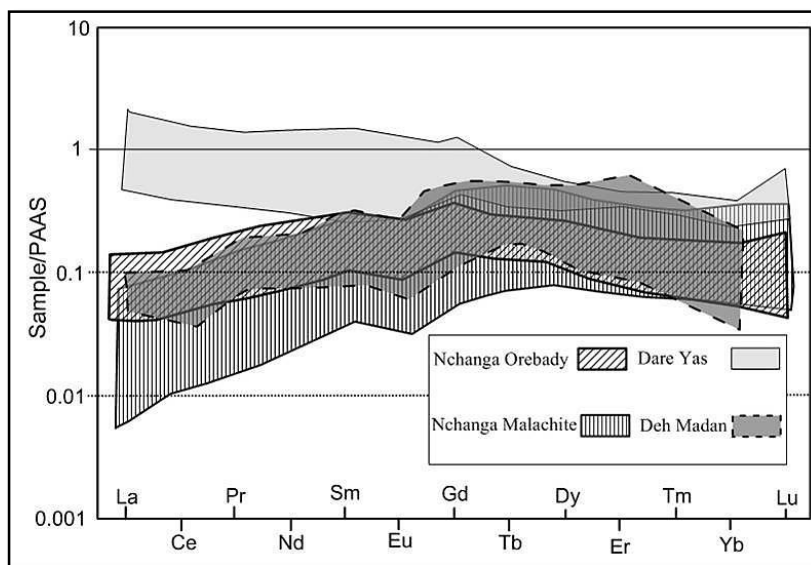
شکل ۱۱- (a) نمودار  $Ce/Ce^*$  در برابر  $Pr/Pr^*$  (Bau and Dulski, 1996) که بیانگر وجود ناهنجاری منفی  $Ce$  و  $Eu$  در نمونه‌های محدودی مورد مطالعه به‌ویژه کانسار دهمعدن می‌باشد، (b) نمودار  $Eu/Eu^*$  در برابر  $SiO_2$  (Richards et al., 2012).

Fig. 11. (a) Diagram of  $Ce/Ce^*$  versus  $Pr/Pr^*$  (Bau and Dulski, 1996) showing the negative  $Eu$  and  $Ce$  anomalies in the samples of studied area, especially the Dehmadan ore deposit, and (b) Diagram of  $Eu/Eu^*$  vs.  $SiO_2$  (Richards et al., 2012).

