

Original Research Paper

# Geochemistry and genesis of the Tavousieh Soghan manganese deposit (southwest Kerman province)

Mirmohammad Miri<sup>1\*</sup>, Alireza Zarasvandi<sup>1</sup>, Mohsen Rezaei<sup>1</sup>, and Abouzar Faraji Deraznoei<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received: 2025 February 11

Accepted: 2025 April 08

Available online: 2025 July 22

### Keywords:

Manganese

Geochemistry

Tavousieh

Southern Sanandaj-Sirjan

Kerman

## ABSTRACT

The Tavousieh manganese deposit occurs in the Soghan region southwest of Kerman province. This region is a part of the southern Sanandaj-Sirjan zone, formed during the Mesozoic to Cenozoic subduction of the Neo-Tethys oceanic crust beneath the central Iranian subcontinent. This deposit occurs in the ophiolite mélangé radiolarite chert and is interbedded with pelagic limestones of Late Cretaceous. Petrographic and X-ray diffraction (XRD) studies show that the main Mn ores include pyrolusite, braunite, and todorokite with dispersed, colloform and cockade textures. The high contents of SiO<sub>2</sub> concerning Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, high Zn (96-410 ppm) content, and low Ni, Cu, and Co contents (95-646 ppm) of the studied samples reveal the influence of hydrothermal fluids in their formation. However, the REE distribution patterns indicate that hydrogenous processes also played a role in their occurrence, and accordingly, this deposit can be classified as hydrothermal-hydrogenous. By comparing the Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> and LaN/CeN ratios of the Tavousieh and Nasirabad Mn deposits, it can be concluded that they formed as a result of manganese deposition in the Neo-Tethys Ocean from the oceanic ridge toward the continental margin.

## 1. Introduction

Studies on the geochemical characteristics of manganese deposits, their distribution, and formation environments have shown that they have diverse origins based on mineralogy, chemical composition, and tectonic setting. Marine Mn deposits are classified as hydrogenous, diagenetic, hydrothermal, and biogenetic-bacterial deposits (Bolton et al., 1988; Hein et al., 1997; Oksuz, 2011; Polgári et al., 2012).

Extensive manganese and iron-manganese deposits of different


ages and geological settings have been reported in Iran. These deposits formed from the Late Precambrian-Early Cambrian to the Miocene-Pliocene and are of hydrothermal or volcanic-sedimentary (e.g. Maanijou et al., 2015, Zarasvandi et al., 2016a, b; Maghfouri et al., 2019). Subduction of the Neo-Tethys oceanic lithosphere beneath the central Iranian microplate began during the Mesozoic and ultimately led to the collision of the Arabian plate with Iran


\* Corresponding author: Mirmohammad Miri; E-mail: m.miri@scu.ac.ir

### Citation:

Miri, M.M., Zarasvandi, A.R., Rezaei, M., and Faraji Deraznoei, A., 2025. Geochemistry and genesis of the Tavousieh Soghan manganese deposit (southwest Kerman province). *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 35(2), 136, 21-36. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.505516.2180>.

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

 doi: 10.22071/gsj.2025.505516.2180

 dor: 20.1001.1.10237429.1404.35.2.2.5



This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

microplate in the Cenozoic and the formation of the Zagros orogeny belt (Berberian and King, 1981; Alavi, 1994). The Neo-Tethys associated ophiolites crop out along the Zagros orogeny and are characterized by the widespread occurrence of manganese-bearing deposits in association with radiolarian cherts, such as the Abband, Abadeh-Tashk, south Neyriz, Nasirabad, and Kamyaran manganese deposits (Zarasvandi et al., 2013). The Tavousieh Soghan deposit is located 160 km southeast of Baft County, in southern Kerman Province and the southwestern part of the Zagros thrust belt (Fig. 1). In this area, manganese deposits occur in the host rock of radiolarian cherts at a short distance from the Neyriz ophiolites. This deposit has not been investigated in terms of mineralogical and generative geochemical characteristics so far. The aim of this study is to use geochemical data and petrographic observations to determine the type of occurrence and mineralogical content of the Tavousieh manganese deposit.

The study area is located in the southeastern part of the Sanandaj-Sirjan structural zone (Fig. 1-a). The Sanandaj-Sirjan zone, with a length of about 1200 km and a width of about 100 km, was formed during the subduction of the Neo-Tethys oceanic crust beneath the central Iranian microplate in the Mesozoic (e.g. Stocklin, 1968; Alavi, 1994; Ghasemi and Talbot, 2006; Hassanzadeh and Wernicke, 2016). Based on the 1:100,000 geological maps of Dolatabad (Azizian et al., 2007) and Dehsard (Nazemzadeh et al., 2007), the study area generally has three distinct rock assemblages (Fig. 1-b). (1) Metabasic and meta-ultrabasic rocks of the Sanandaj-Sirjan zone with Triassic-Jurassic age, (2) a mixed-color *mélange* with Cretaceous to Cenozoic age including rocks of the ophiolitic sequence along with radiolarian cherts, pelagic limestones and volcanic rocks with basalt to andesite composition, (3) Paleocene flysch with shale sequences, tuffaceous sandstones and white and gray limestones. The mineralization occurs in radiolarian cherts that are interbedded with pelagic limestones (Figs. 2-a and b). Based on field observations and satellite maps, four major faults were identified in the study area, which have caused the displacement of limestone and manganese deposit relative to the main vein alignment.

## 2. Research Methodology

In order to investigate the geochemistry and mineralogy of the Tavousieh deposit, 50 mineral samples were collected during field operations within the deposit area. The thin-polished sections were studied using a polarizing microscope with reflected light. Then, the samples appropriate to the research aims were selected for the analyses. The major element oxides were determined by the XRF method in the Kansaran Binaloud Laboratory, Tehran using a Philips PW 1480 instrument. The values of trace and rare earth elements (REE) were also determined using an Agilent 735 ICP-MS instrument in the Zarazma laboratory. The results are represented in Table 1. Also, 2 samples were analyzed to determine the mineralogical content using the XRD method in the Zarazma Laboratory.

## 3. Results and discussions

### 3.1. Mineralogy

Microscopic observations of the thin-polished sections showed that pyrolusite is the most abundant Mn-ore in the studied deposit. Then, braunite, todorokite and hematite are other minerals present in the samples. Quartz and calcite minerals are also considered as gang mineral. Pyrolusite occurs in the form of diffuse (dispersed grain), colloform, micronodular and cockade textures in the samples (Fig. 4). Pyrolusites are generally seen as fine-grained occur with quartz (Figs. 4-a and b). They also surround quartz grains (Fig. 4c), which indicates the influence of delayed and exogenous processes in their occurrence (Karakus et al., 2010). Colloform texture (Figs. 4-d and e) occurs abundantly in the samples, indicating the formation in a low-energy sedimentary environment where manganese oxides and hydroxides have grown slowly. Manganese micronodules are also occur in the samples (Fig. 4-f), which, as the colloform texture, are indicative of low-energy sedimentary environments. In the cockade texture, the core section is made of braunite covered by pyrolusite (Fig. 4-g). Todorokite occurs in small amounts, which can be identified by its high anisotropy in XPL light (Fig. 4-i). This mineral occurs both as veinlets and fine grains scatters in the samples. The fine grain generation is probably the result of alteration of primary manganese oxides, but the veinlets were deposited from hydrothermal fluids (Jach and Dudek, 2005).

To ensure the mineralogical content, two samples were analyzed by the X-ray diffraction (XRD) analyses results (Fig. 4) show that the main-minerals of these samples include quartz and pyrolusite, and the minor minerals include brownite, fluoroapatite, chlorite, and clay minerals. Hematite and calcite are the main minerals in one sample and are considered minor minerals in the other sample. The results are in complete agreement with the microscopic mineralogy observations.

### 3.2. Geochemistry

The results of the geochemical analyses of the samples are presented in Tables 1 and 2. The presence of  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$  indicates the entry of materials of detrital origin into the deposit sedimentation basin (e.g., Shah and Khan, 1999; Polgári et al., 2012). The high content of  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  and  $K_2O$  is also a result of the presence of mafic materials of volcanic origin in this environment (Mohapatra et al., 2009). The Fig. 6 shows the correlation between elements of detrital and mafic origin with the manganese content of the Tavousieh deposit.

The REE normalized to the values of the Post-Archean Australian shale (Taylor and McLennan, 1985) are represented in Fig. 7. The patterns show a relative enrichment in light rare earth elements (LREE) over heavy rare earth elements (HREE) ( $LaN/YbN = 3.1 - 5.5$ ). The positive Eu anomalies ( $Eu/Eu^* = 1.03-1.3$ ) is due to their high Ba content (2700 to >10000 ppm) and does not indicate redox conditions of the hydrothermal fluid (Jewell and Stallard, 1991; Ehya, 2012). The high LREE/HREE ratios (3.4-4.9) indicate

initial enrichment during the manganese oxidation process (Xie et al., 2006). Enrichment in HREEs of manganese deposits can also occur through cationic adsorption of these elements from seawater (Fitzgerald and Gillis, 2006).

To determine the origin of manganese in the Tavousieh Soghan deposit, major and minor element discriminating diagrams were used. Hydrothermal iron-manganese deposits have a  $TiO_2$  concentration higher than 1 wt% (Ahmadi et al., 2019), while hydrothermal deposits have a low  $TiO_2$  concentration. The  $TiO_2$  values of the Tavousieh deposit samples vary from 0.03 to 0.09 wt%, which is consistent with a hydrothermal origin. The Mn/Fe ratio in hydrothermal deposits is about 1 (Nicholson et al., 1992) and is very high for hydrothermal and hydrothermal-hydrothermal mixtures (Jach and Dudek, 2005). The Mn/Fe ratio of the studied samples varies from 1.3 to 52 (average 11.81), which is close to hydrothermal and hydrothermal deposits.

The Si vs. Al diagram (Toth, 1980) shows a hydrothermal fluids source for Mn of the deposit (Fig. 7-a). The major element oxide diagram  $Fe_2O_3$ - $SiO_2$ -MnO also confirms the formation of the deposit by hydrothermal processes (Fig. 7-b). The trace element content of the Tavousieh deposit is also consistent with these results. The samples in the ternary diagrams Fe-Mn-(Ni+Co+Cu), Ni-Zn-Co and  $15(Cu+Ni)-100(Zr+Y+Ce)-(Fe+Mn)/4$  have similar behavior and all are plot in the field of hydrothermal fluids related deposits (Figs. 8-c, d and e). However, in the Fig. 8b diagram, the samples are also fall in the diagenesis field, indicating the influence of bacterial and microbial processes in their occurrence. This also explains the presence of braunite (Jach and Dudek, 2005). The U vs. Th plot (Bonatti et al., 1972) confirms the hydrothermal origin of the Mn of the Tavousieh deposit (Fig. 8-f).

The high LREE/HREE ratios may indicate mineralization associated with hydrothermal solutions, since LREE is supplied by volcanoes and HREE from seawater (Fitzgerald and Gillis, 2006). Hydrothermal Mn deposits at mid-ocean ridge show negative Ce anomalies (Danielson et al., 1992). This anomaly is calculated as  $Ce/Ce^* = CeN/(LaN \times PrN)^{1/2}$  and its value in the studied samples ranges from 0.1 to 0.33, which is fully consistent with a hydrothermal origin. Hydrothermal deposits have a La/Ce ratio similar to seawater (c.a. 2.8), while this ratio is much lower in hydrogenous deposits (c.a. 0.25) (Nath et al., 1997). The La/Ce ratios in the samples range from 0.3 to 2 indicating the simultaneous influence of hydrothermal and hydrogenous processes in the formation of this deposit. Comparison of the REE patterns of the Tavousieh deposit with other deposits (Fig. 8) also shows that it shares geochemical characteristics of both the hydrothermal and hydrogenous deposits. In addition, microscopic evidence such as fine-grained pyrolusite minerals, dense occurrence with quartz grains, and colloform texture indicate rapid deposition from hydrothermal fluids (Zarasvandi et al., 2013).

### 3.3. Environment and depositional conditions

The environment of manganese deposits can be traced based on their major and minor element contents. The  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  versus  $Fe_2O_3/TiO_2$  ratio plot (Fig. 8-a), indicates that this deposit formed near a mid-ocean ridge where manganese was deposited by hydrothermal fluids originated from the ridge. On the La/Ce plot normalized to chondrite values (Evensen et al., 1978) versus  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  the samples also plot near the mid-ocean ridge (MOR) field (Fig. 9-b).

