

Research Article

Geochemistry of the Kuh-e-Chehr manganese deposit, northeast of Ardakan, Yazd province

Mahnaz Khodami^{1*}, Mehdi Torabi Kaveh¹, Shahzad Sherafat²

1- Department of Geology, Faculty of Science, Yazd University

2- Department of Geology, Payame Noor University, Tehran, Iran,

Keywords: *Manganese Deposit, Pyrolusite, Hydrothermal Genesis, Ardakan, Yazd Block.*

1-Introduction

Manganese deposits in Iran have been formed in different geological conditions from the Late Precambrian-Early Cambrian to the Miocene-Pliocene in hydrothermal, SEDEX, sedimentary, or volcanic sedimentary forms (Maanijou et al., 2015; Maghfouri et al., 2017). Manganese deposits form through primary (hydrothermal, diagenesis, hydrogenetic) and secondary (supergene) processes (Meynard, 1983). The Kuh-e-Chehr manganese deposit is located 45 km northeast of Ardakan in the Yazd Block of Central Iran. The lithology in the area includes Jurassic shale, sandstone with interlayers of limestone, and Cretaceous limestone, juxtaposed with Cambrian units by the fault contact. The fault activity has resulted in manganese deposits near Quaternary units. Identifying the origin of manganese deposits and the presence of potentially valuable metals plays a vital role in the geochemical study of manganese deposits in the area.

2-Material and methods

The research started by gathering information about the area, geological maps, and satellite images. Field studies were conducted by sampling lithological units and manganese deposits. The thin and polished sections were prepared and studied by a polarizing microscope. The XRD and ICP-MS analyses were performed on the selected sample. Subsequently, the data was processed and interpreted using Excel and GCDkit software.

3-Results and discussions

The petrography and mineralography studies and the results of the XRD analysis indicate the presence of the main phases of pyrolusite MnO_2 , cryptomelane $K(Mn^{4+}Mn^{2+})_8O_{16}$, manganosite MnO , calcite, quartz, and secondary phases of illite (muscovite), hematite and goethite. The analyzed samples in the binary diagram of Si versus Al, the ternary diagram of Ni-Co-Zn, (Co+Cu+Ni)-(Co/Zn) diagram, the ternary diagram of $(Fe+Mn)/4-(Zr)+Y+Ce*15-100*(Cu+Ni)$ and in the ternary diagram $Fe-Mn-(Co+Cu+Ni)*10$, which separates the range of hydrothermal deposits from hydrogenic and diagenetic fall in the hydrothermal field. The samples in the U-Th diagram have higher uranium and are in the hydrothermal range. Rapid deposition during hydrothermal processes produces more uranium enrichment (Rona et al., 1983). The samples of Mn deposit in the Log Th vs. Log U plot show similarities with fossil exhalative deposits and EPR (East Pacific Rise) deposits. The Pb-Zn diagram distinguishes Dabhit-type deposits from other manganese oxide deposits. In this diagram, the values of lead and zinc in the Dabhites are higher than other deposits formed in the marine environment, hot water springs, exhaustive, and deposits resulting from weathering processes (Nicholson, 1992b); the samples are scattered in the range of deposits formed in shallow marine environments to fresh water and have weathered deposits and are not the result of older metal deposits. The binary diagram of Na-Mg shows shallow, deep, and freshwater marine environments

* Corresponding author: khodami_m@yazd.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2024.47196.2459

Received: 2024-06-19

Accepted: 2024-07-22

for the formation of deposits (Nicholson, 1992a). Samples are placed in the range of deposits formed in freshwater environments.

The Ba vs. P_2O_5 diagram shows an oxidation environment for this deposit. The chondrite normalized pattern shows a relative enrichment of LREE with a negative to positive cerium anomaly (1.1-0.5) and a more positive europium anomaly (1.79-0.6). There is a noticeable depletion of heavy rare earth elements in samples with lower amounts of Mn. In the chondrite normalized spider diagram, enrichment of Sr, Ba, and negative Ti, Nb, and P anomalies are seen. Mixing seawater and submarine hydrothermal fluid causes positive Eu, La, and Y anomalies, depletion of light REE, and enrichment of heavy REE (Hein et al., 1997). In normalization with post-Archean Australian Sedimentary Rocks (PAAS) (Taylor and McLennan, 1985), they showed a distinct positive europium anomaly, depletion of light rare earth elements, and enrichment of heavy rare earth elements, Except for the samples with lower amounts of Mn and more weathering, which show depletion of heavy rare earth elements. Also, a weak negative anomaly of Ce can be seen in the normalized pattern with the PAAS. The rare earth element pattern of the deposit shows lower levels of rare earth elements compared to hot hydrothermal fluids from the mid-Atlantic ridge, the East Pacific Rise, and the back-arc basin (data from Douville et al., 1999). However, compared to the pattern of rare earth elements in seawater, there is a reduction in heavy rare earth elements and an increase in light rare earth elements, indicating that the hot water fluid interacting with this deposit has mixed with seawater. However, the manganese deposit exhibits signs of weathering after its formation from hydrothermal fluid.

4- Conclusion

The manganese deposit of Kuh-e-Chehr, northeast of Ardakan, in the Yazd block, consists of the main minerals pyrolusite, cryptomelane, manganosite, limonite, and goethite. The high ratio of Si/Al, Mn/Fe, enrichment of Pb, Sr, Ba, Zn, and depletion of Co and Ni are evidence of the hydrothermal origin of the deposit confirmed with major and rare elements discrimination diagrams. The distribution of rare earth elements indicates that the manganese deposit was formed by mixing hydrothermal fluid and seawater in an oxygen-rich environment. Some deposits in the area with low amounts of manganese have been displaced by faults and weathered by supergene processes.

5-References

- Douville, E., Bienvu, P., Charlou, J.L., Donval, J.P., Fouquet, Y., Appriou, P., Gamo, T., 1999. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 627-643. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00024-1).
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., et al., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the 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 Society of London, Special Publication 123–138.
- Hein, J.R., M.S. Schulz, R.E. Dunham, R.J. Stern, and S.H. Bloomer, 2008. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific, *Journal of Geophysical Research* 113, B08S14. <https://doi.org/10.1029/2007JB005432>.
- Maanijou, M., Nasiri, A., Aliani, F., Mostaghimi, M., Gholipour, M., 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>.
- Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Choulet, F., Lin, Y., 2017. Geological and geochemical constraints on the Cheshmeh-Frezi volcanogenic stratiform manganese deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *Ore Geology Reviews* 89, 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.015>.
- Nicholson, K., 1992a. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-Ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology* 87(5), 1301-1309. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1301>.
- Nicholson, K., 1992b. 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>
- Taylor, S. R., McLennan, S. M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford, 312 P.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Bastami, A., Hezarhee, M., Asgari, A., Aliabadi, M., 2024. The genesis of rare earth elements in the Senj polymetallic deposit (North of Karaj), evidence for mineralization potential in the central Alborz zone. Adv. Appl. Geol. 14(3), 737-754.

DOI: 10.22055/aag.2024.47196.2459

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_19327.html

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ژئوشیمی نهشته منگنز کوه چهر، شمال خاوری اردکان، استان یزد

مهناز خدابی*

گروه زمین شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

مهدی ترابی کاوه

گروه زمین شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

شهاد شرافت

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

* khodami_m@yazd.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

چکیده

نهشته منگنز کوه چهر در ۴۵ کیلومتری شمال خاوری اردکان و در بلوک یزد قرار دارد. سنگ‌شناسی منطقه شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک با میان لایه‌های آهک نازک لایه و آهک کرتاسه است که با کنتاکت گسلی در مجاورت سازندهای کامبرین قرار گرفته‌اند. فعالیت گسل، نهشته منگنز را در مجاورت رسوبات کواترنری قرار داده است. پیرولوژیت، منگانوزیت، کریپتوملان، کلسیت، کوارتز و فازهای فرعی ایلیت، همتیت و گوتیت با لیمونیت سازندگان نهشته هستند. مقادیر بالای نسبت سیلیسیوم به آلومینیوم و منگنز به آهن و مقادیر پایین اکسیدهای تیتانیوم و آلومینیوم نهشته و نمودارهای مختلف ژئوشیمیایی تفکیک انواع کانسار منگنز، منشأ گرمایی، عدم دخالت رسوبات آواری و تاثیر فرآیندهای سوپرژن پس از تشکیل را برای نهشته نشان می‌دهند. نسبت‌های اورانیوم به تورنیوم بالاتر از یک، حاکی از نهشته شدن سریع در حضور سیالات گرمایی و تغییرات مقادیر سدیم و منیزیم، حضور گوتیت و لیمونیت در نهشته منگنز تاثیر فرآیندهای سوپرژن را تقویت می‌کنند. الگوی بهنجار شده با کندریت غنی شدگی نسبی از عناصر نادر خاکی سبک با آنومالی سریم منفی تا مثبت و آنومالی مثبت اوروپیم مشابه کانسارهای حاصل از سیال گرمایی است. الگوی بهنجار شده با سنگ‌های رسوبی بعد از آرکئن استرالیا، تهی شدگی نسبی از عناصر نادر خاکی سبک و غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین و آنومالی مثبت اوروپیم نشان می‌دهند و مقایسه الگوی عناصر نادر خاکی با سیالات گرمایی مختلف و آب دریا، گویای اختلاط سیالات گرمایی با آب دریا و محیط اکسیدان در زمان تشکیل است. نبود رخنمون آذرین در نزدیکی نهشته حاکی از فاصله گرفتن سیال گرمایی از منشأ است.

واژه‌های کلیدی: نهشته منگنز، پیرولوژیت، منشأ گرمایی، اردکان، بلوک یزد.

