

Research Article

## Mineralization and geochemistry of major, trace and rare earth elements in Salardol Mn Deposit (West Alashtar-Lorestan Province)

Seyed Vahid Shahrokhi<sup>1\*</sup>, Taher Farhadinejad<sup>2</sup>

1- Department of Geology, Khoramabad Branch, Islamic Azad University, Khoramabad, Iran

2- Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Khoramabad, Iran

**Keywords:** *Manganese, Radiolarite, Geochemistry, Hydrothermal, Exhalative, Salardol, Kermanshah Ophiolite.*

### 1- Introduction

Manganese deposits are generally divided into hydrothermal, hydrogenous and diagenetic based on their mineralogy, tectonics and geochemical composition (Polgari et al., 2012; Schmidt et al., 2014). Hydrothermal manganese deposits have high ratios of Mn/Fe, from 0.001 to 4000 (Schultz, 2006). The ratio of Mn/Fe is higher in these deposits than in hydrogenous manganese deposits. These deposits are formed in two tectonic environments, stratabound and epithermal (Hein et al., 1997). Epithermal and stratabound hydrothermal deposits are formed along with the centers of marine environments, intra-plate reefs, or island arcs related to subduction (Hein et al., 2008; Edwards et al., 2011). These deposits also contain less Cu, Co, Pb, Zn, and Ni than hydrogenous manganese orebodies (Usui and Someya, 1997). The Salardol manganese ore deposit is located between 47°35' to 47°38' E longitudes and 34°03' to 34°06' N latitudes, 55 km west of Alashtar. This area consists of countless thrust plates that often appear as Napps, Klipps and Windows. Existing rock units in this area are based on field observations, microscopic study of rock samples, and existing geological maps, including radiolarities, brecciation limestone and Cretaceous units. Among these, as the host of mineralization with considerable expansion, the radiolarities include weathered and folded red radiolarities with layers of jasper and clasticlime in the form of turbidite, sometimes highly tectonized and have the highest amount of manganese.

### 2- Material and methods

Chip Sampling selected fifty ore samples from mineralized areas. First, microscopic investigations were performed after preparing thin and polished sections. Then, additional investigations were performed on the sections in the Iran Mineral Processing Research Center by SEM method and XRD in the Kanpajoo laboratory. For geochemical studies, 20 manganese ore samples were chemically analyzed in ALS-CEMEX by the ICP-OES method to determine the abundance of basic oxides and trace and rare earth elements. Finally, various geochemical diagrams were drawn and analyzed using the obtained data and computer software.

### 3- Results and discussions

Mineralogy studies, XRD and SEM, indicate the presence of ore such as ramsdellite, romanechite, cryptomelane, rhodochrosite, jacobsonite, franklinite, bixbyite, braunite, manganese oxide and hydroxide, pyrophanite, pyrite and chalcocopyrite. The formation of manganese oxides with textures such as nodule, disseminated, scattered grain, joint filler, and stockwork and its co-occurrence with quartz and calcite indicate the submarine hydrothermal origin of the Salardol manganese deposits. The information obtained from the diagrams and ratios of the main elements, including the various SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si/Al, Na/Mg and Mg/Fe ratios, indicates the role of hydrothermal fluids in shallow marine or lake environments. Low levels

\* Corresponding author: Email: vahid.shahrokhi@gmail.com

DOI: 10.22055/AAG.2022.39908.2277

Received: 2022-01-31

Accepted: 2022-06-24

of trace elements, such as Cu, Co, Ni and Zn, indicate that hydrothermal fluids originate from the Salardol manganese deposit. The presence of negative anomalies for Eu, Rb and K and positive for Ce, Sr, Nb, Ba, Cs and Ti indicate that this deposit is highly compatible with manganese hydrothermal deposits. Also, the normalized pattern of rare earth elements shows that the formation of the Salardol manganese deposit resulted from the activities of hydrothermal fluids. Accordingly, it can be said that the closure of Neotethys in the upper cretaceous-palaeocene and the collision of the Central Iranian microcontinent with the Arabian plate under the influence of Laramide orogeny have caused the formation of ophiolites and many transformations in this area. After that, volcanic activity with the concentration of hydrothermal systems in the direction of tectonic movements has caused the expansion of exhalative hydrothermal activity by washing elements such as Mn, Si, Pb, Zn, Cu, Au and Ba rocks and passing through existing faults; it has entered the sedimentary basin and created manganese deposits under suitable environmental conditions.

### References

- Edwards, K.J., Glazer, B.T., Rouxel, O.J., Bach, W., Emerson, D., Davis, R.E., Toner, B.M., Chan, C.S., Tebo, B.M., Staudigel, H., Moyer, C.L., 2011. Ultra-diffuse hydrothermal venting supports Fe-oxidizing bacteria and massive uranium deposition at 5000 m off Hawaii. *The ISME Journal* 5(11), 1748–1458. <https://www.nature.com/articles/ismej201148>
- Hein J. R., Koschinsky A., Halbach P., Manheim F. T., Bau Kang, J. K., Lubick N., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. In: Nicholson K, Hein JR, Buhn B, Desgupta S (eds) *Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of terrestrial and marine deposits* 119, 123–138. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.930.7566&rep=rep1&type=pdf>
- Hein, J.R., Schulz, M.S., Dunham, R.E., Stern, R.J., Bloomer, S.H., 2008. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and Southern Izu-Bonin arc system, western Pacific. *Journal of Geophysical Research* 113(8), 1–29. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JB005432>
- Polgari, M., Hein, J. R., Vigh, T., Szabo-Drubina, M., Forizs, I., Biro, L., Muller, A., Toth, A. L., 2012. Microbial processes and the origin of the Urkut manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Review* 47, 87–109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.10.001>
- Schmidt, K., Bau, M., Hein, J., Koschinsky, A., 2014. Fractionation of the geochemical twins Zr-Hf and Nb-Ta during scavenging from seawater by hydrogenetic ferromanganese crusts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 140, 468–487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2014.05.036>
- Schultz, H.D., 2006. Quantification of early diagenesis: dissolved constituents in pore water and signals in the solid phase. In: H.D.Schultz and M. Zabel (Editors), *Marine Geochemistry*. Springer, Berlin, pp. 73–124.
- Usui, A., Someya, M., 1997. Distribution composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. In: Nicholson, K., Hein, J. R., Bohn, B., Dasgupta, S., (Eds.), *Manganese Mineralization: Geological Society Publication* 119, 177–198.

#### HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Shahrokhi, S.V, Farhadinejad, T., 2023. Mineralization and geochemistry of major, trace and rare earth elements in Salardol Mn Deposit (West Alashtar-Lorestan Province). *Adv. Appl. Geol.* 13(1), 176-198.

DOI : 10.22055/AAG.2022.39908.2277

URL: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_17944.html](https://aag.scu.ac.ir/article_17944.html)

©2023 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

## کانه‌زائی و زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی در نهشته منگنز سالاردول،

### غرب الشتر (استان لرستان)

سید وحید شاهرخی\*

دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

طاهر فرهادی‌نژاد

استادیار پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات،

آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران

Vahid.shahrokhi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۳

### چکیده

نهشته منگنز سالاردول در ۲۰ کیلومتری غرب الشتر و در زیرپهنه رادیولاریتی زون افیولیتی کرمانشاه قرار دارد. واحدهای سنگی موجود شامل سنگ‌های رادیولاریتی، سنگ‌های آهکی برشی و واحدهای کرتاسه است. نهشته منگنز در این ناحیه به شکل عدسی‌های نامنظم به صورت بین‌لایه‌ای همراه با رادیولاریت‌ها دیده می‌شود. کانی‌سازی منگنز در سه نسل قابل مشاهده است. نسل اول سین‌ژنتیک بوده و به صورت بین‌لایه‌ای همراه با چرت‌های رادیولاریتی تشکیل شده است. نسل دوم و سوم اپی‌ژنتیک است که به شکل رگه-رگچه‌ای و به طور عمده درون گسل‌ها و درز و شکاف‌های رادیولاریت‌ها قابل مشاهده است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، XRD و SEM پارائزهای مهم منگنز شامل رامزدلیت، رومنشیت، رودوکروزیت، ژاکوسیت، بیکیسبائیت و مهم‌ترین کانی‌های باطله نیز کوارتز و کلسیت است. تطابق خوب بین نهشته منگنز سالاردول با کانسارهای گرمایی به کمک داده‌های ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، نمودارهای متمایزکننده و نسبت‌های عنصری تأیید شده است. استفاده از نسبت‌های عناصر اصلی و جزئی نشان‌دهنده گرمایی بودن ذخیره منگنز سالاردول است. نسبت Na/Mg (با میانگین ۰/۵) نشان‌دهنده تأثیر آب شیرین در تشکیل ذخیره منگنز است. الگوی توزیع عناصر نادر خاکی نرمالیزه شده نسبت به کندریت نشان‌دهنده بی‌هنجاری مثبت Ce با میانگین ۲۰/۱ و بی‌هنجاری منفی Eu با میانگین ۰/۴۷ است که به وضوح با نهشته‌های گرمایی منگنز سازگار می‌باشد. با توجه شواهد موجود، تشکیل نهشته منگنز سالاردول ناشی از جایگیری سین‌ژنتیک منگنز اولیه در سنگ میزبان رادیولاریتی و فرآیندهای اپی‌ژنتیک ناشی از فعالیت‌های زمین‌ساختی و تحت تأثیر سیالات گرمایی است که منجر به تشکیل ذخیره از نوع برون‌دیمی فسیل شده است.