The V/(V+Ni) ratio is an indicator for determining the redox conditions in manganese deposits (Marynowski et al., 2012). Values higher than 0.8 indicate reduced conditions and values lower than that indicate oxidant conditions. This ratio varies from 0.18 to 0.44 for the studied samples, indicating the presence of oxidant conditions at the time of formation of these deposits. The V/Mo ratio higher than 10 also indicates oxidant conditions (Gallego-Torres et al., 2010), which range 10 to 71 for the studied samples. The presence of hematite (Fig. 4) as an indicator mineral of oxidant conditions confirms these results.

Comparison of the geochemical characteristics of the Tavousieh deposit with the Nasirabad deposit, another manganese deposit in the Sanandaj-Sirjan zone (Zarasvandi et al., 2013) (Fig. 1), indicates the existence of differences and similarities in the conditions of their formation. Both deposits formed by hydrothermal fluids (Fig. 8), however, the main difference in the occurrence of these two deposits is their distance from the origin (Figs. 9-a and b). Mn deposits form close to the source to have higher iron content than those form in far distance (Ruhlin and Owen, 1986; Toth, 1980; Jach and Dudek, 2005). The Mn/Fe ratio for the Tavousieh and Nasirabad deposits range from 2 to 16 (mean 8) and 4 to 73 (mean 18.85), respectively, indicating a difference in their formation location relative to the oceanic ridge. The La/Ce versus  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  ratio plot (Fig. 9-b) also shows that these two deposits occurred as a result of the process of manganese deposition in the Neo-Tethys Ocean from the oceanic ridge to the continental margin.

### 4. Conclusion

- The Tavousieh Soghan deposit contain pyrolusite, braunite, todorokite and hematite together with quartz and hematite. The colloform, micronodular and cockade textures indicate formation by hydrothermal deposits.
- The  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ , Zn, Cu, Ni, Co, and Zr contents of the samples also confirms formation by the hydrothermal fluids. Although, reaction with the sea water gave it some geochemical features of hydrogenous deposits.
- The  $Fe_2O_3/TiO_2$  and LaN/CeN ratios show that they formed near a Neo-Tethys Ocean ridge.
- Comparison of the Tavousieh and Nasirabad deposits reveals that they probably formed along a deposition trend in the Neo-Tethys from the ridge toward the continental margin.

# زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و زایش کانسار منگنز طاووسیه صوغان (جنوب‌باختر استان کرمان)

میر محمد میری<sup>۱\*</sup>، علیرضا زراسوندی<sup>۱</sup>، محسن رضایی<sup>۱</sup>، ابودر فرجی درازنوی<sup>۱</sup><sup>۱</sup> گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

## چکیده

کانسار منگنز طاووسیه در منطقه صوغان (جنوب‌باختر استان کرمان) رخداد داشته و بخشی از پهنه سنندج-سیرجان جنوبی به‌شمار می‌رود. فرورانش سنگ کره اقیانوس تیسس جوان به زیر خرده‌قاره ایران مرکزی و بسته‌شدن آن سبب جایگیری توالی‌های آفیولیتی در امتداد کوهزایی زاگرس شده که میزبان نهشته‌های منگنز هستند. کانسار طاووسیه در چرت‌های رادیولاریتی آمیزه رنگی آفیولیتی و به‌صورت بین‌لایه‌ای با آهک‌های پلاژیک به سن کرتاسه پسین رخداد دارد. بررسی‌های سنگ‌نگاری و آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) نشان می‌دهند که کانسنگ منگنز در این کانسار از پیرولوپسیت، براونیت و تودوروکیت با بافت‌های دانه‌پراکنده، قلوهای (کلوفرم)، ریزگرهک‌دار (میکرونودولار) و کوکاد به همراه کوارتز و کلسیت تشکیل شده است. نسبت بالای  $\text{SiO}_2$  به  $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ، محتوای بالای Zn (۹۶-۴۱۰ ppm) و محتوای پایین Ni، Cu و Co (در مجموع ۹۵-۶۶۶ ppm) نمونه‌های مورد بررسی آشکارکننده تاثیر سیال‌های گرمایی در تشکیل آن‌هاست. اگرچه الگوهای پراکندگی عناصر کمیاب خاکی این نمونه‌ها نشان می‌دهند که فرایندهای آب‌زاد نیز در رخداد آن‌ها نقش داشته‌اند که بر این اساس می‌توان این کانسار را از نوع گرمایی-آب‌زاد رده‌بندی نمود. با مقایسه نسبت‌های  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$  و  $\text{LaN/CeN}$  کانسار منگنز طاووسیه با کانسار نصیرآباد می‌توان نتیجه گرفت که این دو در نتیجه روند نهشتگی منگنز در اقیانوس تیسس جوان از محل پشته اقیانوسی به سمت حاشیه قاره‌ای شکل گرفته‌اند.

## اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

منگنز

زمین‌شیمی

طاووسیه

سنندج-سیرجان جنوبی

کرمان

## ۱- پیش‌نوشتار

منگنز یک فلز نسبتاً فراوان است که به‌طور گسترده در سراسر پوسته زمین پخش شده است. کانسنگ‌های عیار بالا (حاوی ۱۰ تا ۲۰ درصد منگنز) در برگیرنده مقادیر شایان توجهی از کبالت، مس و نیکل هستند. این ذخایر در محیط‌های مختلفی از جمله حاشیه اقیانوس‌های امروزی، قاره‌ها، دریاچه‌ها و دریا‌های کم‌ژرفا شکل می‌گیرند (Polgári et al., 2012).

پژوهش‌های پیشین بر روی ویژگی‌های زمین‌شیمی ذخایر منگنز، توزیع، و محیط‌های تشکیل آن‌ها نشان داده‌اند که این ذخایر منشاهای متنوعی بر اساس کانی‌شناسی، ترکیب شیمیایی و موقعیت زمین‌ساختی دارند. نهشته‌های منگنز دریایی به‌عنوان ذخایر آب‌زاد (Hydrogenous)، دیاژنتیکی، گرمایی و همچنین بیوژنتیک-باکتریایی طبقه‌بندی می‌شوند (Bolton et al., 1988; Hein et al., 1988; Polgári et al., 2012; Oksuz, 2011; Roy, 1992). فرایندهای آب‌زاد می‌توانند سبب تشکیل پوسته‌های آهن-منگنزدار در نتیجه ته‌نشست آرام مواد محلول در آب دریا توسط فرایندهای میکروبی شوند (مانند Toth, 1980; Usui and Someya, 1997).

(Jach and Dudek, 2005). نهشته‌های منگنز دیاژنتیکی یا باکتریایی به‌صورت گرهک (نودول) رخداد داشته و از محلول گرمایی یا آب‌های روزنه‌ای نهشته می‌شوند. این نهشته‌ها معمولاً با اکسیداسیون مواد آلی و کانه‌زایی منگنز-کربناته در ارتباط هستند (Polgári et al., 1991, 2012; Oksuz, 2011). درحالی‌که نهشته‌های گرمایی به‌صورت چینه‌کران (stratabound) و یا به‌صورت توده‌های نامنظم و رگه‌ای، در محیط‌های دریایی نزدیک به پشته‌های اقیانوسی، کوه‌های دریایی درون صفحه‌ای یا در جزایر کماتی رخداد دارند (Roy, 1992, 1997). با این حال، ذخایر منگنز می‌توانند از ترکیبی از این فرایندها نیز سرچشمه بگیرند.

ذخایر گسترده منگنز و آهن-منگنز با سن و موقعیت زمین‌شناسی متفاوت در ایران گزارش شده‌اند. این کانسارها از پرکامبرین پسین-کامبرین آغازین تا میوسن-پلیوسن و به‌صورت گرمایی و آتشفشانی رسوبی شکل گرفته‌اند (مانند Zarasvandi et al., 2016 a,b; Maghfouri et al., 2019). پهنه‌های اصلی ساختاری ایران که میزبان ذخایر منگنز هستند عبارتند از مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر،

\* نویسنده مسئول: میر محمد میری؛ E-mail: m.miri@scu.ac.ir

## ماخذنگاری:

میر، م. م.، زراسوندی، ع. ر.، رضایی، م.، فرجی درازنوی، ا.، ۱۴۰۴، زمین‌شناسی، زمین‌شیمی و زایش کانسار منگنز طاووسیه صوغان (جنوب‌باختر استان کرمان). فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۵(۲)، ۱۳۶-۲۱. <https://doi.org/10.22071/gsj.2025.505516.2180>

doi: 10.22071/gsj.2025.505516.2180

doi: 20.1001.1.10237429.1404.35.2.2.5

حقوق معنوی مقاله برای فصلنامه علوم زمین و نویسندگان مقاله محفوظ است.

This is an open access article under the by-nc/4.0/ License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

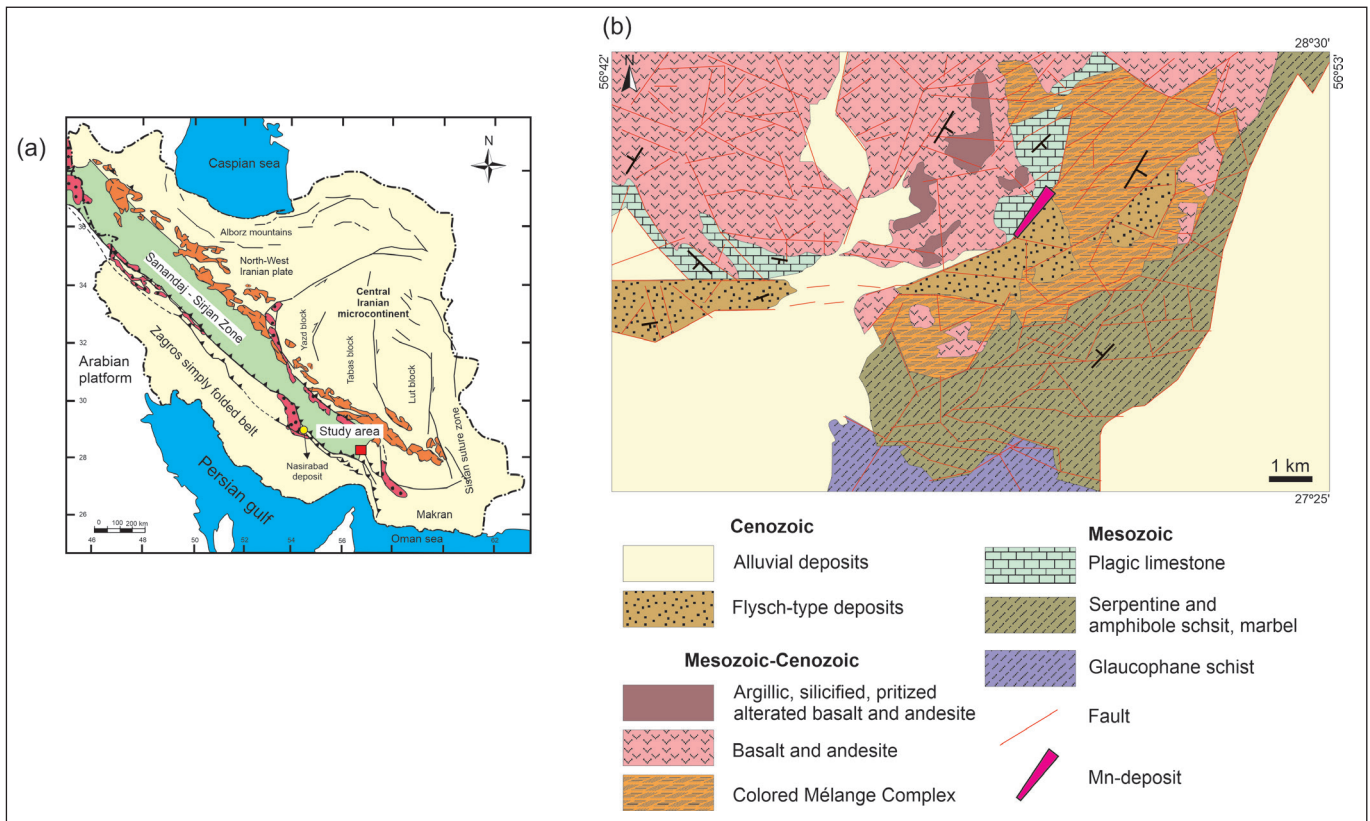
داده‌های زمین‌شیمیایی و مشاهدات سنگ‌نگاری جهت تعیین نوع زایش و محتوای کانی‌شناسی کانسار منگنز طاووسیه می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه در بخش جنوب‌خاوری پهنه ساختاری سنندج - سیرجان قرار گرفته است (شکل ۱-ا). پهنه سنندج - سیرجان با درازای حدود ۱۲۰۰ کیلومتر و پهنای حدود ۱۰۰ کیلومتر در طی فرورانش پوسته اقیانوس تیسس جوان به زیر خورده صفحه ایران مرکزی در مزوزویک شکل گرفته است (مانند Stöcklin, 1968; Alavi, 1994; Ghasemi and Talbot, 2006; Hassanzadeh and Wernicke, 2016). بیشتر سنگ‌های تشکیل‌دهنده این پهنه شامل سنگ‌های رسی و آهکی و بازیک دگرگونی شده هستند که تحت تاثیر نفوذ توده‌های آذرین دچار دگرگونی مجاورتی گشته و به هورنفلس تبدیل شده‌اند (مانند Stöcklin, 1968; Alavi, 1994; Ghasemi and Talbot, 2006; Hassanzadeh and Wernicke, 2016).

بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد (عزیزیان و همکاران، ۱۳۸۶) و ده‌سرد (ناظم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶) محدوده مورد مطالعه به طور کلی دارای سه مجموعه سنگی متمایز است (شکل ۱-ب). (۱) متابازیک‌ها و متاتربازیک‌های پهنه سنندج - سیرجان با سن تریاس - ژوراسیک، (۲) مجموعه آمیزه‌رنگی افیولیتی با سن کرتاسه تا سنوزویک شامل سنگ‌های توالی افیولیتی به همراه سنگ‌های چرت‌های رادیولاریتی، آهک‌های پلاژیک و سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب بازالت تا آندزیت، (۳) فیلیش‌های پالئوسن با توالی شیل، ماسه‌سنگ‌های توفی و آهک‌های سفید و خاکستری. در بخش آمیزه‌رنگین مناطقی با دگرسانی آرزیلیکی - سیلیسی و پیریتی همراه با کانه‌زایی مس و طلا مشخص شده است. جوان‌ترین واحد سنگی در این محدوده متشکل از توالی رسوبات عهد حاضر است که در بخش جنوب‌باختری و جنوب‌خاوری محدوده گسترش بیشتری دارد.

ایران مرکزی، سبزوار، کمر بند ماگمایی البرز و افیولیت‌های کرتاسه. ذخایر منگنز (منگنز) فراوانی از این نوع کانی‌سازی در ایران وجود دارد. پهنه‌های اصلی زمین‌ساختی/ساختاری ایران که میزبان ذخایر منگنز هستند عبارتند از: (۱) مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA)، (۲) ایران مرکزی (CI)، (۳) پهنه سبزوار (SZ)، (۴) کمر بند ماگمایی البرز (AMB) و (۵) افیولیت‌های کرتاسه. این نهشته‌های منگنز در طول دوره‌های زمانی مجزا تشکیل شده‌اند شامل نئوپروتوزویک پسین - کامبرین آغازین، ژوراسیک و کرتاسه (Maghfouri et al., 2019).

فرورانش سنگ‌کره (لیتوسفر) اقیانوسی تیسس جوان به زیر خورده صفحه ایران مرکزی در طی مزوزویک آغاز و در نهایت سبب برخورد صفحه عربستان به ایران در سنوزویک و تشکیل رشته‌کوه زاگرس شد (Berberian and King, 1981; Alavi, 1994). کمر بند کوهزایی-فلززایی زاگرس با میزبان ذخایر منگنز و آهن-منگنز فراوانی می‌باشد. این نهشته‌ها با چرت‌های رادیولاریتی و سنگ‌های بازالتی مرتبط هستند که توالی‌های افیولیتی را می‌پوشانند. از جمله این ذخایر می‌توان به کانسار منگنز نصیرآباد و آباد طشک (مرتبط با افیولیت نی‌ریز) و کانسار منگنز سرخوند (مرتبط با افیولیت کرمانشاه) اشاره نمود (Zarasvandi et al., 2016b).



شکل ۱- (a) نقشه زمین‌شناسی ایران (برگرفته از Ghasemi and Talbot, 2006) به همراه موقعیت کانسارهای طاووسیه و نصیرآباد. (b) نقشه زمین‌شناسی ساده‌شده منطقه مورد بررسی (برگرفته از عزیزیان و همکاران، ۱۳۸۶).

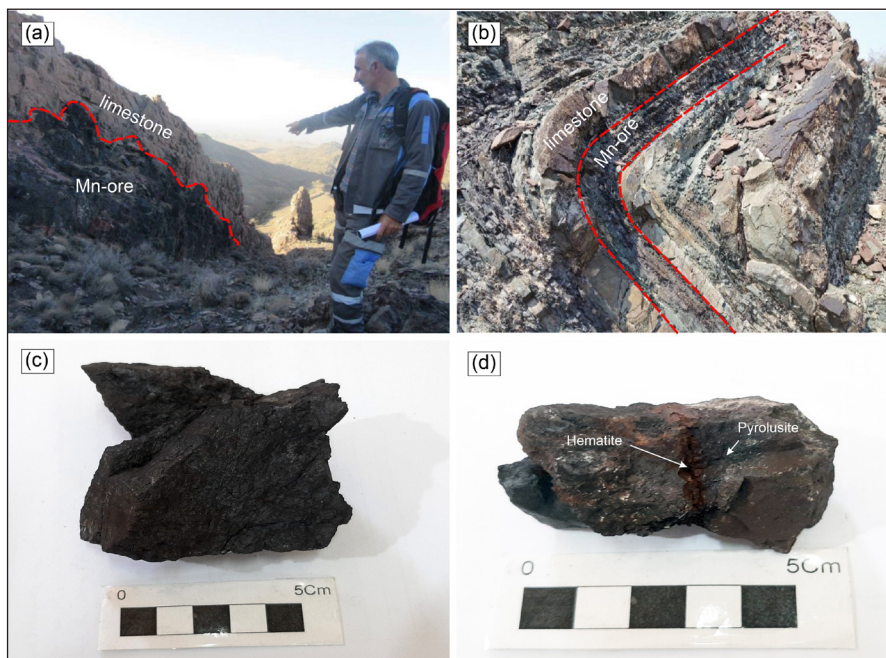
Figure 1- a) Geology map of Iran (after Ghasemi and Talbot, 2006). b) Simplified geology map of the study area (after Azizian et al., 2007).

سبب ایجاد وضعیت فعلی ریخت‌شناسی سنگ‌های آهکی منطقه شده‌اند. فعالیت‌های معدنی در این محدوده از سال ۱۳۹۷ و به صورت زیر زمینی در امتداد رگه آغاز شدند و تا کنون ادامه دارند. برآوردها نشان می‌دهد که ذخیره قطعی ۱۸۵۰۰۰ تن با عیار متوسط ۲۵٪ و ذخیره احتمالی حدود ۵۰۰۰۰۰ تن با عیار متوسط ۹٪ می‌باشند.

## ۲- روش پژوهش

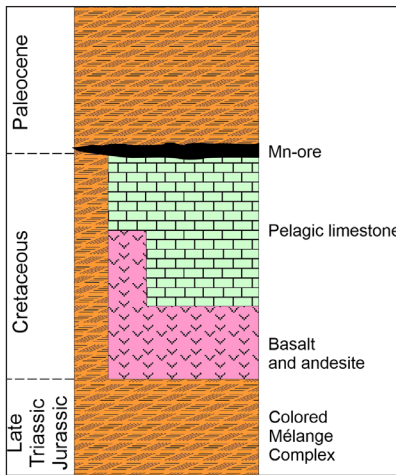
به منظور بررسی زمین‌شیمی و کانی‌شناسی کانسار طاووسیه، تعداد ۵۰ نمونه کانسنگ در طی عملیات‌های صحرایی صورت گرفته در محدوده کانسار برداشت شدند. نمونه‌برداری به گونه‌ای صورت گرفت که توزیع مکانی در بخش‌های مختلف کانسار تا حد ممکن رعایت شود. همچنین تغییر در رنگ ماده معدنی به عنوان یک شاخص برای تغییر احتمالی عیار منگنز در هنگام نمونه‌برداری در نظر گرفته شد. از نمونه‌های برداشت شده مقاطع نازک - صیقلی تهیه و توسط میکروسکوپ پلاریزان با نور انعکاسی مطالعه شدند. سپس نمونه‌های متناسب با اهداف پژوهش برای انجام آنالیزهای مربوطه به آزمایشگاه فرستاده شدند. مقادیر اکسید عناصر اصلی توسط روش XRF در آزمایشگاه کانساران بینالود تهران توسط دستگاه Philips PW ۱۴۸۰ تعیین گشتند. دقت اندازه‌گیری برابر با  $< 2\%$  برای عناصر با فراوانی بالاتر از ۵ درصد وزنی و  $< 5\%$  برای عناصر با فراوانی بیش از ۵ درصد وزنی می‌باشد. مقادیر عناصر کمیاب و عناصر کمیاب خاکی نیز توسط دستگاه ICP-MS مدل Agilent 735 شرکت زآرما تعیین شدند. دقت آنالیزها برای عناصر کمیاب از ۰/۵ تا ۵ ppm و برای عناصر کمیاب خاکی از ۰/۰۵ تا ۱ ppm می‌باشند. نتایج آنالیزهای زمین‌شیمیایی در جدول ۱ آورده شده‌اند. همچنین تعداد ۲ نمونه برای تعیین محتوای کانی‌شناسی به روش XRD در آزمایشگاه شرکت زآرما مورد آنالیز قرار گرفتند.

آمیزه رنگی منطقه صوغان در مرز بین پهنه‌های سسندج-سیرجان و زاگرس قرار داشته و به عنوان بخشی از منشورهای برهم‌افزوده فرورانش پوسته اقیانوسی تیس‌جوان به زیر خرده قاره ایران مرکزی در نظر گرفته شده است (مانند Agard et al., 2006; Angiboust et al., 2016). این مجموعه به طور کلی از سه بخش ساخته شده است شامل واحد دگرگونی بالایی عشین (سن ۷۹ تا ۱۱۳ میلیون سال و شامل گنیس و آمفیبولیت)، واحد میانی صغین (سن ۶۲ تا ۷۷ میلیون سال و شامل متابازیت و شیست آبی) و واحد زیرین سیاه‌کوه (شامل گابرو و بازالت و سرپانتینیت). سنگ‌های پهنه سسندج-سیرجان بر روی این آمیزه‌رنگی فرارنده شده و اکنون به صورت پنجره زمین‌ساختی رخداد دارند (Agard et al., 2006; Angiboust et al., 2016). کانه‌زایی در چرت‌های رادیولاریتی رخداد دارد که به صورت بین لایه‌ای توسط رسوبات آهکی پلاژیک پوشانده شده است (شکل‌های ۲ و ۳). بررسی‌های صحرایی صورت گرفته در بخش‌های مختلف کانسار نشان می‌دهند که رگه کانسنگ به صورت یک افق چینه‌ای بین چرت‌های رادیولاریتی و آهک‌های پلاژیک رخداد دارد (شکل ۲-a). البته توالی رگه کانسنگ و آهک‌های پلاژیک نیز در منطقه دیده می‌شود (شکل ۲-b). سبزی این رگه از ۲ تا ۸ متر متغیر بوده و طول رگه کانسنگ به طور ناپیوسته به حدود ۱ کیلومتر می‌رسد. شیب رگه کانسنگ در دو جهت طولی و عرضی تفاوت داشته و از ۰ تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند. عیار ماده معدنی در بخش‌های مختلف کانسار از ۱۰ تا ۵۲٪ متغیر است. چهار گسل عمده با امتداد شمال‌باختری-جنوب‌باختری تا خاوری-باختری و شیب به جنوب-باختری تا جنوب در محدوده کانسار شناسایی شدند که در بخش‌هایی سبب پایین افتادن واحدهای آهکی و منگنز نسبت به امتداد اصلی رگه گشته‌اند. افزون بر این، چین خوردگی‌هایی با امتداد جنوب‌باختری - شمال‌خاوری در منطقه به چشم می‌خورند (شکل ۲-b) که



شکل ۲- تصاویر صحرایی از بیرون‌زدگی لایه‌های کانه‌دار در کانسار منگنز طاووسیه صوغان. a و b) توالی لایه‌های چرت‌های رادیولاریتی کانه‌دار با آهک‌های پلاژیک. c) نمونه دستی کانسنگ منگنز عیار بالا. d) رخداد هماتیت به همراه پیرولوست.