۱- مقدمه

توجه به رخدادهای تکتونوماگمایی در پهنه‌های مختلف زمین‌شناسی ایران، کانسارهای منگنز در پهنه سنندج-سیرجان، ایران مرکزی و کمربند ماگمایی ارومیه-دختر فراوانی بیشتری دارند. از جمله کانسار آهن منگنز نارینگان در پهنه ایران مرکزی و در تشکیلات پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین (Bonyadi and Moore, 2005)، کانه زایی منگنز در افیولیت‌های کرتاسه (Zarasvandi et al., 2016)، کانه‌زایی منگنز در توالی‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین همچون محمدآباد و چشمه فریزی سبزوار (Maghfouri et al., 2017)، کانسارهای آهن منگنزدار در پهنه سنندج سیرجان از جمله شوراب کبیر شهرکرد (Hashempour et al., 2022)، کانسارهای آهن منگنزدار در (Ehya and et al., 2022 Ahankoub) و شمس‌آباد اراک (Ehya and

منگنز از جمله عناصر اصلی با فراوانی ۰/۱ درصد وزنی در پوسته زمین است که در ماگما رفتار ژئوشیمیایی شبیه آهن، منیزیم، نیکل و کروم دارد. در ابتدای تبلور بخصوص در سنگ‌های مافیک تمایل به ورود در ساختار سیلیکات‌ها داشته اما مقدار زیادی از آن بخاطر شعاع یونی بزرگش در مذاب باقی مانده و در مراحل پگماتیستی، پنوماتولیتی و گرمایی شرکت و یا بصورت برودمی وارد رسوبات اقیانوسی می‌گردد. کانسارهای منگنز در ایران در شرایط مختلف زمین‌شناسی و از دوره‌های پرکامبرین پسین-کامبرین آغازین تا میوسن-پلیوسن به صور گرمایی، آتشفشانی رسوبی و یا رسوبی آتشفشانی تشکیل شده‌اند (Maanijou et al., 2015, Maghfouri et al., 2017). با

کانه‌زایی فرومگننگز گرمآبی شامل گستره‌ای از اکسیدهای خالص آهن تا اکسیدهای خالص منگنز است که تقریباً در همه محیط‌های دریایی عمیق و به‌شکل‌های رسوب کلوئیدهای اکسید-هیدروکسید از آب سرد دریا (تشکیل پوسته‌های فرومگننگز) یا از آب‌های منفذی (نودول‌های پلی متال) و رسوب مستقیم از سیال گرمآبی رخ می‌دهد (Ewan et al., 2017). برخی از این نهشته‌ها دارای غلظت بالای فلزاتی مانند Zn, Co, Ni, Cu, عناصر نادرخاکی REE, عناصر با قدرت میدان بالا HFSE, Te و Pt هستند و حتی به عنوان یک منبع معدنی فلزی بالقوه در نظر گرفته می‌شوند. البته انواع گرمآبی بخاطر تفریق سولفیدهای فلزی در عمق، شستشوی جزئی فلزات سنگ‌های آذرین توسط سیالات گرمابی دمایی پایین و/یا تخلیه فلزات در ستون آب قبل از ته‌نشست اکسی-هیدروکسید منگنز، معمولاً فلزات همراه کمتری دارند (Hein et al., 2008). با این‌وجود در صورت فقدان نهشت ماسیوسولفیدها در عمق، باقی ماندن مس، روی، کبالت و نیکل در سیال گرمآبی، به دام افتادن فلزات در زیرسطح تخلیه در ستون آب و توانایی برخی کانی‌ها (مانند برنسیت و بوسریت/تودوروکیت) برای جذب کبالت، نیکل و مس از محلول‌های گرمابی، احتمال غنی‌شدگی فلزی در این نهشته‌ها نیز وجود دارد (Ewan et al., 2017). ازینرو مطالعه ژئوشیمیایی نهشته‌های منگنز برای تشخیص منشأ کانه منگنز و وجود فلزات ارزشمند همراه آن اهمیت بیشتری می‌یابد.

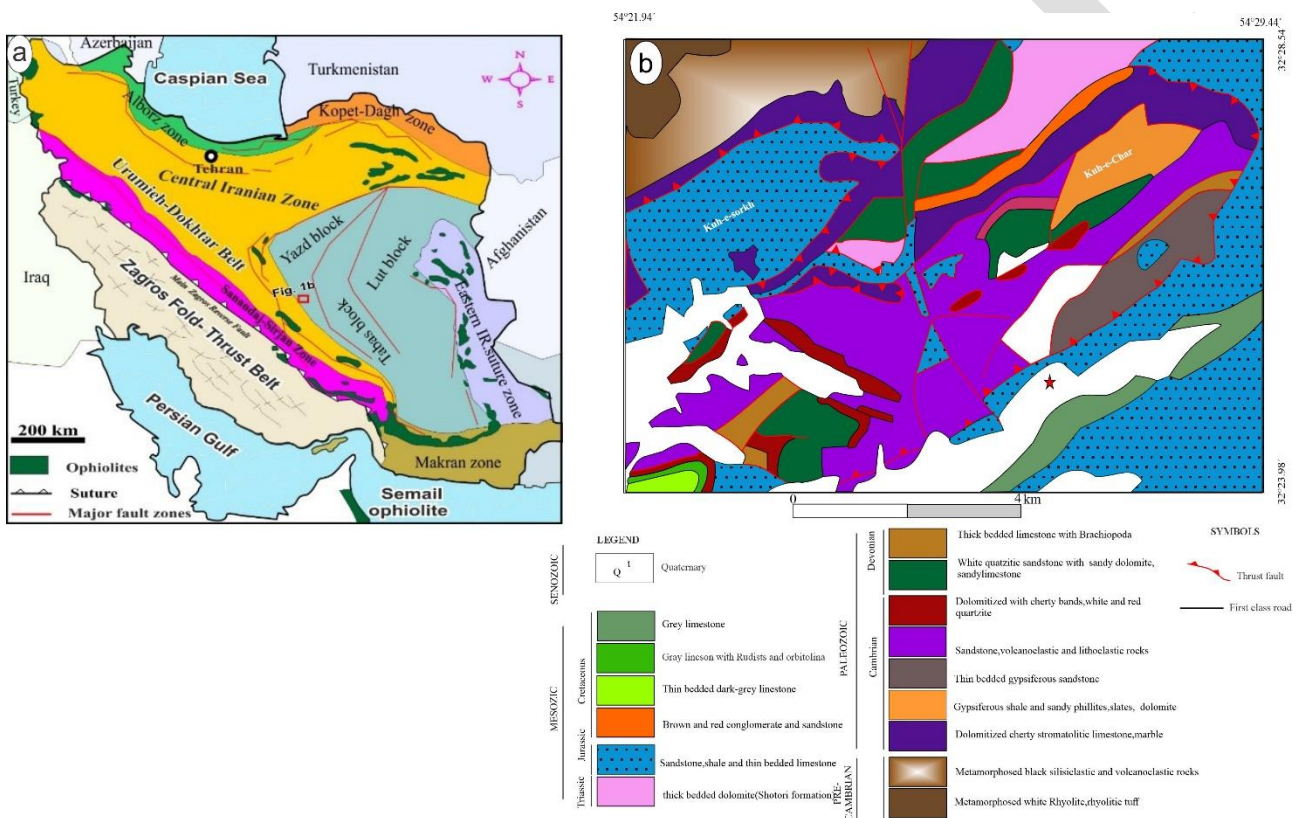
۲- زمین‌شناسی

نهشته منگنز کوه چهر در ۴۵ کیلومتری شمال خاوری اردکان واقع شده است و از نظر پهنه‌های زمین‌ساختاری ایران متعلق به بلوک یزد در ایران مرکزی است. بلوک یزد بخشی از خرده قاره ایران مرکزی است (شکل ۱a) که در دوره‌های مختلف زمین‌شناسی رخدادهای متنوع زمین‌شناسی را پشت سر گذاشته که اغلب با کانه‌زایی نیز همراه بوده است. سه بلوک یزد، طبس و لوت بخش میانی ایران مرکزی را تشکیل داده‌اند که با غسل‌های امتداد لغز از هم جدا شده‌اند. بلوک یزد در اواخر نئوپروتریویک و اوایل کامبرین و در اثر ریفیتیگ در پشت کمان مرتبط با باز شدگی پروتوتتیس تشکیل شده و در اثر فرورانش اقیانوس پروتوتتیس به زیر حاشیه شمالی گندوانا متحمل ماگماتیسم و دگرگونی گسترده‌ای شده است (Ramezani and Taker 2003; Nouri et al. 2021; 2022). همچنین باز شدن اقیانوس‌های پالئوتتیس و نئوتتیس به ترتیب در دوره

(Marbouti, 2021; Marbouti, et al., 2021) و در کمربند ماگمایی ارومیه-دختر در ایران مرکزی مانند کانسار منگنز و نارچ قم و شهرستانک (Maanijou et al 2015) که در سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن بصورت برون‌دمی-آتشفشانی تشکیل شده‌اند. نهشته‌های منگنز بدو صورت اولیه و ثانویه تشکیل می‌شوند. نهشته منگنز اولیه در اثر فعالیت‌های گرمآبی، دیاژنز و آبراد و کانسارهای ثانویه در اثر فرآیندهای برونزاد یا سوپرژن تشکیل می‌شوند (Maynard, 2003). نهشته‌های منگنز، گاهی نیز در اثر ترکیبی از این فرآیندها تشکیل می‌شوند. کانسارهای گرمابی و کانسارهای برون‌دمی یا آتشفشانی-رسوبی منگنز از انواع اولیه هستند که از ته نشست مستقیم و سریع از سیالات گرم غنی از فلز، در محیط‌های قدیمی و جوان دریایی مجاور مراکز گسترش کف اقیانوسی، سی مونت‌ها و یا جزایر قوسی مرتبط با فرورانش و اطراف چشمه‌های آب داغ زیردریایی تشکیل می‌شوند. تشکیل کانسارهای منگنز گرمآبی به ترکیب شیمیایی اولیه ماگما، دما، فشار و ترکیب سیال کانه‌ساز بستگی دارد. نهشته‌های دیاژنزی به صورت نودول و رسوب از سیالات منفذی که با مواد موجود در بخش‌های مختلف رسوبات واکنش داشته‌اند تشکیل می‌شوند. این نهشته‌ها ممکن است با اکسیداسیون مواد آلی مرتبط بوده و کانسارهای کربنات-منگنز رسوبی را تشکیل دهند (Khan et al., 2020). نهشته‌های آبراد یا رسوبی از ته نشست آرام پوسته‌های آهن منگن‌دار از آب در شرایط راکد در کف دریا و یا رسوبگذاری در محیط‌های پایدار آب شیرین تشکیل می‌شوند. بطورکلی در سیال گرمابی مقدار منگنز بیشتر از آهن است. جدایش آهن و منگنز در سیال‌های گرمابی به درجه حلالیت آنها و همچنین فاصله نهشت کانه تا محل فعالیت ماگمایی بستگی دارد. اما در نهشته‌های سوپرژن جدایش این دو عنصر بشدت تحت تاثیر فرآیندهای هوازدگی و فرسایش است. شرایط Eh و pH محیط‌های رسوبی، نقش مهمی در تحرک یون فلزی و تفریق بین آهن و منگنز دارد. حلالیت منگنز نسبت به آهن زیاد است و در دامنه گسترده‌ای از شرایط Eh و pH محلول است در حالیکه در شرایط احیا سولفید آهن با درجه انحلال کم تشکیل می‌شود و منگنز، سولفیدی با این ویژگی ندارد. با افزایش pH آهن و در فرآیندهای آلی، منگنز بیشتر ته نشست می‌کند (Ewan et al., 2017).