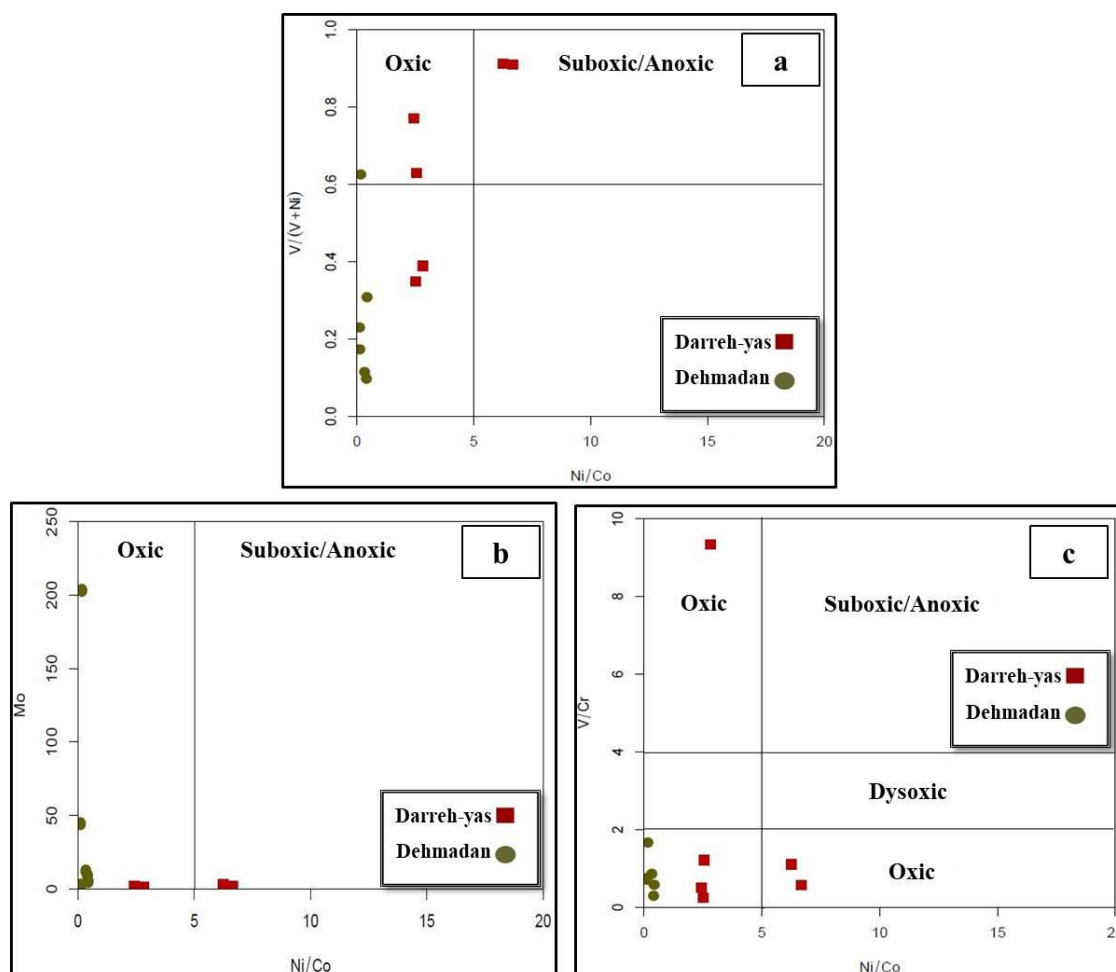


شکل ۱۲- عدم وجود رفتار مشابه در الگوی عناصر بیولوژیک که بیانگر فعالیت میکروبی و باکتریایی کم در کانسارهای، (a) دره‌یاس و (b) دهمعدن می‌باشد (Zarasvandi et al., 2013).

Fig. 12. Absence of similar behavior in the pattern of bioessential elements indicating low microbial and bacterial activity in the deposits, (a) The Darreh-Yas, and (b) The Dehmadan (Zarasvandi et al., 2013).



شکل ۱۳- مقایسه‌ی الگوی عناصر نادر خاکی (REE) کانسارهای دهمعدن و دره‌یاس با کانسار Nchangan در کمربند مس آفریقای مرکزی (Roberts et al., 2009).  
 Fig. 13. Comparison of the Rare Earth Element (REE) pattern of the Dehmadan and Darreh-yas ore deposits with the Nchangan ore deposit in the Central African Copper Belt (Roberts et al., 2009).



شکل ۱۴- نمودارهای (a)  $V/(V+Ni)$  در برابر  $Ni/Co$ ، (b)  $Mo$  در برابر  $Ni/Co$  و (c)  $V/Cr$  در برابر  $Ni/Co$  که همگی بیانگر محیطی غالباً اکسیدی برای نمونه‌ها هستند.  
 Fig. 14. Diagrams of (a)  $V/(V+Ni)$  vs.  $Ni/Co$ , (b)  $Mo$  vs.  $Ni/Co$ , and (c)  $V/Cr$  vs.  $Ni/Co$ , all of which represent an often oxidized environment for the sample.