Figure 2. Field photographs from the Mn ore-bearing layer outcrops in the Tavousieh Soghan Mn deposit. a and b) the radiolarite chert ore-bearing alternation with the plagic limestones. c) High-grade Mn-ore. d) Occurrence of hematite beside pyrolusite.



شکل ۳- لایه‌های آمیزه رنگی افیولیتی در محدوده مورد بررسی به همراه موقعیت رگه کانسنگ منگنز (مقیاس رعایت نشده است).

Figure 3. Layers of the ophiolitic mélangé in the study area with the position of the Mn-ore vein (not to scale).

جدول ۱- نتایج آنالیز XRF نمونه‌های کانسار طاووسیه (مقادیر بر حسب درصد وزنی).

Table 1. The XRF analysis result for the Tavousieh deposit (values are in wt%).

	T-S-Mn-1	T-S-Mn-2	T-S-Mn-3	T-S-Mn-4	T-S-Mn-5	T-S-Mn-6	T-S-Mn-7	T-S-Mn-8	T-S-Mn-9	T-S-Mn-10
SiO <sub>2</sub>	23.97	31.32	27.53	34.87	17.88	33.66	48.5	16.86	13.85	32.98
TiO <sub>2</sub>	0.09	0.06	0.05	0.05	0.03	0.07	0.09	<0.01	<0.01	0.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.5	1.56	1.22	1.05	0.78	2.15	1.97	0.46	0.85	2.63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.77	12.76	4.97	13.59	3.53	15.86	9.2	2.07	1.32	16.7
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
MnO	26.38	26.75	37.46	33.06	52.81	20.6	22.69	64.08	69.48	24.46
MgO	1.71	1.02	0.86	0.89 <sup>a</sup>	0.8	1.39	0.47	0.23	0.25	1.79
CaO	16.91	12.37	11.96	6.32	7.58	12.31	6.51	7.6	7.05	9.21
K <sub>2</sub> O	0.35	0.36	0.61	0.29	1.27	0.42	0.03	0.08	0.11	0.41
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.05	0.11	0.02	0.15	0.01	0.17	0.22	0.24	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.08	1.39	0.06	1.87	0.04	0.08	1.93	0.27	2.39	0.09
SO <sub>3</sub>	0.19	0.16	0.23	0.2	0.28	0.15	0.31	0.27	0.44	0.18
LOI	14.79	10.95	12.9	6.19	12.29	12.1	6.74	6.55	2.64	9.98
Sum	98.85	98.76	97.96	98.41	97.45	98.81	98.62	98.69	98.62	98.52

### ۳- داده‌ها و اطلاعات

#### ۳-۱- کانی‌شناسی

فراوان‌ترین کانه منگنز در کانسار مورد بررسی است. پس از آن، براونیت، تودوروکیت و هماتیت دیگر کانه‌های موجود در نمونه‌ها هستند. کانی‌های کوارتز و کلسیت نیز به همراه آن‌ها دیده می‌شوند. پیرولوست به صورت بافت‌های افشان (دانه‌پراکنده)، قلوهای (کلوفرْم)، ریزگرهک‌دار (میکرونودولار) و کوکاد (cockade) در نمونه‌ها رخداد دارد (شکل ۴).

پیرولوست‌ها عموماً به صورت دانه‌ریز و همزمان زایش با کوارتز دیده می‌شود (شکل‌های ۴-ا و ۴-ب). همچنین دانه‌های پیرولوست، دانه‌های کوارتز را نیز به صورت حلقوی در برگرفته‌اند (شکل ۴-ج) که نشان‌دهنده تاثیر فرایندهای تاخیری و برون‌زاد

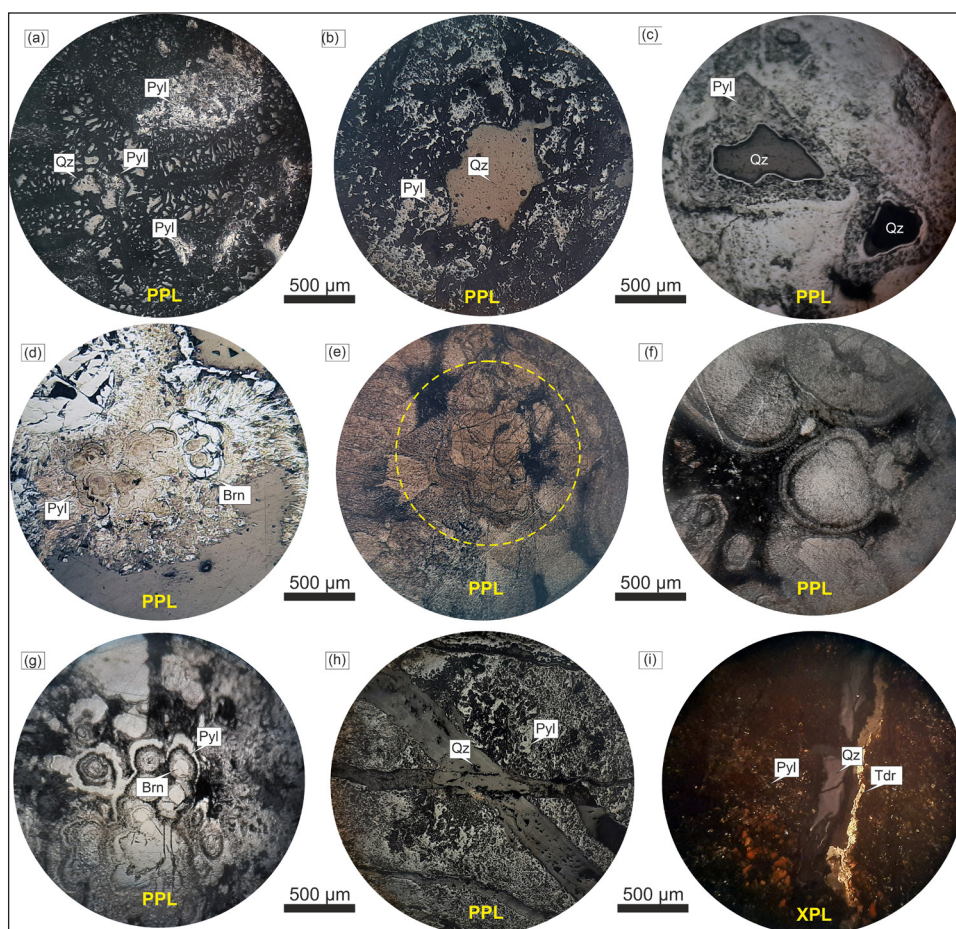
کانسنگ منگنز در برونزدهای محدوده مورد بررسی به رنگ سیاه و بسیار دانه‌ریز رخداد دارد و می‌توان کانی پیرولوست را در آن‌ها شناسایی نمود (شکل ۲-ج). به همراه پیرولوست، کلسیت و کوارتز نیز قابل شناسایی هستند اما رنگ آن‌ها به دلیل زایش همزمان با پیرولوست، سیاه شده و می‌بایست با توجه به سختی جدا شوند. در بخش‌هایی از کانسار، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن رخداد دارند که سبب تغییر رنگ کانسنگ به قرمز، زرد و نارنجی شده‌اند (شکل ۲-د). بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع نازک - صیقلی نیز نشان می‌دهند که پیرولوست

اکسیدهای منگنز اولیه بوده اما رگچه‌ها از سیال گرمابی ته‌نشست یافته است (Jach and Dudek, 2005). کوارتز به صورت پراکنده، پرکننده حفرات و رگچه‌ای در نمونه‌های مورد بررسی دیده می‌شود (شکل ۴). چند نسل رگه کوارتز رخداد دارند که یکدیگر را قطع می‌کنند (شکل ۴-ه). همچنین در مواردی آثار شکستگی و برشی شدن در رگه‌ها آشکار است (شکل ۴-ی).

جهت اطمینان از محتوای کانی‌شناسی نمونه‌های مورد بررسی، تعداد دو نمونه با روش پراش پرتو ایکس (XRD) مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج به دست آمده (شکل ۵) نشان می‌دهند که کانی‌های اصلی سازنده این نمونه‌ها شامل کوارتز و پیرولوست بوده و کانی‌های فرعی شامل براونیت، فلونوروپایت، کلریت و کانی‌های رسی هستند. هماتیت و کلسیت در یک نمونه کانی اصلی بوده و در نمونه دیگر فرعی به شمار می‌روند. نتایج به دست آمده با مشاهدات کانه‌نگاری میکروسکوپی انطباق کامل دارد.

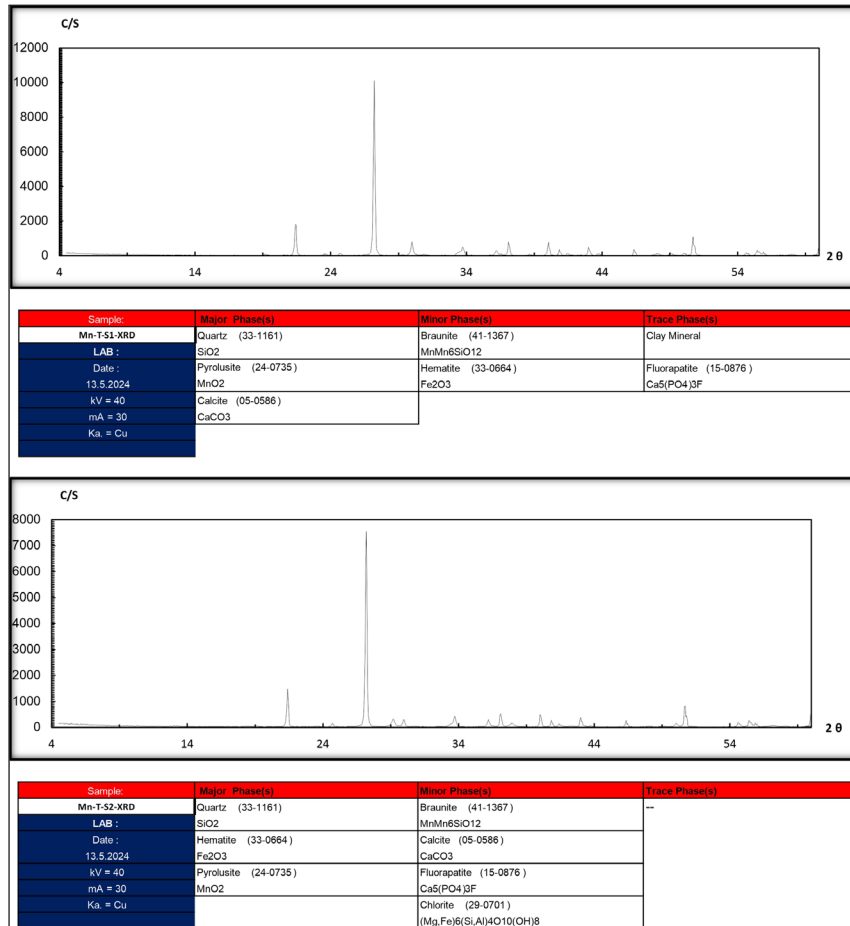
در رخداد آن‌هاست (Karakus et al., 2010). بافت قلوهای (کلوفرم) (شکل‌های ۴-د و ۴-ه) به فراوانی در نمونه‌ها رخداد دارد که نشان‌دهنده تشکیل در یک محیط آرام رسوبی است که در آنجا اکسید و هیدروکسیدهای منگنز به آرامی رشد کرده‌اند (Zarasvandi et al., 2013). ریزگرهک‌های (میکرونودول‌های) منگنز نیز در نمونه‌ها به چشم می‌خورند (شکل ۴-ف) که همانند بافت قلوهای (کلوفرم) شاخص محیط‌های آرام رسوبی هستند (Pattan, 1993). در بافت کوکاد، بخش هسته که حالت پرشی دارد از کانه براونیت ساخته شده و اطراف هسته و حاشیه آن را پیرولوست دربر گرفته است (شکل ۴-گ).