نهشته‌های حاوی کانه منگنز در میان رسوبات کواترنری نزدیک واحدهای سنگی ژوراسیک دیده می‌شوند. بنظر می‌رسد نهشته اصلی توسط گسل جابجا و در رسوبات عهد حاضر حاوی لیمونیت رخمون پیدا کرده است (شکل ۲) و در حین جابجایی، فرآیندهای سوپرژن و هوازدگی بروی آن تأثیر گذاشته‌اند. کانه سیاه رنگ پیرولولزیت با جلای فلزی و ساخت شعاعی، رشته‌ای بصورت متخلخل و شکاف پرکن (شکل ۲) همراه با لیمونیت، کلسیت و آراگونیت در نمونه دستی قابل تشخیص است. نهشته گاهی برشی شده و فازهای کانه‌دار غالب در زمینه غنی از گوتیت، لیمونیت، کلسیت و بمقدار کمتر هماتیت دیده می‌شوند.

اردوئیسین و پرمین پسین و همچنین بسته شدن آنها منجر به حوادث تکتونوماگمایی مختلفی از مزوزوئیک تا پلیوکواترنر در این پهنه شده است (Ramezani and Taker 2003; Khodami et al., 2021; Khodami 2019). سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه عمدتاً شامل شیل و ماسه‌سنگ با میان لایه‌های آهک نازک لایه و رگه‌های چرتی ژوراسیک و آهک کرتاسه است که با کنناکت گسلی در مجاورت سازندهای کامبرین با تناوب ماسه‌سنگ و ولکانوکلاستیک، دولومیت، کواترتیزیت و در بالاترین بخش شیل و اسلیت و فیلیت قرار می‌گیرند. مخروطه افکنه‌ها، پادگانه‌های آبرفتی و آبرفت‌های سخت نشده جوان‌ترین رسوبات منطقه می‌باشند (شکل ۱b).



شکل ۱- (a) موقعیت منطقه در نقشه زمین شناسی ایران (Shabanian et al., 2018) و (b) موقعیت نهشته منگنز در نقشه زمین شناسی ساده شده (Yousefi and Jafarian, 2005) ۱:۱۰۰۰۰۰ اردکان

Fig. 1. (a) The location of the study area is shown on the geological map of the structural zones of Iran (Shabanian et al., 2018) and (b) The location of the Mn deposit in the Simplified Geological map of Ardekan, 1:100000 (Yousefi and Jafarian, 2005)



شکل ۲- (a) تصویر صحرایی سنگهای کربناته و عدسی‌های چرتی در مجاورت نهشته، (b) محصولات هوازده حاوی لیمونیت در سنگ دربرگیرنده، (c) نهشته منگنز برشی شده، (d) نمونه دستی پیرولوژیت بصورت پر کننده فضای خالی با بلورهای شعاعی و رگه‌های کلسیت، (e) تصویر مقطع صیقلی از پیرولوژیت با بافت پرکننده فضای خالی، PPL، (f) تصویر مقطع صیقلی پیرولوژیت با رخ مشخص، PPL و (g) تصویر مقطع صیقلی پیرولوژیت با رخ مشخص و انیزوتروپی، XPL.

Fig 2. (a) Photograph of carbonate rocks and chert lenses near the Mn deposit, (b) weathered products containing limonite and Mn deposit, (c) breccial manganese deposit, (d) macroscopic sample of pyrolusite with open space filling texture and radial crystals, (e) Microscopic photograph of polished section of pyrolusite with open space filling texture PPL, (f) Microscopic photograph of polished section of pyrolusite with typical cleavage, PPL, and (g) Microscopic photograph of polished section of pyrolusite with typical cleavage and anisotropy, XPL.

۳- روش تحقیق

پژوهش با گردآوری اطلاعات در مورد منطقه و موضوع آغاز و با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای دنبال شد. مطالعات صحرایی با نمونه برداری از واحدهای سنگ‌شناسی و بخش‌های حاوی کانه زایی منگنز انجام شد. مقاطع نازک و صیقلی از نمونه‌های سنگی و کانه‌دار تهیه و مورد مطالعه پتروگرافی و مینرالوگرافی قرار گرفتند. آنالیز پراش اشعه ایکس XRD بروی نمونه‌ها در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه یزد و همچنین کانسارن بینالود انجام گرفت و سپس بروی ۶ نمونه حاوی کانه منگنز آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه زراژما تهران انجام شد. در نهایت داده‌ها با نرم افزار GCDkit (Janoušek et al., 2006) و Excel پردازش و تفسیر شدند.

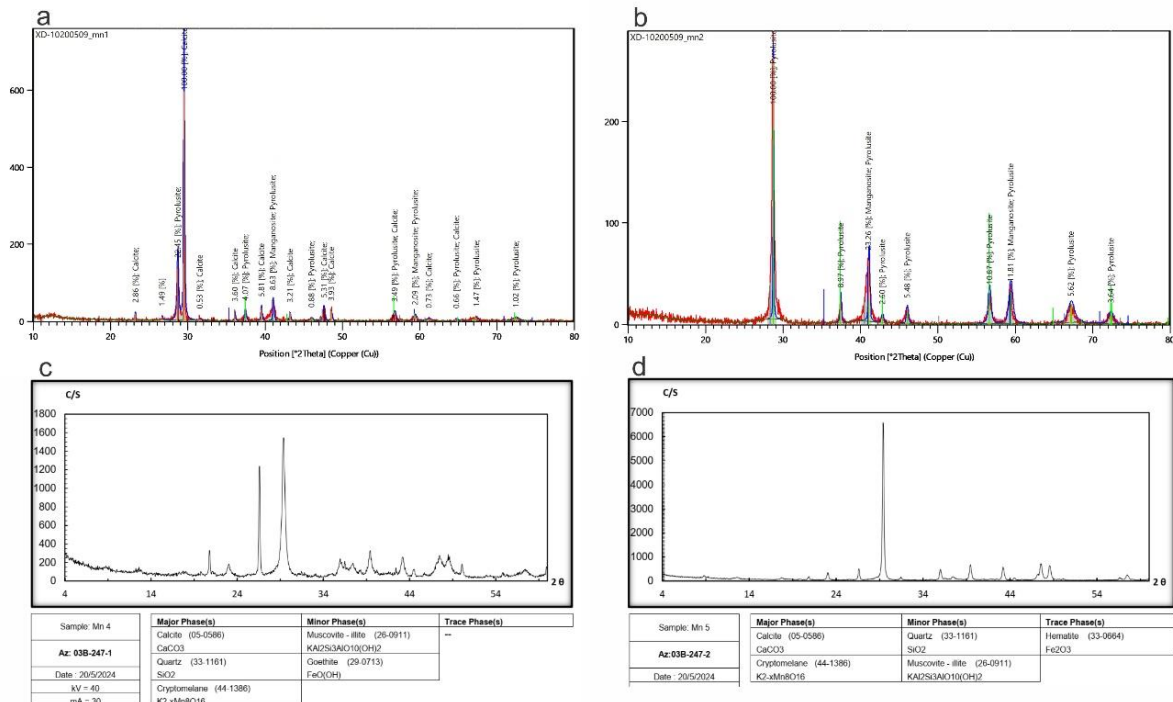
۴- نتایج

۴-۱- کانی شناسی

پیرولوژیت اصلی‌ترین کانه منگنز است که بیشتر در شرایط گرم‌آبی و یا سوپرژن تشکیل می‌شود این کانی در مقاطع صیقلی با تجمعات بلورین شعاعی و سوزنی، با رنگ کرمی و ته رنگ زرد متمایل به خاکستری و چندرنگی ضعیف، کلیواژهای مشخص (۱۱۰) و انیزوتروپی قوی زرد، قهوه‌ای، آبی قابل تشخیص است (شکل ۲f، ۲g). نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس XRD حاکی از حضور فازهای اصلی پیرولوژیت MnO_2 ، کریپتوملان $K(Mn^{4+} Mn^{2+})_8O_{16}$ (همراه با باریم، روی و کمی آب)، منگانوزیت MnO ، کلسیت، کوارتز و فازهای فرعی ایلیت

پتاسیم را نشان می‌دهند (Edwards and Atkinson, 1986). مقادیر ناچیز کانی آهن‌دار نشانه تفکیک شدید آهن و منگنز است که بیشتر در شرایط گرمابی رخ می‌دهد.

(مسکویت)، هماتیت و گوتیت است (شکل ۳). کریپتوملان در زون اکسیداسیون کانسارهای منگنز و منگنوزیت از دگرگونی نهشته‌های منگنزدار ایجاد می‌شوند. همراهی پیرولوزیت و کریپتوملان شرایط اکسیداسیون و محیط اسیدی با حضور



شکل ۳- نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس از نمونه‌های منگنز دار
Fig. 3. The results of X-ray diffraction analysis of the manganese samples.

رسوبات برون‌دیمی بین ۱/۰-۰/۱، در رسوبات آزاد برابر با یک و برای نهشته‌های منگنز در محیط‌های دریاچه‌ای کمتر از یک است (Nicholson, 1992a; 1992b; Hein et al, 2008). مقادیر بالای این نسبت در نهشته مورد مطالعه منشأ گرمابی را تقویت می‌کند (Glasby, 1997). نسبت بالای Mn/Fe همچنین نشانه بالا بودن سطح اکسیژن و غلظت بالای منگنز است (Sasmaz et al., 2020). سیلیسیوم، آلومینیوم و تیتانیوم نیز برای ارزیابی منشأ رسوبات منگنزدار مناسب هستند. مقادیر آلومینیوم، بخشی از SiO₂، K₂O، MgO، Na₂O و TiO₂ کانسار با اجزا آواری-آتشفشانی و عناصر کمیاب توسط جذب بر روی اکسیدهای منگنز و آهن کنترل می‌شوند. بیشتر محتوای و بهترین کانی میزبان مطلوب در نهشته برای آلومینیوم، فاز سیلیکات آلومینیوم (ایلپیت) و برای پتاسیم، باریم و سرب، کریپتوملان است.