- Ahankoub, M., 2009. Petrological and Geochemical investigation of Naghān Copper Ore Deposit (Ardal), Research Project. Payame Noor University of Shahrekord, p. 113.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics* 229, 211–238.
- Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its pro foreland evolution. *American Journal of Science* 304, 1–20.
- Alavi, M., 2007. Structure of the Zagros Fold-Thrust Belt in Iran. *American Journal of Science* 307, 1064–1095.
- Bau, M., Dulski, P., 1996. Distribution of yttrium and rare-earth elements in the Penge and Kuruman iron-formations, Transvaal Supergroup, South Africa. *Precambrian Research* 79, 37–55.
- Bhatia, M.R., Crook, K.A.M., 1986. Trace element characteristics of graywackes and tectonic discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92, 181–193.
- Bornhorst, T.J., Williams, W.C., 2013. The Mesoproterozoic Copperwood sedimentary rock-hosted stratiform copper deposit, Upper Peninsula, Michigan. *Economic Geology* 108, 1325–1346.
- Boynton, W.V., 1984. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, P. Rare Earth Element geochemistry. (Ed.). Elsevier, Amsterdam, pp. 114.
- Cailteux, J.L.H., Kampunzu, A.B., Lerouge, C., Kaputo, A.K., Milesi, J.P., 2005. Genesis of sediment-hosted stratiform copper-cobalt deposits, central African Copper belt. *Journal of African Earth Sciences* 42, 134–158.
- Condie, K.C., Wronkiewicz, D.S., 1990. The Ce/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of cratonic evolution. *Earth and Planetary Science Letters* 97, 256–267.
- Cox, D.P., Bernstein, L.R., 1986. Descriptive model of Kipushi Cu-Pb-Zn, Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, 227.
- Ehsan Bakhshi Kermani, M.H., Rahimzadeh, F., Qomishi, A., Jamshidi, K.H., 1996. Map 1: 100000 Ardal, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Ghorbani, M., 2007. Economic Geology of Mineral Deposits and Natural Resources of Iran, 1<sup>st</sup> edition, Arian Zamin Publishers, p. 492.
- Hayes, T.S., 1990. A preliminary study of thermometry and metal sources of the Spar Lake stratabound copper-silver deposit, Belt Supergroup, Montana, U.S. Geological Survey 90-484, p. 30.
- Hitzman, M., Kirkham, R., Broughton, D., Thorson, J., Selley, D., 2005. The sediment hosted stratiform copper ore system. *Economic Geology*, 609–642.
- Hitzman, M.W., Selley, D., Bull, S., 2010. Formation of sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits through Earth history. *Economic Geology* 105, 627–639.
- Hongo, Y., Nozaki, Y., 2001. Rare earth element geochemistry of hydrothermal deposits and Calyptogena shell from the Iheya Ridge vent field, Okinawa Trough. *Geochemical journal* 35, 347–354.
- Jones, B., Manning, D.C., 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleo-redox conditions in Ancient mudstones. *Chemical Geology* 111, 111–129.
- Kirkham, R.V., 1989. Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits. In: Boyle, R.W., Brown, A.C., Jefferson, C.W., Jowett, E.C., Kirkham, R.V. (Eds). Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geological Association of Canada, Special Paper 36, p. 3–38.
- McLennan, S.M., 1989. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes. Geochemistry and mineralogy of rare earth elements. *Review in Mineralogy* 21, 169–200.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution revisited: tectonic setting and secular trends. *The Journal of Geology* 99, 1–21.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites, *Nature* 299, 715–717.
- Nesbitt, H.W., Young, G.M., 1989. Formation and diagenesis of weathering profile, *The Journal of Geology* 97, 129–174.
- Norman, M.D., De Deckker, P., 1990. Trace elements in lacustrine and marine sediments: a case study from gulf of Carpentaria, northern Australia. *Chemical geology* 82, 299–318.
- Nowecki, J.P., 2014. Tracing seawater evaporation and its role in the formation of sediment-hosted stratiform copper deposits (Doctoral dissertation, University of Southampton).
- Ohmoto, H., 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits. In: Valley, J.W., Taylor, H.P., O'Neil, J.R. (Eds). Stable isotopes in high temperature geological processes. *Reviews in Mineralogy* 16.
- Pirajno, F., Mernagh, T.P., Huston, D., Creaser, R.A. and Seltnann, R., 2016. The Mesoproterozoic Abra polymetallic sedimentary rock-hosted mineral deposit, Edmund Basin, Western Australia. *Ore Geology Reviews* 76, 442–462.
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., Fletcher, T., 2012. High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu ± Mo ± Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology* 107, 295–332.
- Rimmer, S.M., 2004. Geochemical paleoredox indicators in the Devonian–Mississippian black shales, central Appalachian Basin (USA). *Chemical Geology* 206, 373–391.



- Roberts, S., Palmer, M.R., Cooper, M.J., Buchaus, P., Sargent, D., 2009. REE and Sr isotope characteristics of carbonate within the Cu-Co mineralized sedimentary sequence of the Nchanga Mine, Zambian Copper belt. *Mineralium Deposita* 44, 881–891.
- Rollinson, H., 1996. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific and Technical, John Wiley and Sons, New York.
- Roser, B.P., Korsch, R.J., 1986. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology* 67, 119-139.
- Shields, G.A., Webb, G.E., 2004. Has the REE composition of seawater changed over geological time? *Chemical Geology* 204, 103–107.
- Sutton, S.J., Maynard, J.B., 2005. A fluid mixing model for copper mineralization at Konkola North, Zambian Copper belt. *Journal of African Earth Sciences* 42, 95–118.
- Taylor, C.D., Causey, J.D., Denning, P.D., Hammarstrom, J.M., Hayes, T.S., Horton, J.D., Kirschbaum, M.J., Parks, H.L., Wilson, A.B., Wintzer, N.E., Zientek, M.L., 2013. Descriptive models, grade-tonnage relations, and databases for the assessment of sediment-hosted copper deposits-With emphasis on deposits in the Central African Copperbelt, Democratic Republic of the Congo and Zambia, U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report 2010–5090–J, 154.
- Toth, J.R., 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin* 91, p. 44– 54.
- Webb, G.E., Kamber, B.S., 2000. Rare earth elements in Holocene reefal microbialites; a new shallow seawater proxy, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 64, 1557–1565.
- Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza, E.J.M., Alizadeh, B., 2008. Karst bauxite occurrence in the Zagros Mountain Belt, Iran. *Ore Geology Reviews* 34, 521- 553.
- Zarasvandi, A., Lentz, D., Rezaei, M., Pourkaseb, H., 2013. Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences. *Geochemistry* 73, 495-508.
- Zhao, X.F., Zhou, M.F., Li, J.W. and Qi, L., 2013. Late Paleoproterozoic sedimentary rock-hosted stratiform copper deposits in South China: their possible link to the supercontinent cycle. *Mineralium Deposita* 48, 129-136.