تودورکیت به صورت جزئی حضور دارد که با آنیزوتروپی زیاد در نور XPL قابل شناسایی است (شکل ۴-ی). این کانه، هم به صورت رگچه‌ای و هم به صورت ریزدانه و افشان در نمونه‌ها رخداد دارد. نسل ریزدانه احتمالاً حاصل دگرسانی



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی مقاطع نازک-صیقلی نمونه‌های کانسار طاووسیه. (a و b) دانه‌های پیرولوست پراکنده بین دانه‌های کوارتز، (c) دانه کوارتز دربر گرفته شده توسط پیرولوست. (d و e) بافت قلوهای (کلوفرم) ساخته شده از براونیت و پیرولوست. (f) پیرولوست با بافت ریزگرهک‌دار (میکرونودول‌دار). (g) بافت کوکاد با هسته براونیت و حاشیه پیرولوست. (h) رگه‌های کوارتز چند نسلی. (i) کانی تودورکیت در کنار یک رگه کوارتز برشی شده. نشانه‌های اختصاری کانی‌ها شامل Brn: براونیت، Pyl: پیرولوست، Qz: کوارتز، Tdr: تودورکیت (Whitney and Evans, 2010).

Figure 4. Photomicrographs from the thin-polished sections of the Tavousieh deposit. a and b) Pyrolusite grains scattered between the quartz grains. c) a quartz grain surrounded by pyrolusite. d and e) Colloform texture including braunite and pyrolusite. f) Pyrolusite with micronodular texture. g) Cockade texture with braunite core and pyrolusite rim. h) Multi-generation quartz vein. i) The todorokite adjacent to a brecciated quartz vein. Mineral abbreviations are Brn: braunite, Pyl: pyrolusite, Qz: quartz, Tdr: todorokite (Whitney and Evans, 2010).



شکل ۵- نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های کانسار طاووسیه.

Figure 5. The X-ray diffraction analysis results of the Tavousieh deposit.

### ۲-۳- زمین‌شیمی

نتایج آنالیز زمین‌شیمیایی نمونه‌های کانسار منگنز طاووسیه صوغان در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. مقدار MnO از ۲۰ تا ۶۰ درصد وزنی متغیر است که نشان‌دهنده تغییر عیار در نمونه‌های مختلف می‌باشد. پس از آن  $SiO_2$  (۱۳/۸۵-۴۸/۵ درصد وزنی)،  $CaO$  (۶/۳-۱۶/۹ درصد وزنی)،  $Fe_2O_3$  (۱-۱۶ درصد وزنی)،  $Al_2O_3$  (۱/۴۶-۲/۶۳ درصد وزنی)،  $MgO$  (۰/۲۳-۱/۷۹ درصد وزنی)،  $K_2O$  (۰/۳-۱/۲۷ درصد وزنی) و  $TiO_2$  (۰/۱-۰/۰۹ درصد وزنی) قرار می‌گیرند. حضور  $Al_2O_3$  و  $TiO_2$  نشانه ورود مواد با منشا آواری به حوضه رسوب‌گذاری کانسار است (مانند Shah and Khan, 1999; Polgári et al., 2012; Mohapatra et al., 2009). جدول ۳ و نمودارهای شکل ۶، همبستگی بین عناصر با منشا آواری و مافییک با محتوای منگنز کانسار طاووسیه را نشان می‌دهد.

نمودار عناصر کمیاب خاکی (REE) به‌نچار شده با مقادیر شیل‌های پس از آرکئن استرالیا (Post-Archean Australian shale, Taylor and McLennan, 1985) نمونه‌های کانسار طاووسیه در شکل ۷ نشان داده شده است. الگوها، غنی‌شدگی نسبی در عناصر کمیاب خاکی سبک (LREE) نسبت به انواع سنگین (HREE) را نشان می‌دهند ( $La_N/Yb_N = 3.1 - 5.5$ ). بی‌هنجاری مثبت Eu در این نمونه‌ها ( $Eu/Eu^* = 1.03 - 1.3$ ) به دلیل محتوای بالای Ba (۲۷۰۰ تا بیش از ۱۰۰۰۰ ppm) آن‌ها رخ داده و نشان‌دهنده شرایط احیایی سیال گرمایی نیست (Jewell and Stallard, 1991; Ehya, 2012).

نسبت‌های بالای LREE/HREE (۴/۳-۹/۴) نشان‌دهنده غنی‌شدگی اولیه در طول فرایند اکسیداسیون منگنز هستند (Xie et al., 2006). همچنین غنی‌شدگی در HREE‌های نهشته‌های منگنز می‌تواند از راه جذب کاتیونی این عناصر از آب دریا رخ دهد (Fitzgerald and Gillis, 2006).

### ۴-۱- بحث

#### ۴-۱-۱- منشا

تنوع در ترکیب شیمیایی کانه‌های کانسار منگنز سبب شده است که نمودارهای زیادی در طی ده‌های گذشته برای متمایز کردن این کانسارها بر اساس نوع زایش ارائه شوند. اکسیدهای منگنز تحت تاثیر فرایندهای گوناگون و در محیط‌های مختلف تشکیل می‌شوند. کانه‌زایی آهن - منگنز گرمایی تقریباً در همه محیط‌های دریایی ژرف رخ می‌دهد که می‌تواند به صورت پوسته‌های آهن-منگنز، گرهک‌های چندفلزی و رسوب مستقیم از سیال گرمایی باشد (Ewan et al., 2017). اکسیدهای منگنز جدا از فرایندهای درگیر در کانه‌زایی، توانایی زیادی برای جذب کاتیون‌های موجود در سیال کانه‌دار دارند (Nicholson, 1992). مقادیر عناصری مانند Zn، Co، Ni، Cu و عناصر کمیاب خاکی می‌توانند به عنوان ردیاب مورد استفاده قرار گیرند. جهت تعیین منشا زایش منگنز در کانسار طاووسیه از نمودارهای جداکننده عناصر اصلی و عناصر کمیاب استفاده شد. کانسارهای آهن - منگنز آب‌زاد دارای غلظت  $TiO_2$  بالاتر از ۱ درصد وزنی هستند (Ahmadi et al., 2019)، در حالی که ذخایر

گرمابی و مخلوط گرمابی - آب‌زاد بسیار بالا می‌باشد (Jach and Dudek, 2005).  
نسبت Mn/Fe نمونه‌های مورد بررسی از بازه ۱/۳ تا ۵۲ متغیر است (میانگین ۱۱/۸۱)  
که نزدیک به ذخایر گرمابی و مخلوط گرمابی - آب‌زاد می‌باشد.

گرمابی غلظت  $TiO_2$  پایینی دارند. مقادیر  $TiO_2$  نمونه‌های کناسار طاووسیه از ۰/۰۳ تا ۰/۰۹ درصد وزنی تغییر می‌کنند که با منشا گرمابی هماهنگی دارد. نسبت Mn/Fe در نهشته‌های آب‌زاد حدود ۱ بوده (Nicholson et al., 1992) و برای نهشته‌های

جدول ۲- نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های کناسار طاووسیه (مقادیر بر حسب ppm).

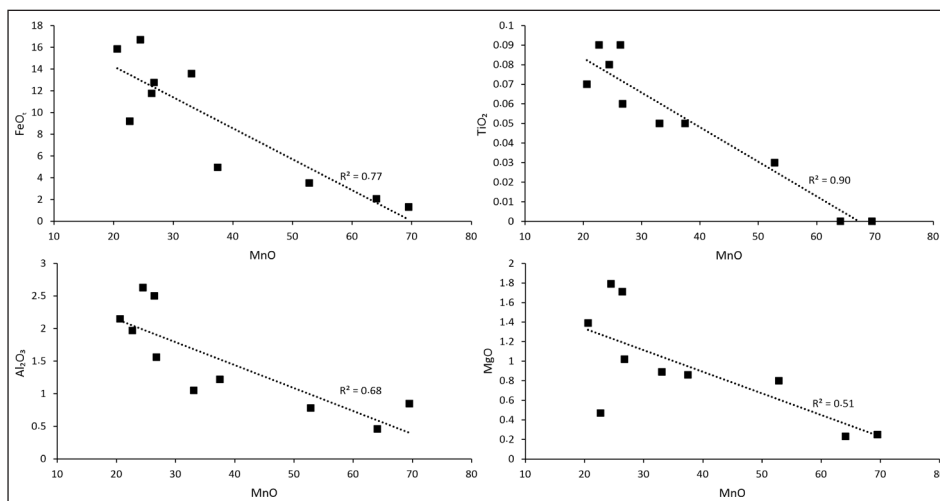
Table 2. The ICP-MS analysis result for the Tavousieh deposit (values are in ppm).

	T-S-Mn-1	T-S-Mn-2	T-S-Mn-3	T-S-Mn-4	T-S-Mn-5
Ag	7	4.8	12.9	8	8.8
Al	21382	13064	15130	7045	2920
Ba	7066	2772	>10000	6265	9414
Be	1.1	0.9	1.2	0.9	0.9
Bi	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ca	19186	18905	23086	17181	51035
Cd	1.5	2.5	3.7	2.2	2.2
Co	20.2	7	48.6	33.1	3.2
Cr	39	25	38	43	33
Cs	<0.5	<0.5	<0.5	3.4	<0.5
Cu	345	145	323	367	65
Fe	147.42	159.82	62.25	170.22	44.21
Hf	1	0.7	0.7	0.5	<0.5
In	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	4371	3537	3737	3678	3595
Li	21	9	2	2	2
Lu	0.7	0.9	0.8	2.2	0.9
Mg	10669	2972	1382	644	1436
Mn	371.88	377.10	528.07	466.05	744.46
Mo	2.9	3.2	1.6	0.5	1.4
Na	<100	<100	<100	<100	<100
Nb	3.7	3	2.4	1.6	1
Ni	281	221	144	101	27
P	395	1057	469	522	160
Pb	60	47	70	62	59
Rb	2	<1	<1	<1	<1
S	1304	515	2659	2916	2142
Sb	8.1	60.6	11.8		46.3
Sc	5	2.5	2.3	<0.5	<0.5
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sn	0.3	0.2	<0.1	<0.1	<0.1
Sr	317.7	385.1	338.4	827	320.5
Ta	0.4	0.4	0.3	0.4	0.2
Te	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Th	3.7	3	3.2	1.8	0.7
Ti	863	559	305	<10	<10
Tl	0.5	0.4	0.6	0.4	0.9
U	0.9	1.6	1.6	0.6	1
V	62	128	115	24	15
W	30.5	35.8	33.9	27.8	27.1
Y	19.4	21.1	33.6	23	12.2
Zn	409	409	272	209	96
Zr	28	25	23	11	8
La	18	15	17	10	3
Ce	15	14	17	11	7
Pr	4.72	3.68	3.28	1.95	1.1
Nd	19.6	16.1	14.3	9.5	6
Sm	14.8	7.4	16.5	26.2	18.8
Eu	8.74	3.75	9.82	17.04	12.59
Gd	2.97	2.62	2.7	2.07	1.08
Tb	0.7	0.7	0.8	0.6	0.3
Dy	3.8	3.9	5	3.3	1.3
Er	2.5	2.3	4.2	2.9	1.1
Tm	0.5	0.5	0.7	0.6	0.3
Yb	2.37	3.07	3.67	1.91	0.37
La/Ce	1.20	1.07	1.00	0.91	0.43
La/Nd	0.92	0.93	1.19	1.05	0.50
V/ (V+Ni)	0.18	0.37	0.44	0.19	0.36
Mn/Fe	2.24	2.10	7.54	2.43	14.96
V/Mo	21.38	40.00	71.88	48.00	10.71
Eu/Eu*	1.17	1.03	1.19	1.28	1.31
Ce/Ce*	0.39	0.45	0.55	0.60	0.93
LREE	57.32	48.78	51.58	32.45	17.10
HREE	6.07	6.77	9.37	7.61	2.67
ΣREE	94.40	73.92	95.77	89.27	53.84
LREE/ HREE	9.44	7.21	5.50	4.26	6.40

جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عناصر اصلی و کیمیا ب نمونه‌های کانسار منگنز طاووسیه.

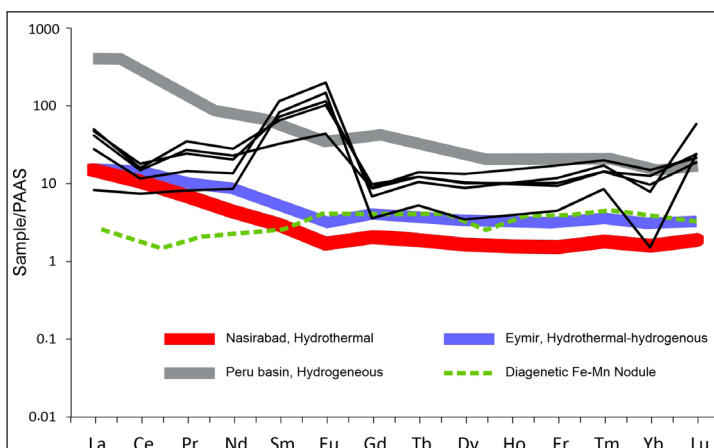
Table 3. Correlation coefficient of the major and trace elements of the Tavousieh deposit.