واژه‌های کلیدی: منگنز، رادیولاریت، ژئوشیمی، گرمایی، برون‌دیمی، سالاردول، افیولیت کرمانشاه

### ۱- مقدمه

ساختی مختلف به صورت استراتاباند و اپی‌ترمال تشکیل می‌شوند (Ingram et al., 1990; Hein et al., 1997). نهشته‌های گرمایی اپی‌ترمال و استراتاباند در کنار مراکز گسترشی محیط‌های دریائی، تپه‌های دریائی درون صفحه‌ای و یا جزایر قوسی مرتبط با فرورانش تشکیل می‌شوند (Hein et al., 2008; Edwards et al., 2011). این نهشته‌ها همچنین در مقایسه با کانسارهای منگنز آزاد حاوی Cu, Zn, Pb, Ni و Co کمتری می‌باشند (Toth, 1980; Usui and Someya, 1997). هدف از نوشتار این مقاله، نحوه کانه‌زائی و زمین‌شیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی و همچنین نوع کانسنگ منگنز در ناحیه سالاردول می‌باشد.

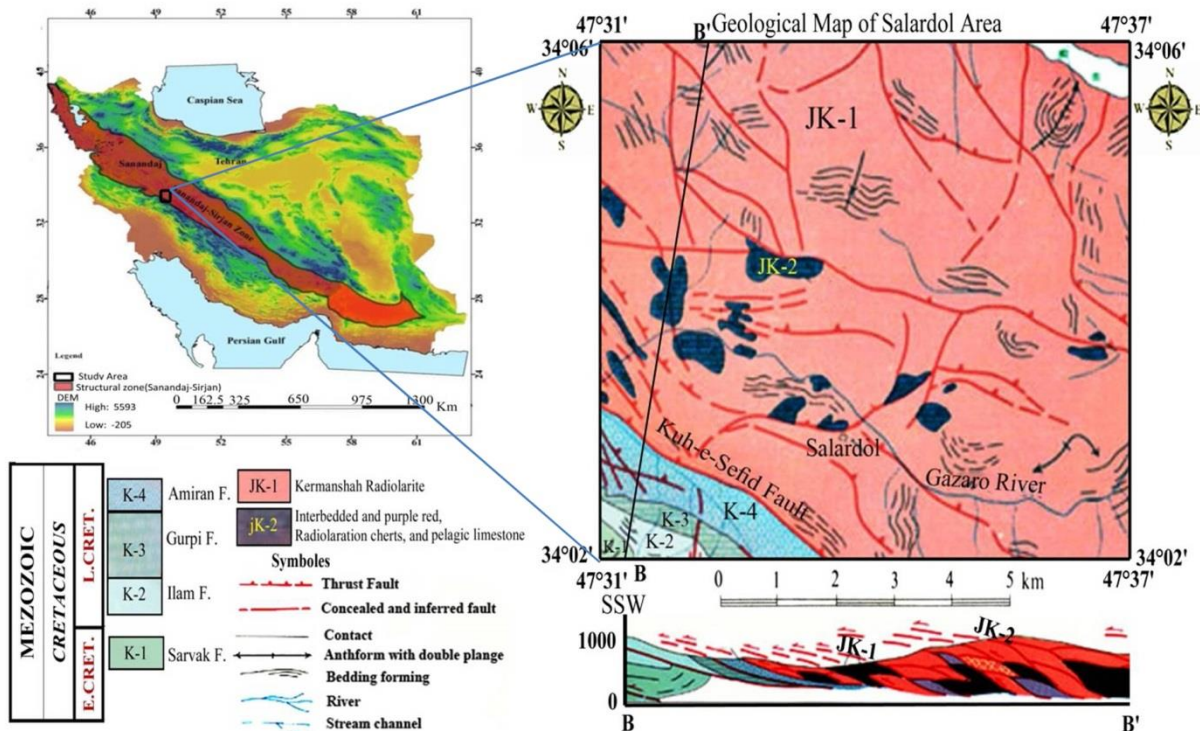
نهشته‌های منگنز با توجه به کانی‌شناسی، موقعیت زمین‌ساختی و ترکیب شیمیایی به نهشته‌های گرمایی، آزاد و دیاژنتیک تقسیم‌بندی می‌شوند (Oksuz, 2011; Polgari et al., 2012; Schmidt et al., 2014). اکسیدهای منگنز جذب سطحی و قدرت واکنش‌پذیری بالا برای کاتیون‌های مختلف و همچنین بار سطحی منفی دارند (Stumm and Morgan, 1996; Anschutz et al., 2005). نهشته‌های منگنز گرمایی نسبت‌های گسترده Mn/Fe از ۰/۰۱ تا ۴۰۰۰ را دارا می‌باشند (Schultz, 2006). این نهشته‌ها در مقایسه با نهشته‌های منگنز آزاد دارای نسبت بالاتری از Mn/Fe بوده و در دو محیط زمین

۲- زمین شناسی

۱-۲- زمین شناسی عمومی

نهبشته منگنز سالاردول بین طول‌های جغرافیائی ۳۵' ۴۷° تا ۳۸' ۴۷° شرقی و عرض‌های جغرافیائی ۰۳' ۳۴° تا ۰۶' ۳۴° شمالی و در ۲۰ کیلومتری غرب الشتر و شمال روستای سالاردول و در جنوب نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هرسین

قرار دارد (Shahidi and Nazari, 1996). از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری، این منطقه در حفاصل زون کوهزائی زاگرس مرتفع و زون دگرگونه سنندج-سیرجان و در زیرپهنه رادیولاریتی (Mohajjel and Sahandi, 2001) متعلق به مجموعه افیولیتی کرمانشاه (Valipour et al., 2011) قرار دارد (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ناحیه سالاردول برگرفته از ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ هرسین با اندکی تغییر (Shahidi and Nazari, 1996).  
 Fig. 1. Geological map of Salardol area based on Harsin 1/100000 geological map with a little change (Shahidi and Nazari, 1997).

سن رادیولاریت‌ها ژوراسیک-کرتاسه بالا (Abdi et al., 2015)، سنومانین (Stocklin and Setudehnia, 1971) و ماستریشتین (Shahidi and Nazari, 1996) عنوان شده و انواعی از گسل‌های در ارتباط با چین در ادامه چین‌خوردگی در آن بوجود آمده است (Mohajjel and Biralvand, 2010). در مجموعه رادیولاریتی کرمانشاه در اثر فرآیندهای گرمایی نهبشته‌های منگنز سرخوند (Zarasvandi et al., 2014) و شمال الشتر (Hasannejad et al., 2015) و همچنین شمال نورآباد دلفان (Mahmoudi et al., 2020) تشکیل شده‌اند. رادیولاریت‌های کرمانشاه و مجموعه افیولیتی موجود در این ناحیه به شدت تکتونیزه و چین خورده بوده (Broud, 1989) و بسیار شبیه مجموعه افیولیتی نیریز می‌باشند (Ricou, 1989).

این مجموعه افیولیتی مشتمل بر پریدوتیت سرپانتینی شده، متاگابروهای لایه‌ای و گابروهای ایزوتروپ، مجموعه دایک‌های صفحه‌ای، گستره‌ای از سنگ‌های متابازیک از گابرو تا دیاباز، پلاژیوگرانیت و سنگ‌های رسوبی شامل رادیولاریت و آهک‌های پلاژیک است که لایه‌های چرت رادیولاریت، ژاسپروئید و آهک پلاژیک در بالاترین بخش آن قابل رؤیت است (Mohajjel et al., 2003; Saccani et al., 2013). این افیولیت‌ها و در اثر دو عامل تغییر ضخامت و درجه سختی لایه‌ها به شدت چین خورده و تکتونیزه شده است (Kiani et al., 2011) (شکل ۱). گسل کوه سفید دیواره جنوبی حوزه رادیولاریتی را به هنگام تشکیل ایجاد نموده و این حوزه را از زاگرس جدا می‌کند (Elyaszadeh and Mohajjel, 2011).