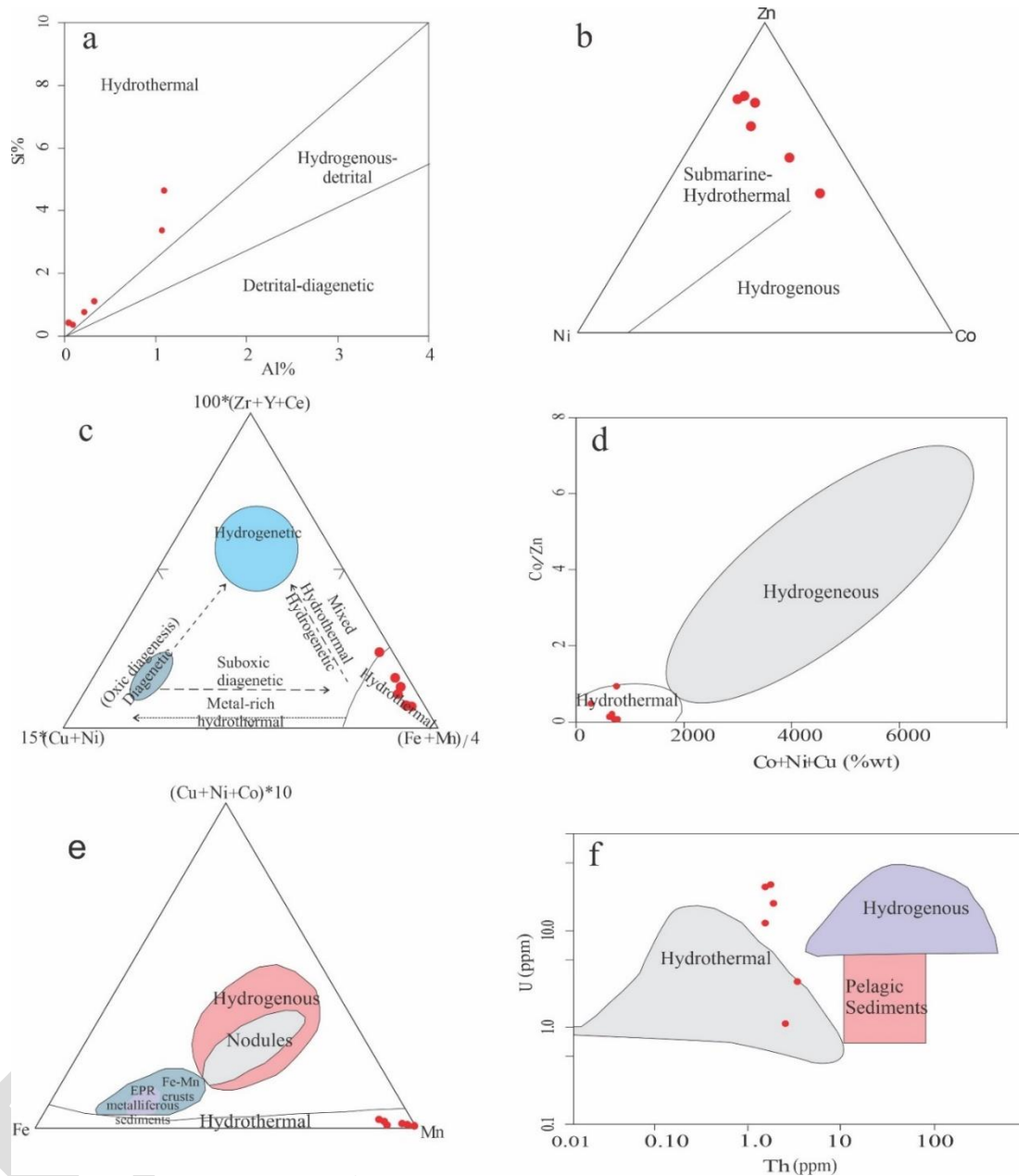
۲-۴- ژئوشیمی

برای پی بردن به چگونگی پیدایش، منشأ، فرآیندهای موثر در تشکیل و شرایط ژئوشیمیایی محیط کانه منگنز از داده‌های ژئوشیمیایی و بررسی عناصر اصلی و کمیاب استفاده می‌گردد. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های نهشته منگنز در جدول ۱ آورده شده است. عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل نهشته منگنز برای تفکیک انواع ذخایر منگنز مفید می‌باشند. تغییرات شیمیایی کلی نهشته منگنز به عواملی مانند کانی‌شناسی، ترکیب سنگ منشأ، نفوذپذیری سنگ دربرگیرنده، نوع و ترکیب سیال، درجه اختلاط سیال با سیالات دیگر حوضه، عمق، دما و طول عمر منبع تامین کننده سیال، PH، Eh و شوری سیال گرمابی بستگی دارد (Ewans et al., 2017). یکی از شاخص‌های مهم در تشخیص نوع کانسار منگنز مقادیر و نسبت منگنز و آهن است. نسبت‌های Mn/Fe در رسوبات گرمابی بیش از ۱۰، در

جدول ۱- نتایج آنالیز ICP-MS نهشته منگنز کوه چهر

Table 1. The result of ICP-MS analyses of the Kuh-e-Chehr Mn deposit

	MN-1	MN-2	MN-4	MN-5	MN7	MN8
SiO ₂	2.37	0.81	9.97	7.23	0.95	1.67
TiO ₂	0.02	0.02	0.11	0.09	0.02	0.02
Al ₂ O ₃	0.61	0.16	2.06	2.01	0.07	0.40
Fe ₂ O ₃ ^{Total}	1.64	0.29	3.19	1.18	1.49	5.18
MnO	45.50	83.71	29.44	12.74	82.44	57.72
MgO	0.54	0.06	0.72	0.75	0.06	0.47
CaO	24.05	0.57	26.45	40.59	0.96	13.12
Na ₂ O	0.17	0.05	0.33	0.12	0.10	0.35
K ₂ O	0.26	0.11	1.33	0.90	0.06	0.19
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.07	0.05	0.12	0.17
Ba	3043	2118	12700	4460	1155	3300
Rb	10	8	25	19	39	41
Sr	1834	1878	4871	1615	1601	1924
Zr	59	92	53	30	91	121
Nb	1.40	1.30	2.00	1.80	0.80	0.80
Ni	402	539	167	89	583	386
Co	236	179	545	165	140	247
Zn	1270	2297	575	333	2198	1816
Cr	45	74	49	55	83	72
La	26	16	21	18	19	31
Ce	45	29	60	26	25	62
Pr	5	4	5	4	4	6
Nd	20	14	20	13	17	24
Sm	5	3	6	3	3	5
Eu	1.35	0.90	2.69	1.01	0.82	1.94
Gd	4.63	3.47	3.31	2.12	4.00	5.00
Tb	0.80	0.50	0.50	0.20	0.50	0.80
Dy	4.55	3.66	2.29	1.32	3.60	4.60
Er	3.24	3.17	1.12	0.67	3.90	4.30
Tm	0.40	0.50	0.20	0.20	0.50	0.50
Yb	1.65	2.00	0.45	0.10	2.42	2.77
Lu	0.50	0.60	0.30	0.20	0.70	0.70
Y	41.50	51.30	10.00	7.50	59.90	53.30
Cs	<0.5	<0.5	1.70	1.30	<0.5	<0.5
Ta	<0.1	<0.1	0.20	0.20	0.50	2.60
Hf	1.19	1.19	1.31	1.29	<0.5	<0.5
Th	1.40	1.40	3.10	2.30	1.60	1.70
U	12	28	3	1	30	19
V	12	7	76	47	11	30
Mo	87	139	63	43	156	126
Cu	3	2	21	8	10	6
Pb	36	60	44	28	79	65
As	24	30	29	23	29	45
Sc	3	5	1	1	4	4
Be	8	16	6	3	14	11
Cd	0.90	1.00	0.50	0.20	1.30	0.80
Sb	0.50	0.90	4.70	0.60	<0.5	0.70
LOI	23.82	13.32	24.15	33.42	12.66	19.41
La/Ce	0.58	0.55	0.35	0.69	0.76	0.50
Co/Ni	0.59	0.33	3.26	1.86	0.24	0.64
Co/Zn	0.19	0.08	0.95	0.50	0.06	0.14
Mn/Fe	30.72	319.60	10.22	11.95	61.26	12.34
Si/Al	3.43	4.47	4.27	3.18	11.98	3.69
U/Th	8.64	20.14	0.97	0.48	18.75	11.29
Sum REE	117.97	80.74	123.09	69.15	84.86	148.95



شکل ۴- (a) نمودار دوتایی Si به Al (Choi and Hariya, 1992) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه، (b) نمودار سه‌تایی Ni-Co-Zn (Choi and Hariya, 1992)، (c) نمودار سه‌تایی $(Ni+Cu) \cdot 15 - (Fe+Mn)/4 - (Zr+Y+Ce) \cdot 100$ (Bonatti et al., 1972)، (d) نمودار دوتایی $(Co/Zn) - (Co+Cu+Ni)$ (Toth, 1980)، (e) نمودار سه‌تایی $(Cu+Ni+Co) \cdot 10$ (Bonatti et al., 1972; Choi and Hariya, 1992; Shah and Moon, 2004) و (f) نمودار دوتایی Th-U (Bonatti et al., 1976) و قرارگیری نمونه‌ها در محدوده کنسارهای هیدروترمال در این نمودارها.

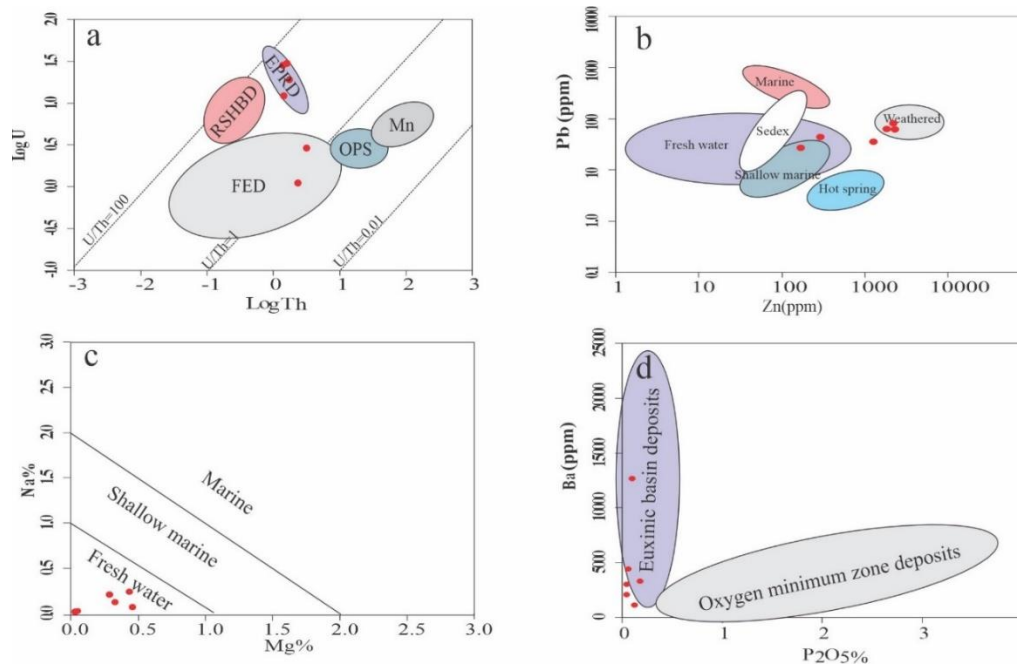
Fig. 4 (a) Binary diagram of Si vs. Al (Choi and Hariya, 1992) and plot of samples, (b) Ni-Co-Zn diagram (Choi and Hariya, 1992), (c) Ternary diagram of $(Ni+Cu) \cdot 15 - (Fe+Mn)/4 - (Zr+Y+Ce) \cdot 100$ (Bonatti et al., 1972), (d) Binary diagram of $(Co/Zn) - (Co+Cu+Ni)$ (Toth, 1980), (e) Ternary diagram of $(Cu+Ni+Co) \cdot 10$ (Bonatti et al., 1972; Crerar et al., 1982; Choi and Hariya, 1992, Shah and Moon, 2004) and (f) $Th-U$ discrimination diagram of Th-U (Bonatti et al., 1976). Manganese ore samples plot in hydrothermal fields.