	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>t</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Zn	Ni	Co	Cu	Y	Ce
SiO <sub>2</sub>	1.00	0.18	0.01	0.74	-0.12	-0.15	-0.95	-0.82	0.36	0.24	0.43	0.53	0.53	0.38
TiO <sub>2</sub>		1.00	0.98	0.60	0.94	0.86	-0.24	-0.70	0.86	0.95	0.09	0.55	0.13	0.63
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			1.00	0.49	0.97	0.92	-0.08	-0.57	0.85	0.94	-0.03	0.41	0.03	0.59
FeO <sub>t</sub>				1.00	0.44	0.19	-0.88	-0.87	0.62	0.58	-0.04	0.44	0.01	0.23
MgO					1.00	0.84	0.00	-0.45	0.70	0.83	-0.10	0.39	-0.14	0.40
CaO						1.00	0.17	-0.38	0.83	0.90	0.02	0.25	0.18	0.71
Na <sub>2</sub> O							1.00	0.82	-0.37	-0.27	-0.20	-0.46	-0.26	-0.21
K <sub>2</sub> O								1.00	-0.75	-0.72	-0.38	-0.72	-0.47	-0.65
Zn									1.00	0.98	0.03	0.33	0.29	0.76
Ni										1.00	0.04	0.40	0.22	0.74
Co											1.00	0.80	0.90	0.61
Cu												1.00	0.63	0.59
Y													1.00	0.80
Ce														1.00



شکل ۶- نمودارهای همبستگی با MnO در نمونه‌های کانسار طاووسیه.

Figure 6. The correlation diagrams for MnO, FeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> and MgO in the Tavousieh deposit.

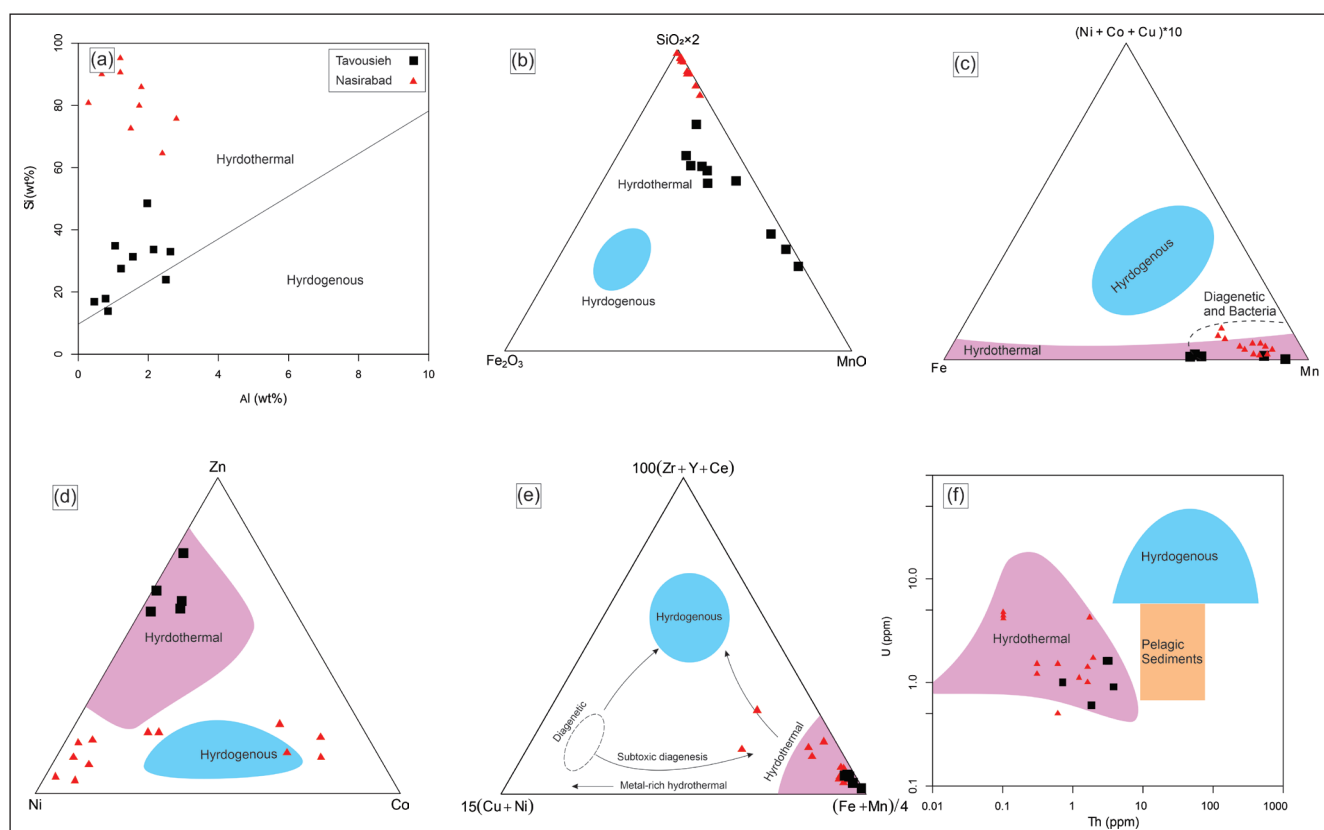


شکل ۷- نمودار عناصر کیمیا خاکی بهنجار شده با مقادیر PAAS (Taylor and McLennan, 1985) نمونه‌های کانسار طاووسیه. الگوهای کانسارهای منگنز نصیرآباد (Zarasvandi et al., 2013)، پرو (Von Stackelberg, 1997)، ایمر (Oksuz, 2011) و گرگ‌های (نودول‌های آهن - منگنز دیاژنری (Bau and Dulski, 1999) برای مقایسه ارائه شده‌اند.

Figure 7. The PAAS (Taylor and McLennan, 1985) normalized REE patterns for the Tavousieh deposit. The patterns of Nasirabad (Zarasvandi et al., 2013), Peru (Von Stackelberg, 1997), Eymir (Oksuz, 2011) deposits and diagenetic Fe-Mn nodules (Bau and Dulski, 1999) are illustrated for comparison.

نهشته‌های مرتبط با سیال‌های گرمایی قرار می‌گیرند (شکل‌های ۸-۸، ۸-۸، ۸-۸ و ۸-۸). نمودار U در برابر Th (Bonatti et al., 1972) نیز آشکار کننده گرمایی بودن منشا منگنز کانسار طاووسیه می‌باشد (شکل ۸-۸). اگرچه در نمودار شکل ۸-۸، نمونه‌ها در محدوده دیاژنز هم قرار دارند که نشان‌دهنده تاثیر فرایندهای باکتریایی و میکروبی در رخداد آن‌هاست. این موضوع، حضور براونیت در آن‌ها را نیز توجیه می‌نماید (Jach and Dudek, 2005).

نمودار Si در برابر Al (Toth, 1980) نشان می‌دهد که منگنز کانسار مورد بررسی از منشا سیال‌های گرمایی فراهم شده است (شکل ۸-۸). نمودار اکسید عناصر اصلی  $Fe_2O_3-SiO_2-MnO$  نیز ارتباط این کانسار با فرایندهای گرمایی را اثبات می‌نماید (شکل ۸-۸). محتوای عناصر کمیاب کانسار طاووسیه نیز با این نتایج همخوانی دارد. نمونه‌ها در نمودارهای سه‌تایی Ni-Zn-Co، Ni-Mn-(Ni+Co+Cu) و  $15(Cu+Ni)-100(Zr+Y+Ce)-(Fe+Mn)/4$  هم رفتاری مشابه داشته و همگی در محدوده



شکل ۸- نمودارهای زمین‌شیمیایی جدایش نهشته‌های منگنز گرمایی، آب‌زاد و دیاژنزی برای نمونه‌های کانسار طاووسیه. (a) نمودار Si در برابر Al (Toth, 1980). (b) نمودار سه‌تایی  $Fe_2O_3-SiO_2*2-MnO$  (Karakuş et al., 2010). (c) نمودار سه‌تایی  $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10$  (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982). (d) نمودار سه‌تایی Ni-Zn-Co (Choi and Hariya, 1992). (e) نمودار سه‌تایی  $15(Cu+Ni)-100(Zr+Y+Ce)-(Fe+Mn)/4$  (Bonatti et al., 1972). (f) نمودار Th در برابر U (Bonatti et al., 1972).

Figure 8. Hydrothermal, hydrogenous and diagenetic Mn deposits geochemical discriminating diagrams for the Tavousieh deposit samples. a) Si vs. Al diagram (Toth, 1980). b)  $Fe_2O_3-SiO_2*2-MnO$  ternary diagram (Karakuş et al., 2010), c)  $Fe-Mn-(Ni+Co+Cu)*10$  ternary diagram (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982). d) Ni-Zn-Co ternary diagram (Choi and Hariya, 1992). e)  $15(Cu+Ni)-100(Zr+Y+Ce)-(Fe+Mn)/4$  ternary diagram (Bonatti et al., 1972). f) Th vs. U diagram (Bonatti et al., 1972).

نسبت‌ها و مقادیر عناصر کمیاب نیز در رهگیری منشا کانسارهای منگنز مفید هستند. مقادیر  $LREE > HREE$  ممکن است نشان‌دهنده کانی‌سازی در ارتباط با محلول‌های گرمایی باشد چراکه LREE توسط آتشفشان‌ها و HREE از آب دریا تامین می‌گردد (Fitzgerald and Gillis, 2006). ذخایر منگنز گرمایی در مکان‌های پشته‌های میانی اقیانوسی، بی‌هنجاری منفی Ce نشان می‌دهند (Danielson et al., 1992). این بی‌هنجاری به صورت  $Ce/Ce^* = Ce_N / (La_N \times Pr_N)^{1/2}$  محاسبه شده و مقدار آن در نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۱ تا ۰/۳۳ می‌باشد (جدول ۲) که با منشا گرمایی سازگاری کامل دارد. نهشته‌های گرمایی دارای نسبت La/Ce مشابه آب دریا هستند (حدود ۲/۸)، در حالی که این نسبت در نهشته‌های آب‌زاد بسیار کمتر است (حدود ۰/۲۵) (Nath et al., 1997). نسبت La/Ce در نمونه‌های کانسار طاووسیه از ۰/۴ تا ۱/۲ متغیر است (جدول ۲) که مابین این دو منشا قرار می‌گیرد. این موضوع نشان‌دهنده تاثیر همزمان فرایندهای گرمایی و آب‌زاد در تشکیل این کانسار می‌باشد. مقایسه الگوهای عناصر کمیاب خاکی کانسار طاووسیه با دیگر کانسارهای گرمایی و آب‌زاد (شکل ۸) نیز نشان می‌دهد که کانسار مورد بررسی دارای ویژگی‌های زمین‌شیمیایی هردوی نهشته‌های گرمایی و آب‌زاد است، به بیان دیگر، محتوای زمین‌شیمیایی آن پس از تشکیل تحت تاثیر فرایندهای آب‌زاد تغییر یافته است. افزون