نقشه زمین‌شناسی موجود موجود شامل سنگ‌های رادیولاریتی ( $J_3K_2^F$ ) و سنگ‌های آهکی برشی ( $J_2K_2^1$ ) به سن ژوراسیک-کرتاسه و واحدهای کرتاسه شامل سازندهای سروک، ایلام، گورپی و امیران است. واحد سنگی  $J_2K_2^1$  شامل سنگ‌های آهکی برشی در ابعاد مختلف با بزرگی ۵۰ سانتی متر است که در سیمانی از رادیولاریت قرار گرفته و در سطوح گسله راندگی به صورت نوارهای موازی در جنوب غربی ورقه هرسین قابل مشاهده هستند. سن این واحد با توجه به میکروفسیل‌های موجود در آن ژوراسیک میانی تا کرتاسه پایانی در نظر گرفته شده است (Shahidi and Nazari, 1996). این سنگ‌ها در بیشتر نواحی دارای مرز گسله با رادیولاریت‌ها بوده و اشکال زیبایی همانند بودینی شدن در اثر عملکرد فرآیندهای تکتونیکی در آنها ایجاد شده است (شکل ۲-ا). در بعضی از نقاط ناحیه مورد مطالعه همبری آهکها و رادیولاریت‌ها بوضوح و با چشم غیر مسلح نیز قابل رؤیت است (شکل ۲-ب). این آهکها مشتمل بر کلسیت، کانی رسی و رادیولر به مقدار خیلی کم است. واحد  $J_3K_2^F$  با گسترش قابل ملاحظه شامل سنگهای رادیولاریتی قرمز هوازده و چین خورده با میان لایه‌های ژاسب و آهک تخریبی به صورت توریدایت است (شکل ۲-ج). این واحدها گاه به شدت تکتونیزه بوده و دارای بیشترین مقدار منگنز می‌باشند. کانی‌سازی منگنز در این سنگ‌ها به صورت توده‌ای (شکل ۲-د)، رگه‌ای (شکل ۲-ه) و استوک ورک (شکل ۲-ف) قابل مشاهده است. ماهیت رگه و رگچه‌ای کانی‌سازی منگنز می‌تواند از نشانه‌های کانی‌سازی گرمایی در منطقه مورد مطالعه باشد (Moghaddasi and Negahban, 2015; Maanijou et al., 2012). سن این واحد را می‌توان بر اساس وجود رادیولرها به عنوان تنها فسیل‌های ذره بینی موجود در طبقات این واحد، ژوراسیک پایانی-کرتاسه پایانی در نظر گرفت. بر اساس ویژگی‌های این واحد می‌توان گفت که واحد رادیولاریتی در زمان تکامل حوضه در یک محیط ژرف تشکیل شده است (Shahidi and Nazari, 1996).

### ۳- روش بررسی

پس از انجام پیمایش صحرائی و بررسی دگرشکلی و ویژگی‌های ساختاری و همچنین بازدید میدانی رخنمون‌های ماده معدنی تعداد ۵۰ نمونه سنگی از نواحی دارای کانی‌سازی برداشت گردید. برای مطالعات کانی‌شناسی تعداد ۵۰ مقطع نازک-صیقلی تهیه و مطالعه گردید. بررسی‌های تکمیلی بر روی نقاط

بر اساس مطالعات انجام شده کانسنگ منگنز نیریز تحت تأثیر سیالات گرمایی منگنزدار بوجود آمده است (Zarasvandi et al., 2013a). مجموعه افیولیتی نیریز در یک حوضه پیش‌کمانی بر روی منطقه فرورانش قرار گرفته (Rajabzadeh and Nazari-Dehkordi, 2013) و منگنز در آن به صورت بین لایه‌ای با رسوبات چرتی رادیولاریتی قابل مشاهده است (Zarasvandi et al., 2013b). ماگماتیسم موجود در این ناحیه حاصل فرورانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران است (Zareisahamieh et al., 2014). توده‌های گابروئی از نوع تروکتولیت، گابرو و اولیوین گابرو بوده و همبری آن سنگ‌های اولترامافیکی سکانس افیولیتی عادی و با آهک‌های ژوراسیک، اسلیت و متاولکانیک‌ها گسله و تکتونیکی است (Kiani et al., 2011).

### ۲-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

ناحیه سالاردول مشتمل بر بخش‌هایی از دو واحد تکتونیکی سنندج-سیرجان و زاگرس چین خورده و رانده می‌باشد که از صفحات بیشمار رانده‌ای تشکیل یافته که در اغلب ساختمانهای دوپلکس- سفره‌های رانده، بازمانده‌ها و پنجره‌های تکتونیکی ظاهر می‌شوند. از ویژگی‌های درخور توجه این ساختمان‌های تکتونیکی، جوانتر شدن گسل‌های تحتانی نسبت به مجموع گسل‌های فوقانی آن دوپلکس است که صفحات بالایی و پائینی بردار حرکتی در جهت ۰۳۵-۰۱۰ را نشان داده و صفحات داخلی نیز بردارهای حرکتی متنوع و پراکنده‌ای در حدود ۰۱۰-۱۲۰ را ارائه می‌دهند. گسله‌های راندگی نیز به طور عمومی از نوع لیستریک انقباضی هستند که جهت حرکت آنها NNE به سمت SSW می‌باشد (Shahidi and Nazari, 1996). واحد رادیولاریتی  $J_3K_2^F$  با توجه به ویژگی‌های خاص مکانیکی خود یکی از بهترین مناطق جهت مشاهده انواع چین‌خوردگی‌ها می‌باشد. این چین‌ها به طور عمومی دارای محورهای W-E یا NW-SE بوده لیکن در بعضی نقاط به سبب کارکرد گسل‌های جانبی (Lateral) محلی ساختمانهای تاق‌دیس و یا ناودیس با محورهای N-S نیز به چشم می‌خورند. علاوه بر این، تغییر شکل غیر مستوی نیز در کلیه ساختارها قابل مشاهده است (Shahidi and Nazari, 1996).

### ۲-۳- سبک کانی‌سازی

واحدهای سنگی موجود در ناحیه مورد مطالعه بر اساس مشاهدات صحرائی، مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های سنگی و



مشخص شده از ده مقطع طی بررسی‌های میکروسکوپی، توسط میکروسکوپ الکترونی (SEM) مدل (Zeiss 1450 VP) در مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران به انجام رسید. تعداد ۱۵ نمونه نیز به روش پراش اشعه ایکس (XRD) در آزمایشگاه کانپژوه مورد تجزیه شیمیائی قرار گرفت. جهت انجام مطالعات زمین‌شیمی و تعیین میزان فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی، تعداد ۲۰ نمونه از کانسنگ منگنز در آزمایشگاه ALS-CEMEX به روش

مورد تجزیه شیمیائی قرار گرفتند. آماده‌سازی به روش ذوب لیتیم متابورات و انحلال در چهار اسید صورت گرفته است. حد تشخیص روش آنالیز شده برای اکسیدهای عناصر اصلی ۰/۰۱ درصد و برای عناصر کمیاب ppm05/0 بوده است. با استفاده از داده‌های به دست آمده و نرم افزارهای رایانه‌ای، نمودارهای زمین‌شیمیایی مختلف رسم و تحلیل شد. نتایج تجزیه شیمیایی کانسنگ منگنز ناحیه سالاردول در جدول یک ارائه شده است.



شکل ۲- (a) آهک‌های بودینی شده در مجاورت رادیولاریت‌ها و گدازه بالشی، (b) همبندی آهک‌ها و رادیولاریت‌ها در ناحیه مورد مطالعه، (c) بخش‌های مختلف گدازه بالشی در ناحیه مورد مطالعه، (d) کانی‌سازی توده‌ای منگنز در رادیولاریت‌های ناحیه مورد مطالعه، (e) کانی‌سازی رگه‌ای منگنز در کنار کانی‌سازی توده‌ای و (f) کانی‌سازی منگنز به صورت استوکورک در ناحیه مورد مطالعه.