کانسارهای آزاد از کانسارهای گرمابی (Co+Cu+Ni)- (Co/Zn) نیز در محدوده گرمابی قرار می‌گیرند (Toth, 1980) (شکل ۴ d). کانسارهای گرمابی در مقایسه با انواع آزاد به طور مشخص دارای غلظت کم Co و Ni هستند مقادیر پایین عناصر Co و Ni بیانگر ورود اندک این عناصر از طریق فعالیت گرمابی و یا کمبود در منشأ ماگمای اولیه حاوی سیال گرمابی است. در حالی که انواع آزاد حاوی مقادیر بالاتر مس، کبالت و نیکل هستند. ازینرو در نمودار سه‌تایی Fe-Mn-10*(Co+Cu+Ni) که کانسارهای رسوبی دریایی منگنز را از کانسارهای گرمابی آهن- منگنز تفکیک می‌کند (Crerar et al., 1982) نمونه‌های مورد مطالعه از عناصر نیکل، مس، کبالت فقیر و در محدوده گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۴ e). همچنین نمودار U-Th کانسارهای گرمابی، آزاد و رسوبات پلاژیک را از هم تفکیک می‌کند (Bonatti et al., 1976). نهشته‌ها آزاد که مواد آواری بیشتر و حضور طولانی‌تری در آب دریا دارند مقادیر توریم بیشتری نسبت به اورانیوم دارند، درحالی‌که نهشته شدن سریع طی فرآیندهای گرمابی غنی‌سازی بیشتری از اورانیوم ایجاد می‌کند (Rona et al., 1983). نمونه‌های مورد مطالعه اورانیوم بالاتری داشته و در محدوده گرمابی و نزدیک به آن قرار می‌گیرند (شکل ۴ f).

۵- بحث

نتایج نشان می‌دهد که نهشته منگنز شمال شرق اردکان یک نهشته گرمابی است که دچار جابجایی و هوازدگی شده است، ازینرو برخی از ویژگی‌های شیمیایی آن با کانسارهای گرمابی متفاوت است. نمونه‌های نهشته منگنز مورد مطالعه در نمودار Log Th در برابر Log U مشابهتی با نهشته‌های برون‌دمی قدیمی و نهشته‌های برآمدگی شرق اقیانوس آرام EPR نشان می‌دهند (شکل ۵ a). سیالات گرمابی EPR در حین اختلاط با آب سرد دریا که حالت اکسیدی دارد می‌توانند در کف دریا نهشته ایجاد کنند (Josso et al., 2017) نسبت‌های U/Th بالاتر از یک نشان‌دهنده نهشت سریع در حضور سیالات گرمابی و تأثیر کمتر مواد آواری ورودی به حوضه است (Jach and Dudek, 2006). نمودار Pb-Zn برای تفکیک کانسارهای تیپ دابهیت از دیگر کانسارهای اکسیدی منگنز استفاده می‌شود. کانسارهای تیپ دابهیت نوعی کانسار اکسیدی منگنز هستند که از هوازدگی توالی‌های مینرالیزه قبلی کانی‌های فلزی پایه و ارزشمند و باطله آنها بوجود می‌آید. در این نمودار مقادیر سرب

مقدار سیلیسیوم شاخص فرآیندهای فورانی زیردریایی و تخلیه فلز در داخل رسوبات دریایی و منشأ گرمابی است و مقدار آلومینیوم حاصل تخریب و تجزیه فلدسپارها در طی فرآیند حمل و نقل از خشکی به حوضه رسوبی است و به‌همراه تیتانیوم منشأ تخریبی رسوبی را نشان می‌دهند (Choi and Hariya, 1992). از این‌رو نسبت Si/Al کانسارهای گرمابی آهن منگن‌دار بالاست. در نمودار درصدوزنی Si در مقابل Al که محدوده نهشته‌های گرمابی از آزاد-آواری و دیاژنتیک-آواری را از هم جدا می‌کند، نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۴ a). همچنین کانسارهای گرمابی منگنز غنی‌شدگی بیشتری از عناصر Sr, Sb, Pb, Cu, Ba, As, Zn, V, Mo, Cd, Li, Ni, Cu, Co و کانسارهای رسوبی منگنز غنی‌شدگی بیشتری از عناصر K, Na, Ca, Mg, Sr, Co, Cu, Ni, Pb (Nicholson, 1992a) همچنین توسط اکسیدهای منگنز آبدار رسوبی و Li, Sc, Nb, Y در اجزا ولکانوکلاستیک آواری جذب می‌شوند (El-Shafei et al., 2022). کلوئیدهای اکسیدی منگنز با بار منفی ظرفیت بالایی برای جذب کاتیون‌ها دارند مقادیر این عناصر در نهشته‌های آزاد به دلیل جذب سطحی این کاتیون‌ها و حضور طولانی‌تر در آب دریا، نسبت به نهشته‌های گرمابی، بیشتر است و می‌تواند سبب غنی‌شدگی اقتصادی از بعضی از این عناصر شود (Toth, 1980). اما نهشت سریع کانه از سیالات گرمابی در محیط کم عمق، فاصله از منبع ماگمایی و نهشت اولیه سولفیدهای این فلزات در عمق مانع غنی‌شدگی از این فلزات در انواع گرمابی می‌شود. کبالت در نمونه‌های آزاد فراوان‌تر است در حالی‌که روی بیشتر در نهشته‌های گرمابی تجمع می‌یابد و نسبت کم Co/Zn کمتر از ۱ شاخص نهشته‌های گرمابی است (Marbouti et al., 2021). این نسبت برای نهشته مورد مطالعه ۰/۹۵-۰/۶ و مشابه نهشته‌های گرمابی است. همچنین در نمودار سه‌تایی Ni-Co-Zn نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده نهشته‌های گرمابی زیردریایی قرار می‌گیرند (شکل ۴ b). با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب نمودارهایی برای تفکیک انواع کانسار منگنز ارائه شده است. از جمله نمودار سه‌تایی Choi (1992) (Fe+Mn)/4-(Zr+Y+Ce)*100- 15*(Cu+Ni) (and Hariya, 1992) و نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار در محدوده کانسارهای آهن و منگنز گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۴ c). نمونه‌های مورد مطالعه در نمودار جدا کننده



شکل ۵- (a) نمودار Log U در برابر Log Th و موقعیت نمونه ها در آن (Rona, et al., 1983) Mn=Manganese Nodules, (EPRD=East Pacific rise Deposits, RSHBD=Red Sea Hot Brine Deposits, FED=Fossil Exhalative deposits, OPS=Ordinary Pelagic Sediments) نمودار (b) Zn در برابر Pb (Nicholson, 1992b) (c) نمودار درصد وزنی Mg در برابر Na (Nicholson, 1992a) و (d) نمودار Ba در برابر درصد P2O5 (Maynard, 2010) و موقعیت نمونه های آنالیز شده نهشته منگنز در آنها

Fig. 5. (a) Diagram of LogTh vs Log U (Rona, et al., 1983) (Mn=Manganese Nodules, EPRD=East Pacific Rise Deposits, RSHBD=Red Sea Hot Brine Deposits, FED=Fossil Exhalative deposits, OPS=Ordinary Pelagic Sediments), (b) Diagram of Pb vs. Zn (Nicholson, 1992b), (c) Na vs. Mg (Nicholson, 1992a) and their origin and (d) Diagram of Ba vs. P2O5 in Mn ores separate deposits into two major types (Maynard, 2010) and the position of manganese ore samples in the plots.

(1992a)، نمونه ها در محدوده کانسارهای تشکیل شده در محیط آب شیرین قرار می گیرند (شکل ۵ c). فرآیندهای سوپرژن عناصری مانند Ca، Mg و Si را از کانه های اولیه شسته و مقدار آنها را در ماده معدنی کاهش می دهند. دگرگونی هرچند ضعیف نیز نسبت Mg به Na را پایین می آورد (Shah and Moon, 2004) کاهش این مقادیر به سمت آب شیرین نشانه ای از هوازدگی و دگرسانی است. با توجه به این دو نمودار و حضور منگانوزیت و گوتیت نمونه ها تحت تاثیر فرآیندهای سوپرژن قرار گرفته اند. نمودار Ba برابر P2O5 که برای تعیین شرایط اکسیداسیون محیط تشکیل کانسارهای فرومنگنز استفاده می شود یک محیط اکسیژن دار را برای این نهشته نشان می دهد (شکل ۵ d) (Maynard, 2010). شرایط اکسیدان باعث جذب عناصری مانند K، Ba در ساختار کانی منگنزدار و خروج برخی از عناصر نادر می شود (Mohapatra et al., 2009) که با حضور کریپتوملان در نهشته سازگار است. در محیط سوپرژن آب

و روی دابیهیت ها بالاتر از دیگر کانسارهای تشکیل شده در محیط دریایی، چشمه های آب گرم، برونومی و کانسارهای حاصل از فرآیندهای هوازدگی است (Nicholson, 1992b)، نمونه های نهشته کوه چهر پراکندگی در محدوده کانسارهای تشکیل شده در محیط های دریایی کم عمق تا آب شیرین و نهشته های هوازده دارند و از نوع دابیهیت نیستند (شکل ۵ b). نهشته های منگنز-آهن گرمابی و کانسارهای سرب-روی، محصولات سامانه های گرمابی مرتبط در نظر گرفته می شوند، اما تفاوت در میل ترکیبی ژئوشیمیایی عناصر منجر به تشکیل کانسارهای منگنز-آهن در شرایط اکسیدان و در مقابل سرب و روی در شرایط احیایی (اغلب در میزبان کربناته) می شوند (Ehya and Marbouti, 2021) و ازینرو احتمال کانی زائی سرب و روی مرتبط با نهشته منگنز در منطقه وجود دارد. در نمودار دوتایی مرتبط با نهشته منگنز در منطقه وجود دارد. در نمودار دوتایی Na، Mg که محیط تشکیل نهشته ها در محیط های دریایی کم عمق، عمیق و آب شیرین را نشان می دهد (Nicholson, .)

سیال گرمایی و یا سنگ میزبان با ترکیب کربناته و عاری از رس و مواد آواری است (El-Shafei et al., 2022). از دیگر تفاوت‌های بارز بین دو نوع آبراد و گرمابی، تفاوت الگوی آنومالی Ce است که به عواملی همچون دمای سیال، نزدیکی به منبع گرمابی، شرایط احیاء و مقدار آلایش با آب‌های دریایی و جوی بستگی دارد. بخاطر جذب بیشتر یون سریم در کانسارهای آبراد آنومالی سریم انواع آبراد مثبت است اما در کانسارهای گرمابی اغلب ناهنجاری منفی قوی وجود دارد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد که آب دریا و رسوبات گرمابی فرومگنز در پوسته اقیانوسی ناهنجاری‌های La, Y, Gd مثبت و Ce منفی، تهی‌شدگی LREE و غنی‌شدگی HREE دارند (Aydoğan, 2021).