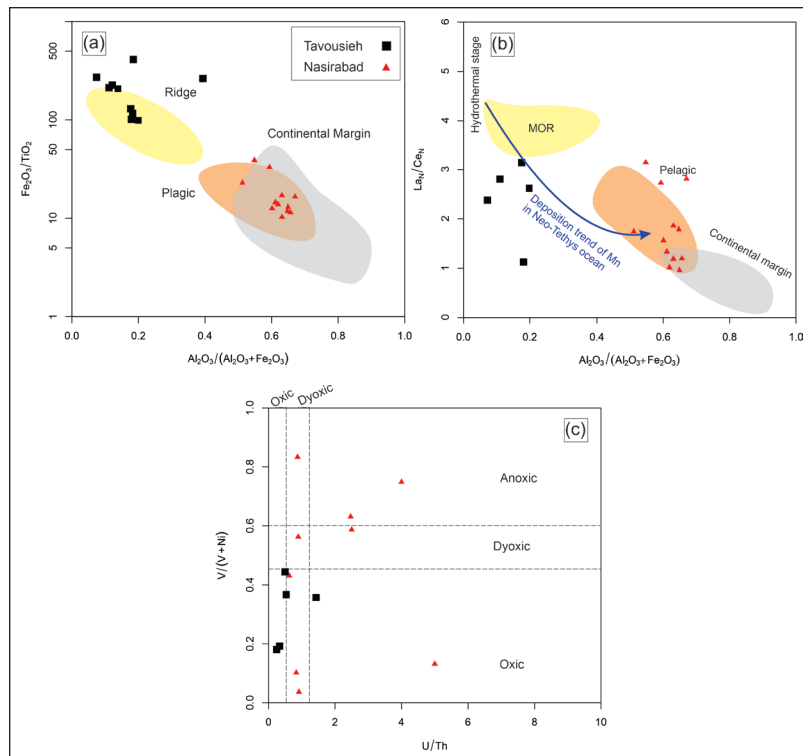
نسبت‌ها و مقادیر عناصر کمیاب نیز در رهگیری منشا کانسارهای منگنز مفید هستند. مقادیر  $LREE > HREE$  ممکن است نشان‌دهنده کانی‌سازی در ارتباط با محلول‌های گرمایی باشد چراکه LREE توسط آتشفشان‌ها و HREE از آب دریا تامین می‌گردد (Fitzgerald and Gillis, 2006). ذخایر منگنز گرمایی در مکان‌های پشته‌های میانی اقیانوسی، بی‌هنجاری منفی Ce نشان می‌دهند (Danielson et al., 1992). این بی‌هنجاری به صورت  $Ce/Ce^* = Ce_N / (La_N \times Pr_N)^{1/2}$  محاسبه شده و مقدار آن در نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۱ تا ۰/۳۳ می‌باشد (جدول ۲) که با منشا گرمایی سازگاری کامل دارد. نهشته‌های گرمایی دارای نسبت La/Ce مشابه آب دریا هستند (حدود ۲/۸)، در حالی که این نسبت در نهشته‌های آب‌زاد بسیار کمتر است (حدود ۰/۲۵) (Nath et al., 1997). نسبت La/Ce در نمونه‌های کانسار طاووسیه از ۰/۴ تا ۱/۲ متغیر است (جدول ۲) که مابین این دو منشا قرار می‌گیرد. این موضوع نشان‌دهنده تاثیر همزمان فرایندهای گرمایی و آب‌زاد در تشکیل این کانسار می‌باشد. مقایسه الگوهای عناصر کمیاب خاکی کانسار طاووسیه با دیگر کانسارهای گرمایی و آب‌زاد (شکل ۸) نیز نشان می‌دهد که کانسار مورد بررسی دارای ویژگی‌های زمین‌شیمیایی هردوی نهشته‌های گرمایی و آب‌زاد است، به بیان دیگر، محتوای زمین‌شیمیایی آن پس از تشکیل تحت تاثیر فرایندهای آب‌زاد تغییر یافته است. افزون

قابل ردیابی می‌باشد. بر اساس نمودار نسبت  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  در برابر  $Fe_2O_3/TiO_2$  (شکل ۹-ا)، این کانسار در نزدیکی یک پشته میان اقیانوسی شکل گرفته که در آنجا منگنز توسط سیالات گرمابی خارج شده از پشته نهشته شده است. در نمودار  $La/Ce$  بهنجار شده با مقادیر کندریت (Evensen et al., 1978) در برابر  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  نیز نمونه‌ها در نزدیکی پشته میان اقیانوسی (MOR) قرار می‌گیرند (شکل ۹-ب).

بر این‌ها، شواهد بافتی همچون دانه ریز بودن کانه‌های پیرولوسیت، رخداد متراکم به همراه دانه‌های کوارتز و بافت قلوهای (کلوفرم)، نشانه نهشته شدن سریع از سیال گرمابی است (Zarasvandi et al., 2013).

#### ۲-۴- محیط و شرایط نهستگی

محیط رخداد نهشته‌های منگنز بر اساس محتوای عناصر اصلی و کمیاب آن‌ها



شکل ۹-ا) نمودار نسبت  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  در برابر  $Fe_2O_3/TiO_2$  (Murray, 1994). نمودار (b)  $La/Ce$  بهنجار شده با مقادیر کندریت (Evensen et al., 1978) در برابر  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  (Murray, 1994). نمودار (c)  $U/Th$  در برابر  $V/(V+Ni)$  (Riquier et al., 2006) برای نمونه‌های کانسار طاووسیه.

Figure 9. a)  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  vs.  $Fe_2O_3/TiO_2$  diagram (Murray, 1994). b)  $La/Ce$  chondrite normalized (Evensen et al., 1978) vs.  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  (Murray, 1994). c)  $U/Th$  vs.  $V/(V+Ni)$  diagram (Riquier et al., 2006) for the Tavousieh deposit.

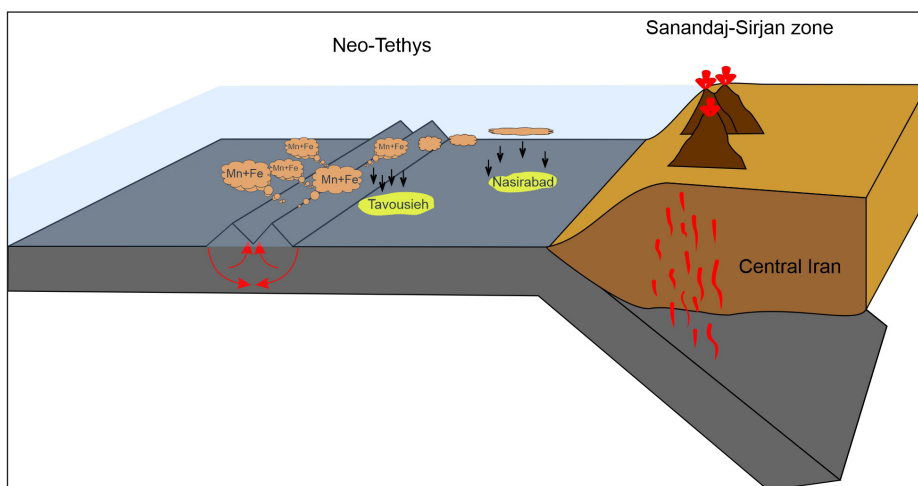
در شرایط تشکیل آن‌هاست. نمودارهای تعیین منشأ منگنز نشان می‌دهند که هر دو کانسار تحت تاثیر فرایندهای گرمابی شکل گرفته‌اند (شکل ۸). تفاوت عمده در رخداد این دو کانسار، فاصله آن‌ها از منشأ است (شکل‌های ۹-ا و ب). یکی دیگر از ویژگی‌های مهم نهشته‌های منگنز گرمابی زیردریایی، رخداد تفریق بین عناصر آهن و منگنز آن‌هاست چراکه کانی‌های آهن دار در آغاز فرایند و پیش از کانی‌های منگنز دار نهشته می‌شوند. این امر سبب می‌گردد که نهشته‌های نزدیک به منشأ محتوای آهن بالاتری نسبت به انواع دور از منشأ داشته باشند (Ruhlin and Owen, 1986; Toth, 1980; Jach and Dudek, 2005). نسبت  $Mn/Fe$  برای کانسار طاووسیه از ۲ تا ۱۴ (میانگین ۸، جدول ۲) و برای کانسار نصیرآباد از ۴ تا ۷۳ (میانگین ۱۸/۸۵) (Zarasvandi et al., 2013) متغیر است که نشان‌دهنده اختلاف در موقعیت تشکیل آن‌ها نسبت به پشته اقیانوسی می‌باشد (شکل ۱۰). بیشتر نهشته‌های منگنز پهنه زاگرس دارای نسبت بالای  $Mn/Fe$  هستند که دلالت بر تشکیل آن‌ها توسط سیال‌های گرمابی

نسبت  $V/(V+Ni)$  به عنوان شاخصی برای تعیین شرایط اکسیداسیون - احیا در نهشته‌های منگنز می‌باشد (Marynowski et al., 2012). مقادیر بالاتر از ۰/۸ نشان‌دهنده شرایط احیایی و مقادیر کمتر از آن نشانه شرایط اکسیدان است. این نسبت برای نمونه‌های مورد بررسی از ۰/۱۸ تا ۰/۴۴ متغیر بوده (جدول ۲) که نشان‌دهنده وجود شرایط اکسیدان در زمان تشکیل این ذخایر است. نسبت  $V/Mo$  بالاتر از ۱۰ نیز نشان‌دهنده شرایط اکسیدان محیط تشکیل نهشته‌های منگنز می‌باشد (Gallego-Torres et al., 2010) که این نسبت برای نمونه‌های کانسار طاووسیه برابر با ۱۰ تا ۷۱ (جدول ۲) می‌باشد. حضور هماتیت در نمونه‌های مورد بررسی (شکل ۴) به عنوان کانی شاخص شرایط اکسیدان، این نتایج را تایید می‌نماید.

مقایسه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی کانسار طاووسیه با کانسار نصیرآباد به عنوان یکی دیگر از کانسار منگنز پهنه سندنجان - سیرجان (Zarasvandi et al., 2013) که در نزدیکی آن قرار دارد (شکل ۱)، نشان‌دهنده وجود تفاوت‌ها و شباهت‌هایی

در نتیجه روند نهشتگی منگنز در اقیانوس تیس جوان از محل پشته اقیانوسی به سمت حاشیه قاره‌ای رخداد یافته‌اند.

خارج شده از یک منشا دور دارد (Zarasvandi et al., 2016b). همچنین نمودار La/Ce در برابر نسبت  $Al_2O_3/Al_2O_3+Fe_2O_3$  (شکل ۹-ب) نشان می‌دهد که این دو کانسار



شکل ۱۰- مدل زمین‌ساختی نمادین ارتباط کانسارهای طاووسیه و نصیرآباد با پشته اقیانوسی تیس جوان و پهنه سندج-سیرجان..

Figure 10. Tectonic schematic model showing relationships between the Tavousied and Nasirabad deposits and Neo-Tethys mid-ocean ridge and the Sanandaj-Sirjan zone.

## ۵- نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های صورت گرفته نتایج زیر قابل برداشت هستند:

- کانسار طاووسیه صوغان دارای کانی‌های پیرولوسیت، براونیت، تودوروکیت و همتایت به همراه کوارتز و کلسیت می‌باشد. حضور بافت‌های افشان، قله‌ای (کلوفرم)، ریزگره‌کن‌دار (میکرونودولار) و کوکاد در نمونه‌ها نشان دهنده رخداد آن‌ها در نتیجه فرایندهای گرمایی است.

- محتوای Zr و  $SiO_2$ ،  $Al_2O_3$ ،  $Fe_2O_3$ ، Zn، Cu، Ni، Co نیز آشکار می‌کنند که عنصر منگنز در کانسار طاووسیه از منشا سیال گرمایی فراهم شده که در هنگام نهشتگی محتوای زمین‌شیمیایی آن در نتیجه واکنش با آب‌های اقیانوسی اندکی تغییر یافته و به سمت نهشته‌های آب‌زاد متمایل شده است.

- نسبت‌های  $LaN/CeN$  و  $Fe_2O_3/TiO_2$  نشان می‌دهند که این کانسار در نزدیکی یک

پشته اقیانوسی تیس جوان شکل گرفته است.

- با مقایسه کانسار طاووسیه با کانسار نصیرآباد نیز می‌توان نتیجه‌گیری نمود که احتمالاً این دو کانسار در امتداد یک روند نهشتگی در اقیانوس تیس جوان از محل پشته اقیانوسی به سمت حاشیه قاره‌ای شکل گرفته‌اند.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز برای تامین بخشی از هزینه‌های این پژوهش (شماره پژوهانه: SCU.EG1403.44295) سپاسگزاری می‌نمایند. همچنین از داوران محترم مقاله که با نظرات خود سبب ارتقاء هرچه بیشتر مقاله شدند قدردانی می‌گردد.