Fig. 2. (a) Boudinized limestone in vicinity of radiolarites and pillow lava, (b) Contact of limestones and radiolarites in the study area, (c) different parts of pillow lava in the study area, (d) Massive Mn-mineralization in the radiolarites in the study area, (e) vein Mn-mineralization along with the massive Mn mineralization and (f) Mn-mineralization in the form of the stockwork in the study area.

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیائی نمونه‌های نهشته منگنز سالاردول به روش ICP-OES.  
Table1. Chemical analysis results for samples of the Salardol manganese ore by ICP-OES.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
SiO <sub>2</sub>	40.29	45.78	43.29	45.22	44.91	42.13	45.38	45.10	43.70	44.80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	0.40	0.55	0.69	0.50	0.90	0.32	0.03	0.03	0.55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.29	2.44	2.74	2.52	2.60	2.69	2.33	2.35	2.52	2.12
MgO	0.04	0.05	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
MnO	50.69	45.12	48.29	47.41	48.01	49.22	47.12	47.75	49.31	48.19
CaO	0.37	0.44	0.75	0.61	0.55	0.12	0.23	0.56	0.50	0.69
K <sub>2</sub> O	0.05	0.09	0.13	0.15	0.01	0.12	0.11	0.08	0.07	0.08
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TiO <sub>2</sub>	0.12	0.11	0.16	0.15	0.13	0.12	0.14	0.17	0.12	0.19
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.06	0.09	0.08	0.07	0.06	0.08	0.09	0.05	0.06
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	3.50	4.53	3.22	2.60	2.43	3.55	3.75	3.12	3.22	2.85
Total	99.95	99.22	99.48	99.66	99.43	99.15	99.70	99.50	99.77	99.78
Si	18.53	21.40	20.24	21.14	20.99	19.69	21.21	21.08	20.43	20.94
Al	0.19	0.21	0.29	0.37	0.26	0.48	0.17	0.16	0.16	0.29
Fe	1.60	1.71	1.92	1.76	1.82	1.88	1.63	1.64	1.76	1.48
Mn	36.26	34.94	37.40	36.72	37.18	38.12	36.49	36.75	38.19	37.32
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm
Pb	50.2	65.9	55.6	99.5	77.0	72.6	83.9	89.7	52.1	59.7
Zn	56	44	64	39	44	51	64	45	65	60
Co	15.8	15.2	15.1	15.3	15.3	15.6	15.3	15.3	15.2	15.8
Cu	222	245	285	256	260	277	298	267	280	302
Ni	17	12	17	12	13	18	15	13	18	18
Rb	10.80	10.60	10.50	10.00	10.70	10.90	10.90	10.90	10.80	10.20
U	0.95	0.85	0.84	0.61	0.34	0.54	0.52	0.47	0.66	0.35
Th	1.1	1.0	0.9	1.3	2.1	1.3	2.0	1.9	5.0	2.4
U/Th	0.86	0.85	0.93	0.47	0.16	0.41	0.24	0.25	0.13	0.15
La	6.8	9.4	9.0	6.6	6.5	17.0	13.2	5.4	10.2	13
Ce	14	21	14	12	13	34	27	11	29	18
Pr	1.84	3.1	2.52	1.89	1.96	1.75	1.25	1.56	2.71	1.08
Nd	7.4	12.6	10.3	7.8	8.3	8.7	7.6	6.4	9.8	4.7
Sm	1.8	2.8	2.2	1.9	1.8	1.7	1.2	1.4	2.3	1.1
Eu	0.38	0.63	0.51	0.34	0.41	0.62	0.72	0.32	0.46	0.28
Gd	1.63	2.53	2.38	1.85	1.79	6.84	4.18	1.37	1.79	1.07
Tb	0.29	0.38	0.35	0.28	0.29	0.99	0.60	0.19	0.30	0.14
Dy	2.01	1.90	2.06	1.52	1.53	5.16	3.03	1.06	1.83	0.78
Ho	0.46	0.33	0.38	0.27	0.26	0.84	0.52	0.18	0.33	0.15
Er	1.79	0.91	1.08	0.75	0.7	2.04	1.28	0.48	0.93	0.40
Tm	0.33	0.14	0.15	0.11	0.10	0.27	0.19	0.07	0.14	0.05
Yb	0.4	0.8	0.8	0.7	0.6	1.6	1.1	0.4	0.9	0.4
Lu	0.41	0.12	0.12	0.10	0.08	0.22	0.16	0.05	0.13	0.06
LREE	36.98	49.17	40.49	34.43	35.60	71.71	61.45	31.39	55.45	45.84
HREE	7.69	4.58	4.94	3.73	3.56	11.12	6.88	2.43	4.56	1.98
LREE/HREE	4.81	10.73	8.20	9.23	10.0	6.45	8.93	12.92	12.16	23.15
La/Ce	0.48	0.45	0.64	0.55	0.5	0.50	0.49	0.49	0.35	0.72
ΣREE	44.67	53.37	45.43	38.16	39.16	83.83	68.33	33.82	60.01	47.82

ادامه جدول ۱. نتایج آنالیز شیمیائی نمونه‌های نهشته منگنز سالاردول به روش ICP-OES.

Table 1(Continued): Chemical analysis results for samples of the Salardol manganese ore by ICP-OES.

	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
SiO <sub>2</sub>	43.22	46.48	47.40	41.70	41.40	41.63	41.75	44.45	46.16	45.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.94	0.31	0.03	0.04	0.55	0.40	0.69	0.35	0.41	0.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.21	2.61	2.06	2.22	2.24	2.32	2.71	2.74	2.33	2.66
MgO	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.02	0.02	0.04	0.03	0.04
MnO	49.30	46.62	46.33	51.35	51.22	51.20	50.25	47.32	46.70	46.70
CaO	0.66	0.41	0.65	0.22	0.72	0.88	0.98	0.95	0.64	0.56
K <sub>2</sub> O	0.07	0.01	0.02	0.04	0.06	0.05	0.06	0.03	0.09	0.12
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TiO <sub>2</sub>	0.14	0.16	0.11	0.16	0.17	0.14	0.13	0.16	0.14	0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.06	0.07	0.05	0.09	0.08	0.06	0.09	0.08	0.04	0.09
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
LOI	3.02	3.65	2.92	3.55	3.11	2.95	3.01	3.44	3.11	3.49
Total	99.86	99.55	99.79	99.60	99.79	99.85	99.89	99.76	99.85	99.75
Si	20.20	21.73	22.16	19.49	19.39	19.46	19.52	20.92	21.58	21.15
Al	0.50	0.16	0.16	0.02	0.29	0.21	0.37	0.19	0.22	0.28
Fe	1.55	1.83	1.44	1.55	1.57	1.62	1.90	1.92	1.63	1.86
Mn	38.18	36.11	35.88	39.77	39.67	39.65	38.92	36.65	36.17	36.19
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm
Pb	61.3	75.5	71.9	69.8	87.2	74.1	84.2	85.1	66.4	68.1
Zn	41	55	58	63	44	49	35	45	66	60
Co	15.8	15.2	14.9	15.5	15.5	15.8	15.4	15.2	15.6	15.7
Cu	238	242	263	258	295	245	284	295	300	238
Ni	19	14	17	12	15	20	17	13	16	18
Rb	10.9	11.0	10.0	9.60	10.0	10.80	10.60	10.90	10.70	10.0
U	0.62	0.35	0.55	0.51	0.46	0.65	0.37	0.25	0.58	0.46
Th	1.40	2.20	1.40	1.90	1.80	4.90	2.6	1.1	4.1	0.9
U/Th	0.44	0.77	0.39	0.27	0.25	0.13	0.14	0.23	0.14	0.51
V	60	46	27	47	46	64	27	44	26	62
La	9.7	9.2	9.5	6.6	9.2	8.8	6.8	6.7	15.0	12.5
Ce	30	28	29	16	19	12	15	17	21	22
Pr	2.37	2.43	2.40	1.74	2.1	1.55	1.95	1.90	1.70	2.39
Nd	9.8	9.6	9.8	7.2	7.6	8.1	8.4	12.6	10.3	10.0
Sm	2.0	1.9	2.1	1.6	1.7	2.5	2.0	2.2	2.3	2.7
Eu	0.50	0.48	0.51	0.40	0.61	0.51	0.32	0.39	0.59	0.38
Gd	2.32	2.17	2.32	1.65	2.49	2.40	1.82	1.75	4.84	2.22
Tb	0.39	0.36	0.35	0.31	0.40	0.33	0.61	0.22	0.65	0.70
Dy	2.15	2.10	2.16	1.99	1.95	4.16	4.03	2.55	2.18	2.75
Ho	0.44	0.41	0.43	0.48	0.35	0.40	0.29	0.28	0.91	0.75
Er	1.36	1.19	1.26	1.22	1.11	1.06	1.09	1.01	1.32	1.35
Tm	0.22	0.19	0.18	0.29	0.17	0.20	0.23	0.24	0.26	0.17
Yb	1.2	1.2	1.2	1.4	0.9	0.9	1.0	1.1	0.9	1.2
Lu	0.21	0.16	0.18	0.39	0.13	0.14	0.11	0.10	0.10	0.12
LREE	56.36	54.85	55.95	38.14	44.96	37.96	37.19	39.60	56.44	50.88
HREE	5.97	5.61	5.76	6.08	5.01	7.19	7.36	5.50	6.32	7.04
LREE/HREE	9.44	10.49	9.71	6.48	8.98	5.28	5.05	7.20	8.93	7.23
La/Ce	0.33	0.33	0.33	0.41	0.48	0.73	0.45	0.39	0.71	0.57
ΣREE	62.33	60.46	61.71	44.22	49.97	45.15	44.55	45.10	62.76	57.92