سرعت ته‌نشست و مقدار اختلاط با آب دریا عامل بسیاری از ناهنجاری منفی قوی در نهشته‌های گرمابی است. اختلاط آب دریا و سیال گرمابی زیردریایی باعث ناهنجاری مثبت La, Eu, Y و کاهش REE سبک، و غنی‌شدگی از REE سنگین می‌شود (Hein et al., 1997). ازینرو با وجود اینکه در بسیاری از کانسارهای مگناز گرمابی ناهنجاری منفی دیده می‌شود، اما ناهنجاری یوروییوم نشان‌دهنده منشأ واحدی برای این کانسارها نیست و این ناهنجاری بسته به ترکیب سنگ‌هایی که سیالات گرمابی از میان آنها عبور کرده و فاصله سیال گرمابی از منشأ می‌تواند تغییر یابد. از طرفی جدایش مگناز از سیال تدریجی است و جذب یوروییوم در مسیر نهشت کانه می‌تواند این ناهنجاری را از مقادیر مثبت حتی به مقادیر منفی تغییر دهد (Glasby, 1997). مقادیر Eu/Eu^* رسوبات تحت تاثیر بروندمی فعالیت‌های آتشفشانی در محیط زیردریایی می‌تواند بیش از ۱/۸ باشد. در حالی که در ذخایر غیرمرتبط با بروندمی فعالیت آتشفشانی، Eu/Eu^* کمتر از ۱/۸ است (Men et al., 2020). در این نهشته مقادیر Eu/Eu^* بین ۰/۶-۱/۸ می‌باشد که نشانه فقدان ارتباط مستقیم و نزدیک با آتشفشان‌های زیردریایی و فاصله زیاد سیال گرمابی از منشأ ماگمایی نسبت به محل نهشت ذخیره مگناز است. نسبت La/Ce نهشته مورد مطالعه در محدوده بین ۰/۶۵ و ۳/۰۷ با میانگین ۱/۸۲ و این مقادیر نزدیک به ذخایر گرمابی دریایی در اقیانوس آرام است (Douville et al., 1999). نمونه‌های مورد مطالعه با سنگ‌های رسوبی بعد از آرکئن استرالیا نیز PAAS (Post Archean Australian Sedimentary Rocks) Taylor

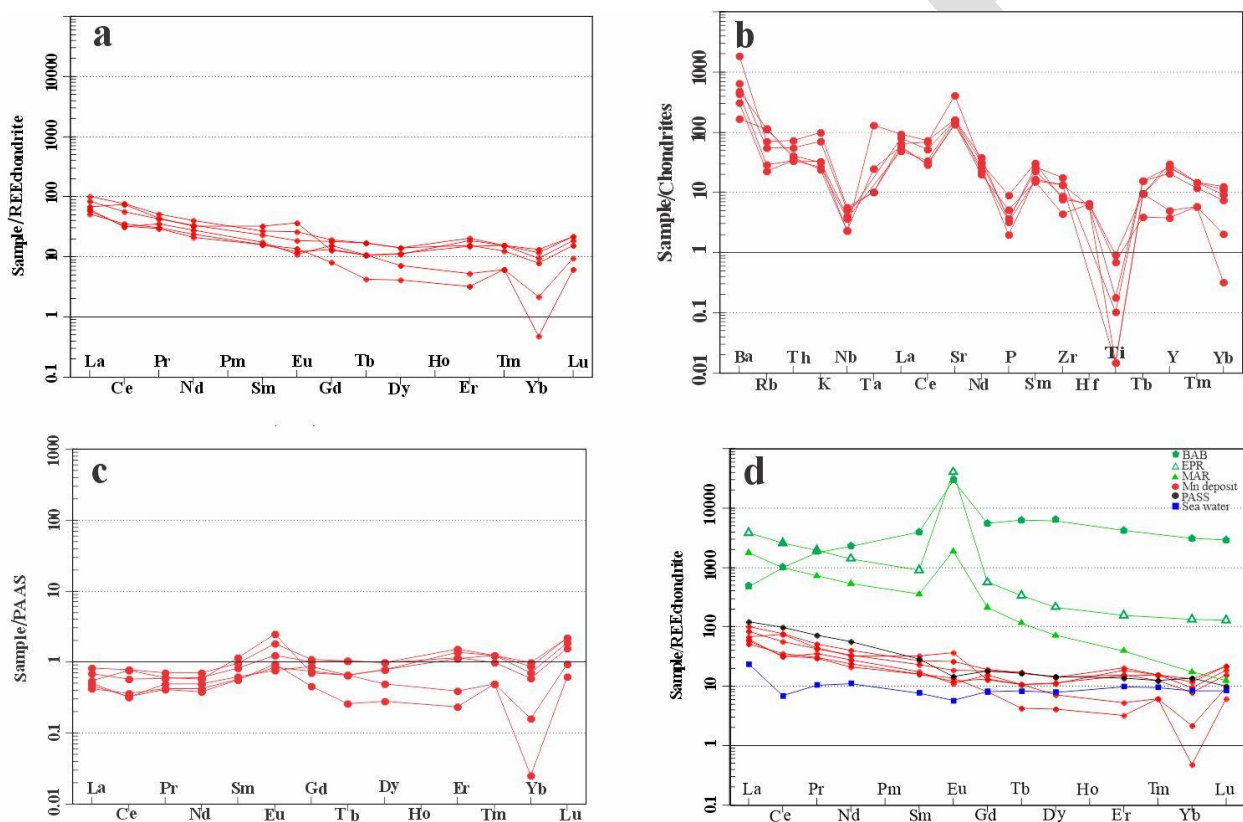
شیرین، مگناز می‌تواند همراه با برخی عناصر کمیاب وارد محلول شده، مهاجرت کرده و در امتداد سطوح مناسب ساختاری ضعیف رسوب می‌کنند و نهشته‌های جدید پرکننده فضای خالی تشکیل دهد. فرآیند جابجایی از طریق انحلال، انتقال مجدد و رسوب و تبلور مجدد اکسیدهای مگناز جدید ایجاد می‌کند که گاهی باعث بهبود کیفیت نهشته مگناز می‌شود. کاهش غلظت عناصر کمیاب در نمونه‌های مورد مطالعه با هوازگی بیشتر می‌تواند ناشی از خروج بخشی از عناصر کمیاب از ساختار کانه مگناز در حین فرآیند اکسیداسیون و تبلور مجدد باشد. همبستگی مثبت مگناز با سرب و روی، و همبستگی منفی با منیزیم، کلسیم و پتاسیم نیز می‌تواند بخاطر فرآیندهای سوپرژن باشد (جدول ۲). فقدان کانی‌های مگناز کلسیم دار باعث محتوای پائین کلسیم شده بجز در بخش‌های هوازده که دارای رگه‌های کلسیت ثانویه‌اند. همچنین همبستگی منفی با سیلیس، تیتانیوم و آلومینیوم نشانه عدم دخالت اجزا آواری در حین تشکیل نهشته مگناز و همبستگی مثبت اکسید مگناز با روی، مولیبدن، اورانیوم، وانادیوم، نیکل، کروم، حاکی از نقش مهم‌تر سیال گرمابی در تشکیل نهشته است (جدول ۲).

۵-۱- الگوی عناصر نادر خاکی

فراوانی عناصر نادر خاکی در کانسارهای مگناز نوع گرمابی و آبراد با هم تفاوت‌هایی دارند میزان غنی‌شدگی عناصر نادر خاکی در کانسارهای تیب آبراد چندین برابر کانسارهای گرمابی است. مجموع عناصر نادر خاکی $\Sigma REEs$ کانسارهای مگناز گرمابی در حدود ۱۰۰ و در کانسارهای آبراد نزدیک به ۱۰۰۰ ppm است (Hein et al., 1997). در نمونه‌های مورد مطالعه $148/95-80/74 \Sigma REEs$ است که نسبتاً پایین و همخوانی بیشتری با الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در کانسارهای با منشأ گرمابی دارد. الگوی بهنجار شده با کندریت غنی‌شدگی نسبی از LREE با آنومالی سریم منفی تا مثبت (۱/۱-۰/۵) و آنومالی بیشتر مثبت اوروییوم (۱/۷۹-۰/۶) را نشان می‌دهد (شکل ۶ a). در نمونه‌های با عیار پائین تر تهی‌شدگی مشهودی از عناصر نادر خاکی سنگین وجود دارد که با توجه به همبستگی مثبت این عناصر با مگناز توجیه می‌شود (جدول‌های ۲ و ۳). در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب و نادر خاکی بهنجار شده با کندریت غنی‌شدگی از استرانسیوم، باریوم و آنومالی منفی تیتانیوم، نیوبیوم و فسفر دیده می‌شود (شکل ۶ b). تهی‌شدگی از Zr, Ti, REE و غنی‌شدگی از Ba, Sr نشانه نهشت سریع از

$La/Yb_{SN} < 1$ نشان دهنده اختلاط آب دریا با سیالات گرمایی است (Aydoğan, 2021) (زیرنویس "SN" مقادیر نرمال شده با PAAS را نشان می‌دهد). این نسبت برای نمونه‌ها (بجز نمونه‌های هوازه) بین ۰/۵-۱/۱ است. غنی‌شدگی HREE نسبت به LREE همراه با آنومالی منفی Ce و آنومالی مثبت Eu نشانه محیط اکسیدان و اختلاط با آب دریاست. آب‌های کم اکسیژن و یا بدون اکسیژن فاقد ناهنجاری Ce منفی هستند (Aydoğan, 2021).

(and McLennan, 1985) و الگوی عناصر نادر خاکی آنها بجز نمونه‌های با عیار پایین‌تر منگنز و هوازدگی بیشتر که تهی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین دارند، ناهنجاری مثبت اوروپیم، ناهنجاری منفی ضعیفی از Ce، تهی‌شدگی نسبی از عناصر نادر خاکی سبک و غنی‌شدگی از عناصر نادر خاکی سنگین نشان می‌دهد (شکل ۶ c). تعبیر وجود یا عدم وجود ناهنجاری Ce اغلب به دلیل رفتار غیرعادی La پیچیده است. نسبت $La/Yb_{SN} > 1$ نشان دهنده سیال گرمایی با غنی‌شدگی بیشتر LREE نسبت به HREE است درحالی‌که نسبت



شکل ۶- (a) الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه‌های نهشته منگنز، بهنجار شده با کندریت (Boynton, 1984)، (b) مقایسه الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نمونه‌های نهشته منگنز با PAAS، (c) الگوی توزیع عناصر کمیاب و نادر خاکی در نمونه‌های نهشته منگنز، بهنجار شده با کندریت و (d) نمودار بهنجار شده با کندریت نهشته مورد مطالعه Mn deposit با الگوی عناصر نادر PASS، سیالات گرمایی داغ پشته میان اقیانوسی آتلانتیک MAR، برآمدگی شرق اقیانوس آرام EPR، یک نمونه از حوضه پشت کمان BAB (Douville et al., 1999) و آب اقیانوس آرام (Alibo and Nozaki, 1999).