## کتابنگاری

- عزیزیان، ح.، نادری، م.، نوازی، م.، پشت‌کوهی، م. و رشیدی، ح.، ۱۳۸۶. نقشه زمین‌شناسی دولت‌آباد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معانی‌جو، م.، نصیری، ع.، آلبانی، ف.، مستقیمی، م.، قلی‌پور، م.، مقصدی، ع.، ۱۳۹۴. مطالعه زمین‌شیمی عناصر اصلی، کیمیا و نادر خاکی در کانسار منگنز شهرستانک؛ رهیافتی در تعیین شرایط تشکیل کانسار، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۷(۱)، ص. ۲۱-۱. <https://doi.org/10.22067/10.22067.econg.v7i1.23393/10.22067>.
- ناظم‌زاده، م.، رشیدی، ا.، نوازی، م.، پشت‌کوهی، م.، داوری، م.، عزتیان، ف.، سبزه‌ئی، م. و عطاپور، ح.، ۱۳۸۶. نقشه زمین‌شناسی دهرسد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References

- Ahmadi, J., Mirnejad, H., Modabberi, S., and Niroomand, S., 2019. Geochemical Evidence for the Depositional Environment of the Esfandaghe Manganese Deposit, Kerman Province, Iran. *Geochemistry International*, 57, 266-281. <https://doi.org/10.1134/s0016702919030030>.
- Ahmadvand, A., Nasrabady, M., Asiabanha, A., and Gholizadeh, K., 2021. Metamorphic evolutions of high-pressure low-temperature units from ophiolitic mélangé of North Soghan (NE Hajiabad, Hormozgan). *Petrological Journal*, 11(4), 29-56. <https://doi.org/10.22108/ijp.2021.125210.1205>.
- Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-238. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2).

- Agard, P., Monié, P., Gerber, W., Omrani, J., Molinaro, M., Meyer, B., Labrousse, L., Vrielynck, B., Jolivet, L., and Yamato, P., 2006. Transient, synobduction exhumation of Zagros blueschists inferred from P-T, deformation, time, and kinematic constraints: Implications for Neotethyan wedge dynamics. *Journal of Geophysical Researches, Solid Earth*, 111(11). <https://doi.org/10.1029/2005JB004103>.
- Angiboust, S., Agard, P., Glodny, J., Omrani, J., and Oncken, O., 2016. Zagros blueschists: Episodic underplating and long-lived cooling of a subduction zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 443, 48–58. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl.2016.03.017>.
- Azizian, H., Nader, N., and Navazi, M., 2007. *Geology map of Dolatabad, scale: 100000. Geology survey of Iran. (In Persian)*.
- Bau, M., Dulski, P., 1999. Comparing yttrium and rare earths in hydrothermal fluids from the Mid-Atlantic Ridge: implications for Y and REE behavior during near vent mixing and for the Y/Ho ratio of Proterozoic seawater. *Chemical Geology*, 155, 77–90. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(98\)00142-9](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(98)00142-9).
- Berberian M., and King G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Science*, 18, 210–265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>.
- Bolton, B.R., Both, R., Exon, N.F., Hamilton, T.F., Ostwald, J., and Smith, J.D., 1988. Geochemistry and mineralogy of seafloor hydrothermal and hydrogenetic Mn oxide deposits from the Manus Basin and Bismarck Archipelago region of the southwest Pacific Ocean. *Marine Geology*, 85(1), 65-87. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(88\)90084-9](https://doi.org/10.1016/0025-3227(88)90084-9).
- Bonatti, E., Tom, K., and Harold, R., 1972. Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits. *Ferromanganese deposits on the ocean floor*, 149-166.
- Crerar, D. A., Namson, J., Chyi, M. S., Williams, L., and Feigenson, M. D., 1982. Manganiferous cherts of the Franciscan assemblage; I, General geology, ancient and modern analogues, and implications for hydrothermal convection at oceanic spreading centers. *Economic Geology*, 77(3), 519-540. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.77.3.519>.
- Choi, J. H., and Hariya, Y., 1992. Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in Tokoro belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology* 87, 1265-1274. <http://dx.doi.org/10.2113/GSECONGEO.87.5.1265>.
- Danielson, A., Möller, P., and Dulski, P., 1992. The europium anomalies in banded iron formations and the thermal history of the oceanic crust. *Chemical geology*, 97(1-2), 89-100. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(92\)90137-t](https://doi.org/10.1016/0009-2541(92)90137-t).
- Ehya, F., 2012. Rare earth element and stable isotope (O, S) geochemistry of barite from the Bijgan deposit, Markazi Province, Iran. *Mineralogy and Petrology*, 104, 81-93. <https://doi.org/10.1007/s00710-011-0172-8>.
- Evensen N.M., Hamilton P.J., and O’Nions R.K., 1978. Rare-earth abundances in chondritic meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42, 1199–1212. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(78\)90114-X](https://doi.org/10.1016/0016-7037(78)90114-X).
- Ewan, P., Yves, F., Joel, E., Sandrine, Ch., Shasa, L., Pierre, J., Claire, B., and Jessica L., 2017. Ni-Cu-Co-rich hydrothermal manganese mineralization in the Wallis and Futuna back-arc environment (SW Pacific). *Ore Geology Reviews*, 87, 126-146. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.014>.
- Fitzgerald, C.E., and Gillis, K.M., 2006. Hydrothermal manganese oxide deposits from Baby Bare seamount in the Northeast Pacific Ocean. *Marine Geology*, 225(1-4), 145-156. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.09.005>.
- Gallego-Torres, D., Martinez-Ruiz, F., De Lange, G.J., Jimenez-Espejo, F.J., and Ortega-Huertas, M., 2010. Trace-elemental derived paleoceanographic and paleoclimatic conditions for Pleistocene Eastern Mediterranean sapropels. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293(1-2), 76-89. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.05.001>.
- Ghasemi, A., and Talbot, C.J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 683-693. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.003>.
- Hassanzadeh, J., and Wernicke, B.P., 2016. The Neotethyan Sanandaj–Sirjan zone of Iran as an archetype for passive margin-arc transitions. *Tectonics*, 35, 586-621. <https://doi.org/10.1002/2015TC003926>.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F.T., Bau, M., Kang, J.-K., and Lubick, N., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. In: Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., and Desgupta, S., (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, Geological Society Special Publication, 119, 123–138. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.09>.
- Jach, R., and Dudek, T., 2005. Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Křížna unit, Tatra Mountains, Poland. *Chemical Geology*, 224(1-3), 136-152. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.018>.
- Jewell, P.W., and Stallard, R.F., 1991. Geochemistry and paleoceanographic setting of central Nevada bedded barites. *The Journal of Geology*, 99(2), 151-170. <https://doi.org/10.1086/629482>.
- Karakuş, A., Yavuz, B.E., and Koç, S.E.V.C.A.N., 2010. Mineralogy and major-trace element geochemistry of the Haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International*, 48, 1014-1027. <https://doi.org/10.1134/S001670291010006X>.
- Maanijou, M., Nasiri, A., Aliani, F., Mostaghimi, M., Gholipoor, M., and Maghsoudi, A., 2015. *The study of major, trace and rare earth elements geochemistry in Shahrestanak Mn deposit, south of Qom: Implications for genesis, Journal of Economic Geology* 7(1), 1-21, <https://doi.org/10.22067/econg.v7i1.23393>. (In Persian).
- Maghfouri, S., Rastad, E., Movahednia, M., Lentz, D.R., Hosseinzadeh, M.R., Ye, L., and Mousivand, F., 2019. Metallogeny and temporal-spatial distribution of manganese mineralizations in Iran: Implications for future exploration. *Ore Geology Reviews*, 115, 103026. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103026>.
- Marynowski, L., Zatoń, M., Rakociński, M., Filipiak, P., Kurkiewicz, S., and Pearce, T.J., 2012. Deciphering the upper Famennian Hangenberg

- Black Shale depositional environments based on multi-proxy record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 346, 66-86. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2012.05.020>.
- Mohapatra, B.K., Mishra, P.P., and Singh, P.P., 2009. Manganese ore deposits in Koira-Noamundi province of iron ore group, north Orissa, India: in the light of geochemical signature. *Geochemistry*, 69(4), 377-394. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2009.06.001>.
- Murray R.W., 1994. Chemical criteria to identify the depositional environment of chert: general principles and applications. *Sedimentary Geology* 90, 213–232. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(94\)90039-6](https://doi.org/10.1016/0037-0738(94)90039-6).
- Nath, B., Plüger, W.L., and Roelandts, I., 1997. Geochemical constraints on the hydrothermal origin of ferromanganese encrustations from the Rodriguez Triple Junction, Indian Ocean. *Geological Society, London, Special Publications*, 119(1), 199-211. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.13>.
- Nazemzadeh, A., Rashidi, M., and Navazi, M., 2007. *Geology map of Dehsard (Bazar), scale: 100000. Geology survey of Iran. (In Persian)*.
- Nicholson, K., 1992. Contrasting mineralogical-geochemical signatures of manganese oxides; guides to metallogenesis. *Economic Geology*, 87(5), 1253-1264. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1253>.
- Oksuz, N., 2011. Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun-Yozgat) manganese deposit. *Journal of Rare Earth* 29, 287-296. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60446-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60446-2).
- Pattan, J.N., 1993. Manganese micronodules: A possible indicator of sedimentary environments. *Marine Geology*, 113(3-4), 331-344. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90026-R](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90026-R).
- Polgári, M., Hein, J.R., Vigh, T., Szabó-Drubina, M., Fórizs, I., Bíró, L., Müller, A., and Tóth, A.L., 2012. Microbial processes and the origin of the Úrkút manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Reviews*, 47, 87-109. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.10.001>.
- Polgári, M., Okita, P.M., and Hein, J.R., 1991. Stable isotope evidence for the origin of the Úrkút manganese ore deposit, Hungary. *Journal of Sedimentary Research*, 61(3), 384-393. <https://doi.org/10.1306/D426771C-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Riquier, L., Tribouillard, N., Averbuch, O., Devleeschouwer, X., and Riboulleau, A., 2006. The Late Frasnian Kellwasser horizons of the Harz Mountains (Germany): two oxygen-deficient periods resulting from different mechanisms. *Chemical Geology*, 233(1-2), 137-155. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.02.021>.
- Roy, S., 1992. Environments and processes of manganese deposition. *Economic Geology*, 87(5), 1218-1236. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1218>.
- Roy, S., 1997. Genetic diversity of manganese deposition in the terrestrial geological record. In: Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., and Dasgupta, S., (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geological Society, London, 119, 5–27. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.02>.
- Ruhlin, D.E., and Owen, R.M., 1986. The rare earth element geochemistry of hydro-thermal sediments from the East Pacific Rise: examination of a seawater scavenging mechanism. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50, 393–400. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90192-4](https://doi.org/10.1016/0016-7037(86)90192-4).
- Shah, M.T., and Khan, A., 1999. Geochemistry and origin of Mn-deposits in the Waziristan ophiolite complex, North Waziristan, Pakistan. *Mineralium Deposita*, 34(7), 697-704. <https://doi.org/10.1007/s001260050228>.
- Stöcklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52, 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crustal: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 P. <https://doi.org/10.1002/gj.3350210116>.
- Toth, J.R., 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin*, 91(1), 44-54. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1980\)91%3C44:DOSCR1%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1980)91%3C44:DOSCR1%3E2.0.CO;2).
- Usui, A., and Someya, M., 1997. Distribution and composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. In: Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., and Dasgupta, S. (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*, Geological Society Special Publication, 19, 177–198. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.12>.
- Von Stackelberg, U., 1997. Growth history of manganese nodules and crusts of the Peru basin. In: *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. In: Nicholson, K., Hein, J.R., Buhn, B., and Dasgupta, S., (Eds.), *Manganese Mineralization: Geochemistry and Mineralogy of Terrestrial and Marine Deposits*. Geological Society, London, 119, 153–176. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.11>.
- Whitney, D.L., and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>.
- Xie, J., Yang, X., Du, J., and Xu, W., 2006. Geochemical characteristics of sedimentary manganese deposit of Guichi, Anhui Province, China. *Journal of Rare Earths*, 24(3), 374-380. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(06\)60127-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(06)60127-0).
- Zarasvandi, A., Lentz, D., Rezaei, M., and Pourkaseb, H., 2013. Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran. *Geochemical evidences. Geochemistry*, 73(4), 495-508. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2013.02.003>.
- Zarasvandi, A., Pourkaseb, H., Sepahvand, M., Raith, J., Rezaei, M., 2016a. Tracing of hydrothermal ore forming process in the Sorkhvand manganese deposit, Kermanshah Province, Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 9, 109 9, <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2237-1>.
- Zarasvandi, A., Rezaei, M., Sadeghi, M., Pourkaseb, H., and Sepahvand, M., 2016b. Rare-earth element distribution and genesis of manganese ores associated with Tethyan ophiolites, Iran: A review. *Mineralogical Magazine*, 80(1), 127-142. <https://doi.org/10.1180/minmag.2016.080.054>.