ادامه جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیائی نمونه‌های نهشته منگنز سالاردول به روش ICP-OES.

Table 1(Continued): Chemical analysis results for samples of the Salardol manganese ore by ICP-OES.

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm
Ba	60	50	80	42	33	33	66	90	40	50
Nb	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr	550	860	354	900	365	655	532	850	450	890
Y	10	10	10	20	10	10	20	20	10	10
Zr	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ag	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
Ga	16	8	9	16	22	25	14	18	17	20
Hf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mo	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4
Sn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tl	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V	26	44	52	62	45	48	55	36	59	48

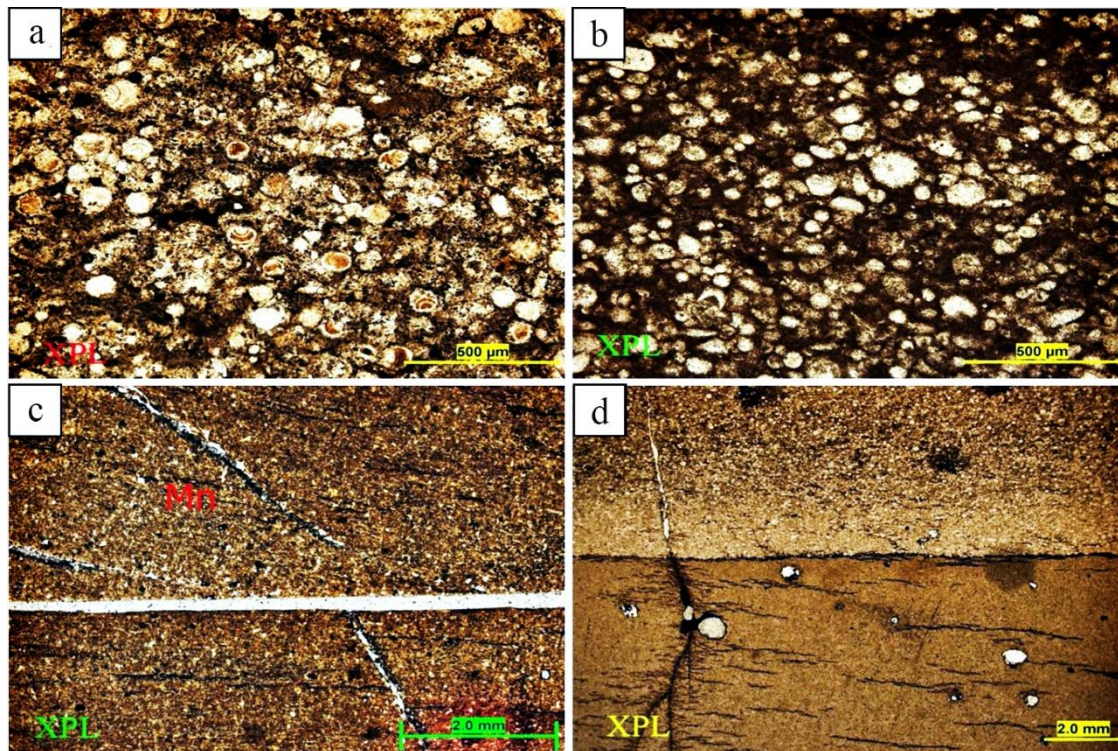
  

	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	Ppm
Ba	41	40	80	40	40	44	55	99	22	45
Nb	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Sr	630	840	320	341	888	555	456	850	450	600
Y	20	10	20	20	10	10	10	10	10	10
Zr	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Ag	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cs	0.7	0.8	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7
Ga	14	21	9	22	16	17	19	16	22	25
Hf	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Mo	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4
Sn	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ta	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Tl	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
V	60	46	27	47	46	64	27	44	26	62

#### ۴- سنگ‌نگاری

مطالعه میکروسکوپی رادیولاریت‌ها نشان‌دهنده حضور رادیولور سیلیسی و گاهی نیز شبه رادیولور در این سنگ‌ها است که به‌وسیله سیلیس ریزبلور تا نهان‌بلور و همچنین اکسید آهن جایگزین شده است (شکل ۳-ا). همراهی منگنز با چرت‌ها و پوسته‌های فراوان رادیولاریتی نشان‌دهنده ته‌نشست منگنز در بستر عمیق اقیانوس است (Adames et al., 1984). اکسید منگنز در تمامی سطح مقطع قابل مشاهده بوده و موجب تیرگی آن شده است (شکل ۳-ب). فرآیندهای تکتونیکی موجب شکستگی‌هایی در رادیولاریت‌ها شده که به‌وسیله اکسید منگنز و گاه سیلیس و اکسید آهن پرشدگی پیدا کرده است (شکل ۳-د و c).

گدازه‌های بالشی در اعماق دریا هنگامی که بازالت با دمای حدود ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد با آب‌های سرد عمقی برخورد می‌کند بصورت ناگهانی سرد می‌شود که تأثیر این سرد شدن ناگهانی در مورفولوژی آنها تابع حجم گدازه بیرون ریخته شده می‌باشد. اگر حجم گدازه‌های بیرون ریخته شده متوسط باشد گدازه‌های بالشی یا پیلولاواها به وجود می‌آیند. قسمت مرکزی یا داخلی بالش‌ها بعلت سرد شدن سریع قسمت خارجی فرصت از دست دادن مواد فرار و بخارات همراه را نداشته و حفره دار می‌ماند و با ورود آب به داخل آنها و واکنش با مواد فرار همراه در مرحله پنوماتولیتیکی و هیدروترمال با کانی‌های حاصل پر می‌شوند که گاهی اوقات نیز به صورت کامل این عمل انجام نگرفته و فقط کانی‌هایی در سطح داخلی حفره‌ها بوجود آمده و داخل حفره‌ها خالی می‌ماند (Juteau and Maury, 2000).



شکل ۳- (a) جانشینی رادیولاریت‌ها توسط سیلیس، اکسید منگنز و اکسید آهن، (b) چرت کریستوکریستالین و پراکندگی منگنز در سطح مقطع، (c) و (d) جایگزینی اکسید منگنز، سیلیس و اکسید آهن در داخل شکستگی‌ها.

Fig. 3. (a) Replacement of radiolarites by silica, Mn-oxide and Fe-oxide, (b) Cryptocrystalline chert and dispersion of manganese at the cross section, (c) and (d) replacement of Mn-oxide, silica and Fe-oxide into the fractures.