Fig. 6. The distribution of rare earth elements in manganese deposit samples, normalized to (a) chondrite Boynton, (1984) (b) PASS (Taylor and McLennan, 1985) (c) Trace and rare earth elements pattern normalized to chondrite (d) Comparison of the distribution of rare earth elements of the manganese deposit samples normalized to chondrite with PASS (Post Archean Australian Sedimentary Rocks), MAR (Mid Atlantic ridge), EPR (East Pacific rise), BAB (Back Arc Basin) (data from Douville et al., 1999), Sea water (data from Alibo and Nozaki, 1999).

جدول ۲- نتایج ضرایب همبستگی پیرسون

Table 2- Results of Pearson correlation coefficients

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ Total	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Ba	Rb	Sr	Zr	Nb
SiO ₂	1	.986**	.975**	0.143	-.839*	.814*	0.770	0.413	.998**	-.554	.894*	-.082	0.747	-.731	.879*
TiO ₂	.986**	1	.969**	0.065	-.801	0.746	0.731	0.316	.985**	-.511	.847*	-.070	0.697	-.730	.867*
Al ₂ O ₃	.975**	.969**	1	0.086	-.921**	.871*	.874*	0.333	.967**	-.609	0.788	-.148	0.593	-.799	.887*
Fe ₂ O ₃ Total	0.143	0.065	0.086	1	-.175	0.366	0.092	.939**	0.149	0.477	0.336	0.684	0.330	0.437	-.229
MnO	-.839*	-.801	-.921**	-.175	1	-.971**	-.990**	-.371	-.818*	0.653	-.601	0.155	-.358	0.779	-.765
MgO	.814*	0.746	.871*	0.366	-.971**	1	.947**	0.562	0.799	-.559	0.664	-.083	0.447	-.649	0.703
CaO	0.770	0.731	.874*	0.092	-.990**	.947**	1	0.275	0.745	-.707	0.498	-.226	0.245	-.809	0.740
Na ₂ O	0.413	0.316	0.333	.939**	-.371	0.562	0.275	1	0.424	0.220	0.619	0.499	0.600	0.187	0.087
K ₂ O	.998**	.985**	.967**	0.149	-.818*	0.799	0.745	0.424	1	-.531	.913*	-.096	0.775	-.708	.884*
P ₂ O ₅	-.554	-.511	-.609	0.477	0.653	-.559	-.707	0.220	-.531	1	-.337	0.631	-.199	.935**	-.764
Ba	.894*	.847*	0.788	0.336	-.601	0.664	0.498	0.619	.913*	-.337	1	-.013	.960**	-.442	0.755
Rb	-.082	-.070	-.148	0.684	0.155	-.083	-.226	0.499	-.096	0.631	-.013	1	0.026	0.507	-.546
Sr	0.747	0.697	0.593	0.330	-.358	0.447	0.245	0.600	0.775	-.199	.960**	0.026	1	-.258	0.617
Zr	-.731	-.730	-.799	0.437	0.779	-.649	-.809	0.187	-.708	.935**	-.442	0.507	-.258	1	-.859*
Nb	.879*	.867*	.887*	-.229	-.765	0.703	0.740	0.087	.884*	-.764	0.755	-.546	0.617	-.859*	1

جدول ۳- نتایج ضرایب همبستگی پیرسون

Table 3- Results of Pearson correlation coefficients

	MnO	Ni	Co	Zn	Cr	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tm	Yb	Lu	Y	Th	U	V	Mo	Cu	Pb	As
MnO	1	.972**	-.416	.985**	0.801	-.095	-.253	0.047	-.307	-.421	.913*	.843*	.893*	.916*	-.690	.988**	-.756	-.976**	-.409	.866*	0.368
Ni	.972**	1	-.487	.966**	0.709	-.011	-.275	0.094	-.334	-.485	.934**	.865*	.906*	.952**	-.793	.967**	-.851*	.952**	-.500	0.797	0.280
Co	-.416	-.487	1	-.490	-.540	0.171	0.738	0.418	.885*	.935**	-.548	-.411	-.404	-.534	0.794	-.535	0.801	-.445	0.799	-.256	0.037
Zn	.985**	.966**	-.490	1	.813*	0.024	-.213	0.113	-.318	-.438	.967**	.907*	.939**	.959**	-.766	.988**	-.802	.982**	-.515	.855*	0.465
Cr	0.801	0.709	-.540	.813*	1	-.164	-.368	-.114	-.433	-.466	0.741	0.705	0.749	0.736	-.473	.858*	-.526	.864*	-.256	.901*	0.542
La	-.095	-.011	0.171	0.024	-.164	1	0.765	.922**	0.599	0.471	0.237	0.429	0.338	0.241	-.143	-.086	0.013	0.040	-.106	0.052	0.640
Ce	-.253	-.275	0.738	-.213	-.368	0.765	1	.876*	.950**	.912*	-.119	0.087	0.028	-.128	0.377	-.326	0.493	-.187	0.384	-.068	0.561
Nd	0.047	0.094	0.418	0.113	-.114	.922**	.876*	1	0.788	0.653	0.257	0.468	0.409	0.279	-.008	0.008	0.105	0.156	0.135	0.221	0.665
Sm	-.307	-.334	.885*	-.318	-.433	0.599	.950**	0.788	1	.973**	-.276	-.069	-.099	-.257	0.563	-.400	0.632	-.261	0.623	-.087	0.372
Eu	-.421	-.485	.935**	-.438	-.466	0.471	.912*	0.653	.973**	1	-.425	-.232	-.259	-.421	0.707	-.512	0.772	-.385	0.701	-.181	0.325
Tm	.913*	.934**	-.548	.967**	0.741	0.237	-.119	0.257	-.276	-.425	1	.968**	.972**	.991**	-.851*	.934**	-.846*	.942**	-.625	0.789	0.542
Yb	.843*	.865*	-.411	.907*	0.705	0.429	0.087	0.468	-.069	-.232	.968**	1	.993**	.970**	-.745	.862*	-.0718	.913*	-.489	.821*	0.682
Lu	.893*	.906*	-.404	.939**	0.749	0.338	0.028	0.409	-.099	-.259	.972**	.993**	1	.981**	-.728	.907*	-.723	.952**	-.443	.871*	0.636
Y	.916*	.952**	-.534	.959**	0.736	0.241	-.128	0.279	-.257	-.421	.991**	.970**	.981**	1	-.835*	.937**	-.842*	.952**	-.567	.815*	0.499
Th	-.690	-.793	0.794	-.766	-.473	-.143	0.377	-.008	0.563	0.707	-.851*	-.745	-.728	-.835*	1	-.741	.982**	-.684	.907*	-.403	-.175
U	.988**	.967**	-.535	.988**	.858*	-.086	-.326	0.008	-.400	-.512	.934**	.862*	.907*	.937**	-.741	1	-.800	.985**	-.472	.876*	0.382
V	-.756	-.851*	0.801	-.802	-.526	0.013	0.493	0.105	0.632	0.772	-.846*	-.718	-.723	-.842*	.982**	-.800	1	-.729	.849*	-.457	-.070
Mo	.976**	.952**	-.445	.982**	.864*	0.040	-.187	0.156	-.261	-.385	.942**	.913*	.952**	.952**	-.684	.985**	-.729	1	-.383	.932**	0.498
Cu	-.409	-.500	0.799	-.515	-.256	-.106	0.384	0.135	0.623	0.701	-.625	-.489	-.443	-.567	.907*	-.472	.849*	-.383	1	-.066	-.089
Pb	.866*	0.797	-.256	.855*	.901*	0.052	-.068	0.221	-.087	-.181	0.789	.821*	.871*	.815*	-.403	.876*	-.457	.932**	-.066	1	0.590
As	0.368	0.280	0.037	0.465	0.502	0.640	0.561	0.665	0.372	0.325	0.542	0.682	0.636	0.499	-.175	0.382	-.070	0.498	-.089	0.590	1

دریا منفی نیست. این موضوع گویای این است که سیال گرمابی دخیل در تولید این نهشته با آب دریا اختلاط زیادی داشته است. از طرفی کاهش عیار منگنز و عناصر نادر خاکی سنگین و حضور کانی‌هایی مانند گوتیت، منگانوزیت و لیمونیت شواهدی از هوازگی پس از تشکیل از سیال گرمابی در بخشی از نهشته منگنز کوه چهر است.

میزان عناصر نادر خاکی این نهشته در مقایسه با نمودار عناصر نادر خاکی بهنجار شده با کندریت و سیالات گرمابی داغ پشته میان اقیانوسی آتلانتیک، برآمدگی شرق اقیانوس آرام، یک نمونه از حوضه پشت کمان پائین تر اما با روند تقریباً مشابه است (شکل ۶ d). (Douville et al., 1999) اما الگوی عناصر نادر خاکی آب اقیانوس آرام شباهت بیشتری با نهشته داشته ولی مقادیر عناصر نادر خاکی سنگین آن نسبتاً کمتر و عناصر نادر خاکی سبک آن بیشتر است. آنومالی سریم آن نیز بشدت آب

۶- نتیجه گیری

نهشته منگنز کوه چهر در شمال شرق اردکان، از کانی‌های پیرولووسیت، کریپتوملان و منگانوزیت همراه با لیمونیت و گوتیت تشکیل شده است. بالا بودن نسبت‌های Mn/Fe ، Si/Al ، غنی‌شدگی از Zn ، Ba ، Sr ، Pb و تهی‌شدگی از Ni و Co نشان‌دهنده منشأ گرمابی نهشته است. نمودارهای تفکیک کننده با استفاده از عناصر اصلی و کمیاب نیز این موضوع را تایید می‌کنند. الگوی عناصر نادر خاکی، بهنجار شده با کندریت غنی‌شدگی نسبی از LREE با آنومالی سریم منفی تا مثبت و آنومالی مثبت اوروپیم را نشان می‌دهد. در نمونه‌های با عیار پائین تر تهی‌شدگی مشهودی از عناصر نادر خاکی سنگین وجود دارد و مقایسه