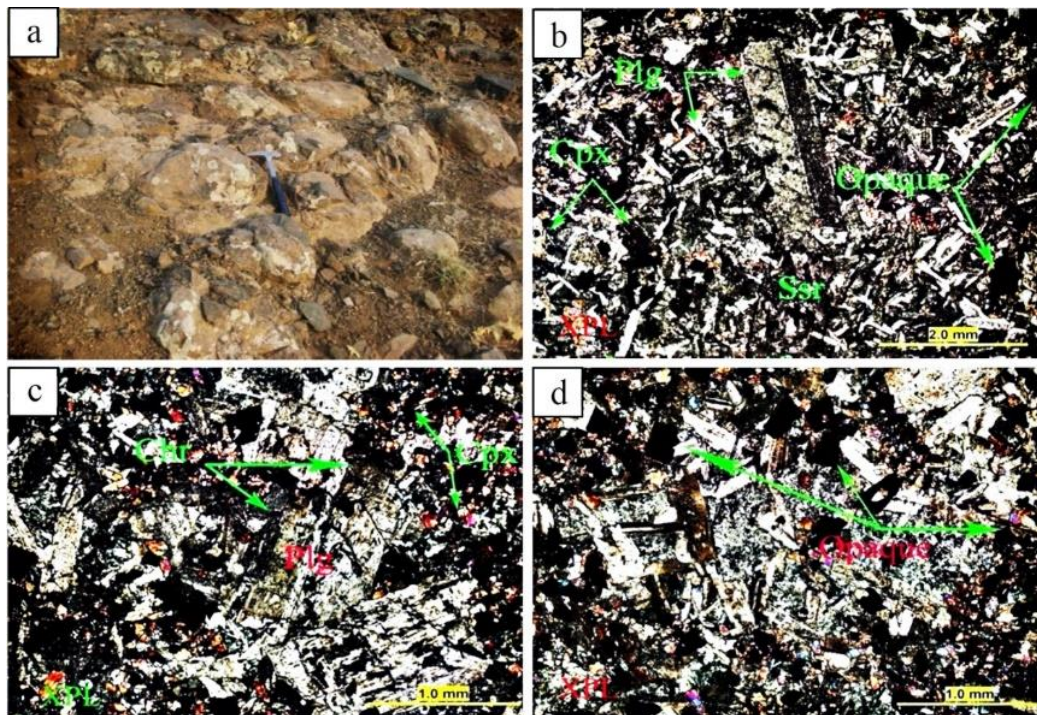
#### ۵- مطالعات کانه‌نگاری

مطالعات کانه‌نگاری ۵۰ نمونه مقطع نازک-صیقلی تهیه شده از کانسنگ منگنز سالاردول نشان می‌دهد که کانی‌سازی در دومرحله سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک و در ارتباط با ساختارهای زمین‌ساختی صورت گرفته و سپس در زون‌های سطحی کانی‌سازی به صورت سوپرژن ثانویه به انجام رسیده است. این مطالعات همچنین نشان‌دهنده حضور کانه‌هائی همانند رومنشینت، کریپتوملان، پیرولوسیت، فرانکلینیت، بیکسبائیت، کرونادیت، اکسیدها و هیدروکسیدهای منگنز (هوسمانیت، هیدروهوسمانیت، مانگانیت) همراه با گوتیت، لپیدوکروسیت، پیریت، کالکوپیریت و مقدار کمی روتیل، مگنتیت و تیتانومگنتیت است.

رومنشینت  $(\text{Ba}(\text{Mn}^{2+}, \text{Mn}^{4+})_9\text{O}_{18} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ : شدت بازتابش متوسط، ناهمسانگردی و چندرنگی قوی در نور بازتابی از خصوصیات این کانی بوده و دارای حاشیه مضرس، بافت ندولی، انتشاری و گاهی نیز استوک ورک بوده و معمولاً توسط

پیلولاوای سبزرنگ از نوع بازالت بوده (شکل ۴-۱) و با بافت میکروولیتیک پورفیریک، اینترسرتال، هیالوپورفیریک وحفره‌دار در بعضی نقاط ناحیه مورد مطالعه قابل مشاهده است. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز به میزان ۶۰ تا ۷۰ درصد حجمی، کلینوپیروکسن به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی و کانی‌های اوپاک به میزان ۱۰ تا ۲۰ درصد حجمی قابل مشاهده بوده و کانی‌های فرعی همانند اکتینولیت، کلریت و کلسیت نیز قابل مشاهده است. پلاژیوکلازها بصورت میکروولیت‌های ریز تبدیل به آلبیت شده و آثار سرسیتی شدن در آنها کاملاً مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲). گاهی کلینوپیروکسن‌ها اورالیتی و کلریتی شده و در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز دیده می‌شوند. (شکل ۴-۳). کانی‌های اوپک به صورت نیمه‌شکل‌دار تا کروی همراه با بازالت‌های بالشی دیده می‌شوند که نشان‌دهنده فاز تأخیری تبلور بوده و ممکن است از نوع کانی‌های آهن-تیتانیوم باشند (شکل ۴-۴)

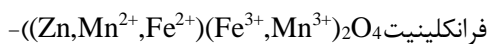




شکل ۴- (a) پیلولوای سبزرنگ بازالتی، (b) تبدیل میکرولیت‌های ریز پلاژیوکلازها به آلبیت و سریسیت، (c) کلینوپیکروکسن‌های اورالیتی و کلریتی شده در زمینه‌ای از پلاژیوکلاز و (d) حضور کانی‌های اوپک به صورت نیمه‌شکل دار تا کروی همراه با بازالتهای بالشی. علائم اختصاری کانی‌ها شامل Plg: پلاژیوکلاز، Cpx: کلینوپیکروکسن، Ssr: سریسیت، Chr: کلریت (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 4. (a) Basaltic green pillow lava, (b) Alteration of plagioclase microlites to albite and sericite, (c) Uralitized and chloritized pyroxene from in plagioclase background and (d) Presence of OPAC mineral in the form of semi shaped to spherical in pillow lava. Mineral abbreviation are Plg: plagioclase, Cpx: Clinopyroxene, Ssr: Sricite, Chr: (Whitney and Evans, 2010).

و اغلب توسط رگچه‌های تاخیری قطع و جابجا شده است (شکل ۵-d). این کانی همچنین در ابعاد متوسط ۱۵ تا ۲۵ میکرون به شکل ذرات ریز بلور و بافت دانه پراکنده به صورت ذرات ریز بلور قابل مشاهده بوده و بر اثر دگرسانی ثانویه به اکسید-هیدروکسیدهای منگنز با رنگ‌های تداخلی قرمز تبدیل شده است.



بیکسبائیت  $(\text{Mn}, \text{Fe})_2\text{O}_3$ : گاهی آثاری از کانی فرانکلینیت با قدرت بازتابش ۱۵ درصد و بیکسبائیت همراه با اکسید آهن میکروکریستالین در داخل رگه و رگچه‌ها که نشان‌دهنده تشکیل آنها در نسل دوم کانی‌سازی قابل مشاهده است (شکل ۵-e). از طرف دیگر شکل گیری این کانی‌ها درون رگچه‌های بسیار ریز یادآور نسل سوم کانی‌سازی است (شکل ۵-f).

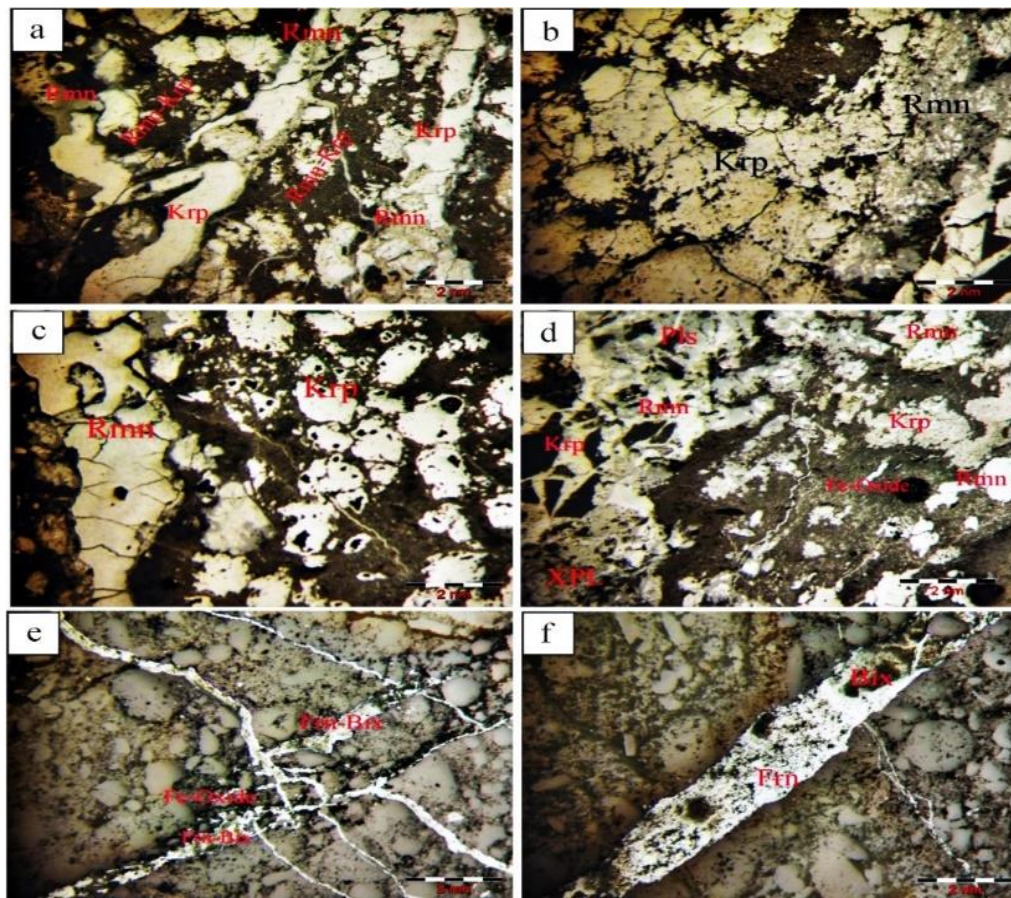
سایر کانی‌ها: اکسید-هیدروکسیدهای منگنز (تودوروکیت، مانگانیت، هوسمانیت) حاصل دگرسانی پیرولووسیت و رومنشیت-کریپتوملان بوده و گاهی نیز به صورت دانه پراکنده،

پیرولووسیت و در مرحله بعد توسط اکسید و هیدروکسیدهای منگنز و اکسید و هیدروکسید آهن جایگزین شده است (شکل ۵-a, b, c). این کانی به صورت سین‌ژنتیک و به عنوان نسل اول کانه‌زائی تشکیل شده و در متن سنگ و همچنین در فضای بین دانه‌ها به صورت سیمان پرکننده به وفور و به صورت پراکنده دیده می‌شود. این کانی در نسل بعدی به صورت رگه-رگچه‌ای قابل مشاهده است. حضور بلورهای ریز با ابعاد کمتر از ۵۰ میکرون باعث تمایز این کانی از دیگر کانی‌های منگنز است (شکل ۵-b).

کریپتوملان  $(\text{K}(\text{Mn}^{4+}\text{Mn}^{2+})_8\text{O}_{16})$ : این کانی در دونسل مشاهده شده و با بافت ندولی به صورت همزیست با رومنشیت می‌باشد که به پیرولووسیت و اکسید-هیدروکسیدهای منگنز و اکسید-هیدروکسیدهای آهن تجزیه شده است (شکل ۵-c).

پیرولووسیت  $(\text{MnO}_2)$ : این کانی حاصل دگرسانی رومنشیت و کریپتوملان بوده که ابعاد آن گاهی به ۱/۵ تا ۱ میلی‌متر و با شکل ندولی با فرم بیضوی تا مدور در متن سنگ حضور داشته





شکل ۵- (a) رومنشیت با بافت استوک ورک به همراه کریپتوملان، (b) همزیستی رومنشیت و کریپتوملان با بافت انتشاری در دو نسل از کانه زائی، (c) حضور رومنشیت و کریپتوملان در دو نسل و با بافت های مختلف، (d) دگرسانی رومنشیت و کریپتوملان به پیرولوسیت و اکسید آهن، (e) رگه های از کانی فرانکلینیت-بیکسبایت در کنار هیدروکسیدهای آهن میکروکریستالین و (f) حضور کانی فرانکلینیت-بیکسبایت نسل دوم در رگچه های سنگ. علائم اختصاری کانی ها شامل: رومنشیت، Krp: کریپتوملان، Pls: پیرولوسیت، Frn: فرانکلینیت، Bix: بیکسبایت (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 5. (a) Romanechite with stockwork texture accompanied by cryptomelane, (b) Coexistence of romanechite and cryptomelane with disseminated texture in two generations of mineralization, (c) presence of romanechite and cryptomelane in two generation and different texture, (d) Alteration of romanechite and cryptomelane to pyrolusite and Fe-Oxide, (e) A vein of Franklinite-Bixbyite behind of microcrystalline Fe-hydroxide and (f) Presence of second-generation Franklinite-Bixbyite in rock veinlets. Mineral abbreviation are Rmn: Romanechite, Krp: Cryptomelane, Pls: Pyrolusite, Frn: Franklinite, Bix: Bixbyite of Whitney and Evans (2010).

تا تیتانومگنتیتی شکل گرفته است (شکل ۶-د). در بعضی نمونه ها ذرات سولفیدی از نوع پیریت و کالکوپیریت با ابعاد کمتر از ۰/۴ میلی متر در زمینه سنگ و به صورت دانه پراکنده دیده می شوند که در اطراف آنها مقادیری هماتیت حضور دارد (شکل ۶-e). گاهی هم مقداری مالاکیت درون رگچه ها دیده می شود که متن سنگ را قطع نموده اند (شکل ۶-f).

#### ۶- مطالعات XRD و SEM

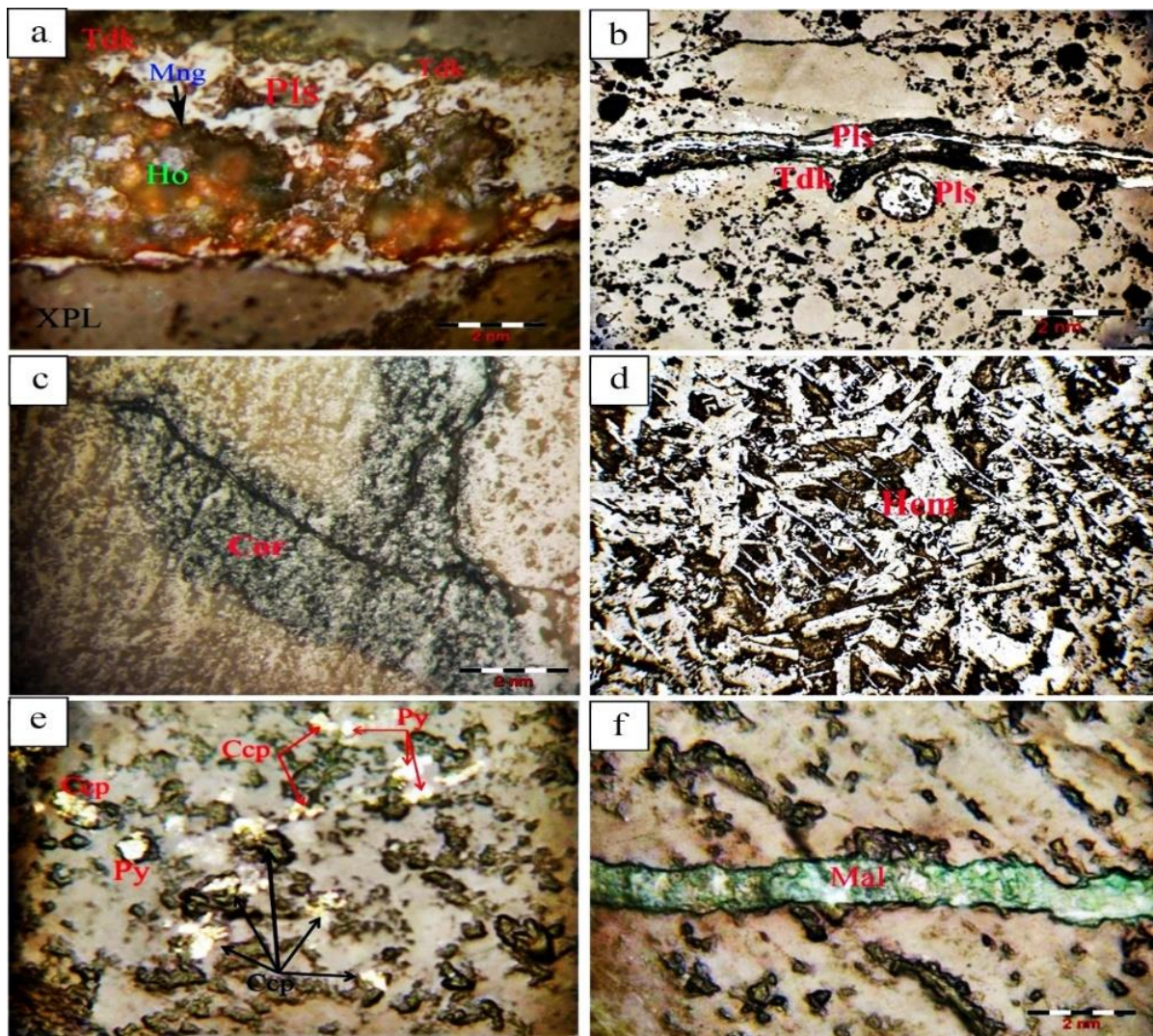
مطالعه کانی شناسی به روش پراش اشعه ایکس بر روی ۱۵ نمونه برداشت شده از ناحیه مورد مطالعه نشان دهنده دگرسانی از نوع