مراجع

- Ahankoub, M., Ayati, F., Mohamadi, A., 2022. Geology and geochemistry of the Shurab Kabir Mn mineralization, north Shahrekord, Sanandaj-Sirjan Zone. *Advanced Applied Geology* 12(3), 489-501. <https://doi.org/10.22055/AAG.2021.36360.2193>.
- Aydoğan, M. S., 2021. An example of ridge-proximal hydrothermal mineralization: evidence from radiolarian chert-hosted Fe-Mn-oxide mineralization within the İzmir-Ankara-Erzincan Neotethyan Ocean, Central Turkey. *All Earth* 33-1, 136-160. <https://doi.org/10.1080/27669645.2021.2003009>.
- Boynnton, W.V., 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P., (Eds.) *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam, PP. 63-114 doi: 10.1016/B9780-44421487.500083.
- Bonatti, E., Zerbi, M., KAY, R. and Rydell, H., 1976. Metalliferous deposits from the Apennine ophiolites: Mesozoic equivalent of modern deposits from oceanic spreading center. *Geological Society of American Bulletin* 87, 83-94. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1976\)87%3C83:MDFTA0%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1976)87%3C83:MDFTA0%3E2.0.CO;2).
- Bonyadi, Z. and Moore, F., 2006. Geochemistry and genesis of Narigan ferromanganese deposit, Bafgh, Yazd province. *Scientific Quarterly Journal Geoscience* 15(57), 54–63. (in Persian with English abstract).
- Choi, J.H., Hariya, Y., 1992. Geochemistry and depositional environment of Mn oxide deposits in the Tokora Belt, northeastern Hokkaido, Japan. *Economic Geology* 87, 1265–1274. <https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.87.5.1265>.
- Douville, E., Bienvu, P., Charlou, J.L., Donval, J.P., Fouquet, Y., Appriou, P., Gamo, T., 1999. Yttrium and rare earth elements in fluids from various deep-sea hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63, 627-643. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(99\)00024-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(99)00024-1).
- Edwards, R., Atkinson, K., 1986. *Ore deposit geology and its influence on mineral exploration*, Chapman and Hall, 466 P.
- Ehya, F., Marbouti, Z., 2021. The Shamsabad Fe-Mn deposit, Markazi province, Iran: LA-ICP-MS and sulfur isotopic geochemistry, *Ore Geology Reviews* 139, 104555. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev>.
- El-Shafei, S., Ramadan, F., Essawy, M., Henaish, A., Nabawy, B., 2022. Geology, mineralogy and geochemistry of manganese ore deposits of the Um Bogma Formation, south-western Sinai, Egypt: Genesis implications. *Mining of Mineral Deposits* 16(3), 86-95. <https://doi.org/10.33271/mining16.03.086>.
- Ewan, P., Yves, F., Joel, E., Sandrine, Ch., Shasa, L., Pierre, J., Claire, B., 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>.
- Glasby, G.P., 1997. Fractionation of manganese from iron in Archean and Proterozoic sedimentary ores. In: Nicholson, K., Hein, J. R., Buhn, B., and Dasgupta, S., eds., *Manganese mineralization: Geochemistry*

- and mineralogy of terrestrial and marine deposits. Geological Society Society of London, Special Publication, 29-42 PP. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.03> .
- Gültekin, A.H., Balcı, N., 2018. Geochemical Characteristics of Sedimentary Manganese Deposit of Binkılıç, Trache Basin, Turkey. *Journal of Geology and Geophysics* 7, 336. <https://doi.org/10.4172/2381-8719.1000336>.
- Hashempour, S.S., Maghfouri, S., Rastad, E., 2022. Stratigraphic position, mineralogy and distribution of the main elements in manganese oxide minerals of Mohammadabad deposit in the Late Cretaceous volcano-sedimentary sequence, southwest of Sabzevar. *Advanced Applied Geology* 12(2), 306-324. <https://doi.org/10.22055/aag.2022.40216.2284>.
- Hein, J.R., Koschinsky, A., Halbach, P., et al., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the 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 Society of London, Special Publication 123–138.
- Hein, J.R., M.S. Schulz, R.E. Dunham, R.J. Stern, and S.H. Bloomer, 2008. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and southern Izu-Bonin arc system, western Pacific, *Journal of Geophysics Research* 113, B08S14. <https://doi.org/10.1029/2007JB005432>.
- Jach, R., Dudek T., 2006. Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Krizna unit, Tatra Mountains, Poland, *Chemical Geology* 224, 136–152. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.018>.
- Janoušek, V., Farrow, C. M., Erban, V., 2006. Interpretation of whole-rock geochemical data in igneous geochemistry: introducing Geochemical Data Toolkit (GCDkit). *Journal of Petrology* 47(6), 1255-1259. <https://doi.org/10.1093/petrology/egl013>.
- Josso, P., Pelleter, E., Pourret, O., Fouquet, Y., Etoubleau, J., Cheron, S., Bollinger, C., 2017. A New Discrimination Scheme for Oceanic Ferromanganese Deposits using High Field Strength and Rare Earth Elements. *Ore Geology Reviews* 87, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2016.09.003>.
- Khan, M. A., Kakar, M. I., Ulrich, T., Ali, L., Kerr, A.d., Mahmood, K., Siddiqui, R.H., 2020. Genesis of manganese deposits in the Ali Khanzai block of the Zhob ophiolite, Pakistan: Inferences from geochemistry and mineralogy, *Journal of Earth Science* 31, 884–895. <http://dx.doi.org/10.1007/s12583-020-1337-3>.
- Khodami, M., 2019. Pb isotope geochemistry of the late Miocene–Pliocene volcanic rocks from Todeshk, the central part of the Urumieh–Dokhtar magmatic arc, Iran: Evidence of an enriched mantle source, *Journal of Earth System Science* 128, 167. <https://doi.org/10.1007/s12040-019-1185-7>.
- Khodami, M., Shabanian, N., Nouri Sandiani, F., Asahara, Y., Davoudian, A.R., 2022. A record of Late Cambrian–Early Ordovician arc magmatism in Yazd block, Central Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 15, 876. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10116-3>.
- Maanijou, M., Nasiri, A., Aliani, F., Mostaghimi, M., Gholipour, M., 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>.
- Maghfouri, S., Rastad, E., Mousivand, F., Choulet, F., Lin, Y., 2017. Geological and geochemical constraints on the Cheshmeh-Frezi volcanogenic stratiform manganese deposit, southwest Sabzevar basin, Iran. *Ore Geology Reviews* 89, 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.06.015>.
- Mahmoudi, S., Geravandi, P., Ghasemi Siani, M., Gholizadeh, K., 2019. Mineralogy, geochemistry, and genesis of Mn mineralization associated with the Noorabad Delfan radiolarites, Northwestern Lorestan, *Journal of Economic Geology* 11(4), 603-627. <https://doi.org/10.22067/econg>.
- Marbouti, Z., Ehya, F., Rostami Paydar, G., Maleki Kheymehsari, S., 2021. Geochemistry and the origin of the Shamsabad manganese-bearing iron deposit, Markazi Province. *Advanced Applied Geology* 11(3), 536-556. <https://doi.org/10.22055/AAG.2020.34519.2146>.
- Maynard, J.B., 2003. Manganiferous sediments, rocks, and ores. In MacKenzie, F.T., ed., *Treatise of geochemistry*. Volume 7, Sediments, diagenesis, and sedimentary rocks. Amsterdam, Elsevier 289–308.
- Maynard, J., 2010. The Chemistry of Manganese Ores through Time: A Signal of Increasing Diversity of Earth-Surface Environments. *Economic Geology* 535-552. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.535>.

- Men, Y., Wang, E., Fu, J., Jia, S., You, X., He, Q., 2020. Geochemical constraints on the genesis of the Ekou banded iron formation, Shanxi Province, North China. *International Journal of Earth Sciences* 109(8), 2851–2868. <https://doi.org/10.1007/s00531-020-01935-4>.
- Mohapatra, B.K., Mishra, P.P., Singh, P.P., Rajeev, 2009. Manganese ore deposits in koira-noamundi province of iron ore group, north Orissa, India: in the light of geochemical signature. *Geochemistry* (4), 69,377-394. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2009.06.001>.
- Nicholson, K., 1992a. Genetic types of manganese oxide deposits in Scotland: Indicators of paleo-Ocean-spreading rate and a Devonian geochemical mobility boundary. *Economic Geology* 87(5), 1301-1309. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1301>.
- Nicholson, K., 1992b. 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>.
- Nicholson, K., Nayak, V.K., Nanda, J.K., 1997. Manganese ores of the Ghoriajhor- Monmunda area, Sundergarh District, Orissa, India: geochemical evidence for a mixed Mn source. *Geological Society of London, Special Publications* 119 (1), 117–121. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1997.119.01.08>.
- Nouri, F., Davoudian, A. R., Allen, M. B., Azizi, H., Asahara, Y., Anma, R., Shabaniyan, N., Tsuboi, M., Khodami, M., 2021. Early Cambrian highly fractionated granite, Central Iran: Evidence for drifting of northern Gondwana and the evolution of the Proto-Tethys Ocean, *Precambrian Research* 362, 106291. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2021.106291>.
- Nouri, F., Davoudian, A. R., Shabaniyan, N., Allen, M. B., Asahara, Y., Azizi, H., Anma, R., Khodami, M., Tsuboi, M., 2022. Tectonic transition from Ediacaran continental arc to early Cambrian rift in the NE Ardakan region, central Iran: Constraints from geochronology and geochemistry of magmatic rocks, *Journal of Asian Earth Science* 224, 105011. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2021.105011>.
- Ramezani, J., Tucker, R. D. 2003. The Saghand region, central Iran: U-Pb geochronology, petrogenesis and implications for Gondwana tectonics. *American Journal of Sciences*, 303(7) 622–665. DOI:10.2475/ajs.303.7.622.
- Rona, P., Bostrom K., Laubier L., Smith K., 1983. Hydrothermal processes at Sea floor spreading centers", Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division, 796.
- Sasmaz, A., Zagnitko, V., Sasmaz, B., 2020. Major, trace and rare earth element (REE) geochemistry of the Oligocene stratiform manganese oxide-hydroxide deposits in the Nikopol, Ukraine. *Ore Geology Reviews* 126. <https://doi.org/10.1002/essoar.10503179.1>.
- Shabaniyan, N., Davoudian, A. R., Dong, Y. P., Liu, X. M., 2018. U-Pb zircon dating, geochemistry and Sr-Nd-Pb isotopic ratios from Azna-Dorud Cadomian metagranites, Sanandaj-Sirjan Zone of western Iran. *Precambrian Research* 306, 41-60. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2017.12.037>.
- Shah, M.T., Moon, C.J., 2004. Mineralogy, geochemistry and genesis of the ferromanganese ores from the Hazara area, NW Himalayas, northern Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences* 23(1), 1–15. [https://dx.doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00099-3](https://dx.doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00099-3).
- Shahrokhii, S.V., Farhadinejad, T., 2023. Mineralization and geochemistry of major, trace and rare earth elements in Salardol Mn Deposit (West Alashtar-Lorestan Province). *Advanced Applied Geology* 13(1), 176-198. <https://doi.org/10.22055/AAG.2022.39908.2277>.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. Blackwell, Oxford. 312 P.
- 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](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1980)91).
- Usui, A., 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 177–198.
- Yousefi, M., Jafarian, M.B., 2005. Geological Map of Ardakan, 1:100000 NO. 6854, Geological survey of Iran.
- Zarasvandi, A., Pourkaseb, H., Sepahvand, M., Raith., J., Rezaei, M., 2016. 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>