بافت رگه-رگچه ای با ماهیت اپی ژنتیک و هم امتداد با درزه- شکستگی ها (شکل ۶-a) و گاهی نیز در قالب میکروفوسیل ها (شکل ۶-b) دیده می شود. همچنین ذرات ریز و پراکنده اکسید-هیدروکسیدهای منگنز به صورت سین ژنتیک، با زمینه سیلیسی با بافت ریزدانه و رسوبی-شیمیائی احتمالی نهشت سیلیس حاصل از برون دمی های زیر دریائی شکل گرفته اند. در بعضی از قسمت های سنگ آثاری از کرونادیت دیده می شود (شکل ۶-c). بافت اکسولوشن و ثانویه به صورت تیغه های موازی با یکدیگر بر روی بلورهای اولیه و ثانویه با ترکیب هماتیت



کانی‌های اصلی موجود در سنگ میزبان کانه زائی شامل کلریت، کوارتز، موسکویت، ایلیت، میکروکلین و کانی فرعی نیز روتیل است (جدول ۲، شکل ۷). به نظر می‌رسد بیوتیت در حضور سیالات گرم حاوی Fe و Mg به کلریت تبدیل شده‌است

کائولینیتی و کلریتی به همراه کانی‌هایی همانند کوارتز، کلسیت، آلبیت، آمفیبول، پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، میکا، اوژیت، دولومیت، رامزدلیت، پیرولوسیت، رودوکروزیت، تودوروکیت، گوتیت، هماتیت، ژاکوپسیت، براونیت، لومونتیت، مالاکیت، بروکانتیت، آناز و کلینوکلر است. بر این اساس،

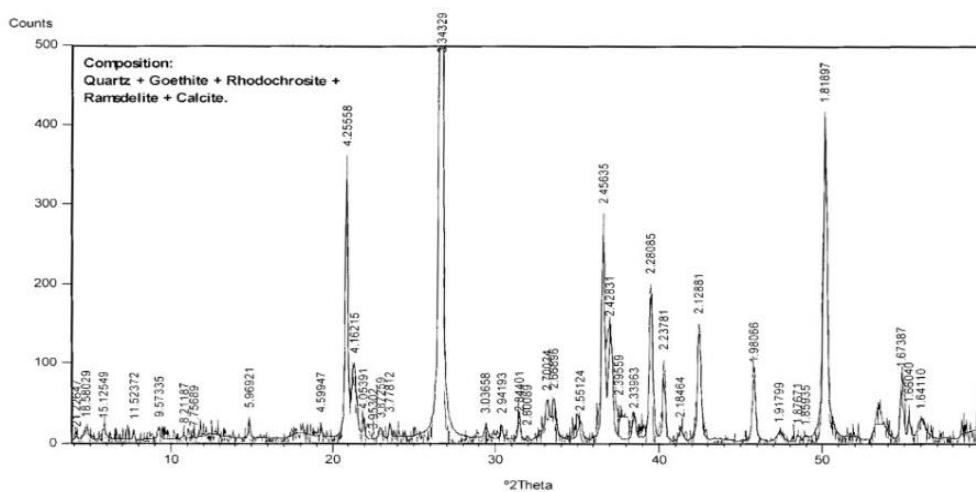


شکل ۶- (a) دگرسانی پیرولوسیت به مجموعه اکسید-هیدروکسیدی منگنز (تودوروکیت، هوسمانیت و مانگانیت، (b) پیرولوسیت و رومنشیت درون رگچه و در قالب میکروفسیل‌های مدور (c) حضور کانی کرونادیت در متن سنگ، (d) هماتیت‌های تیغه‌ای صورت ثانویه بر روی واحد میزبان، (e) ذرات پیریت و کالکوپیریت و (f) رگچه مالاکیتی در سنگ. علائم اختصاری کانی‌ها شامل پیرولوسیت، Tdk: تودوروکیت، Mng: منگانیت، Ho: هولنادیت، Hem: هماتیت، Cor: کرونادیت، Mal: مالاکیت، Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت (Whitney and Evans, 2010).

Fig. 6. (a) Alteration of pyrolusite to Mn-oxide-hydroxide complex (Todorokite, Hollandite, Manganite), (b) Pyrolusite and romanecchite in veinlet and in the form of circular microfossil, (c) presence of coronadite inside the rocks, (d) Secondary blade hematites on the host unit, (e) Pyrite and chalcopyrite particles a vein of Franklinite-Bixbyite behind of microcrystalline Fe-hydroxide and (f) Veinlet of malachite inside the rocks. Mineral abbreviation are Pls: pyrolusite, Tdk: Todorokite, Mng: Manganite, Ho: Hollandite, Hem: Hematite, Cor: Coronadite, Mal: Malachite, Py: Pyrite, Ccp: Chalcopyrite (Whitney and Evans, 2010).

جدول ۲- ترکیب کانی شناسی نمونه‌ها به روش پراش اشعه ایکس (XRD)  
Table 2. Mineralogical composition of samples by XRD method.

No.	Major Mineral	Minnor Mineral	
S1	Quartz, Mn-Oxide	Todorochite, Goethite	Chlorite, Kaolinite
S2	Quartz, Ramsdellite, Jacobsite	Goethite	---
S3	Quartz, Mn-Oxide, Pyrolusite	Goethite	Braunite, Laumontite
S4	Quartz	Mn-Oxide	Albite, Clinochlore, Muscovite
S5	Quartz, Pyrolusite, Hemetite	Albite, Clinochlore	Mn-Oxide, Calcite, Mica, Illite
S6	Quartz, Pyrolusite, Hemetite	Plagioclase, Illite	Clinochlore
S7	Quartz · Mn-Oxide, Rhodochrosite	Clinochlore, Plagioclase	Ramsdellite, Pyrolusite
S8	Quartz, Rhodochrosite, Goethite	Ramsdellite	Calcite
S9	Quartz	Calcite, Malachite	Goethite, brochantite
S10	Quartz, Rhodochrosite, Goetite	Plagioclase	Calcite, Dolomite, Illite
S11	Albite, Clinochlore, Augite	Mn-Oxide, Anatase	Quartz, Calcite, Biotite, Hemetite
S12	Albite, Clinochlore, Augite	Anatase, Pyrolusite	Quartz, Hemetite, Illite
S13	Albite, Clinochlore, Augite	Anatase, Pyrolusite	Quartz
S14	Albite, Clinochlore, Pyrolusite	Mn-Oxide, Anatase, Augite	Quartz, Alkali feldspare,
S15	Albite, Clinochlore, Rhodochrosite	Mn-Oxide, Anatase, Augite	Quartz, Biotite, Amphibole
No.	Major Mineral	Minnor Mineral	Trace Mneral
S1	Quartz, Mn-Oxide	Todorochite, Goethite	Chlorite, Kaolinite
S2	Quartz, Ramsdellite, Jacobsite	Goethite	---
S3	Quartz, Mn-Oxide, Pyrolusite	Goethite	Braunite, Laumontite
S4	Quartz	Mn-Oxide	Albite, Clinochlore, Muscovite
S5	Quartz, Pyrolusite, Hemetite	Albite, Clinochlore	Mn-Oxide, Calcite, Mica, Illite
S6	Quartz, Pyrolusite, Hemetite	Plagioclase, Illite	Clinochlore
S7	Quartz · Mn-Oxide, Rhodochrosite	Clinochlore, Plagioclase	Ramsdellite, Pyrolusite
S8	Quartz, Rhodochrosite, Goethite	Ramsdellite	Calcite
S9	Quartz	Calcite, Malachite	Goethite, brochantite
S10	Quartz, Rhodochrosite, Goetite	Plagioclase	Calcite, Dolomite, Illite
S11	Albite, Clinochlore, Augite	Mn-Oxide, Anatase	Quartz, Calcite, Biotite, Hemetite
S12	Albite, Clinochlore, Augite	Anatase, Pyrolusite	Quartz, Hemetite, Illite
S13	Albite, Clinochlore, Augite	Anatase, Pyrolusite	Quartz
S14	Albite, Clinochlore, Pyrolusite	Mn-Oxide, Anatase, Augite	Quartz, Alkali feldspare,
S15	Albite, Clinochlore, Rhodochrosite	Mn-Oxide, Anatase, Augite	Quartz, Biotite, Amphibole



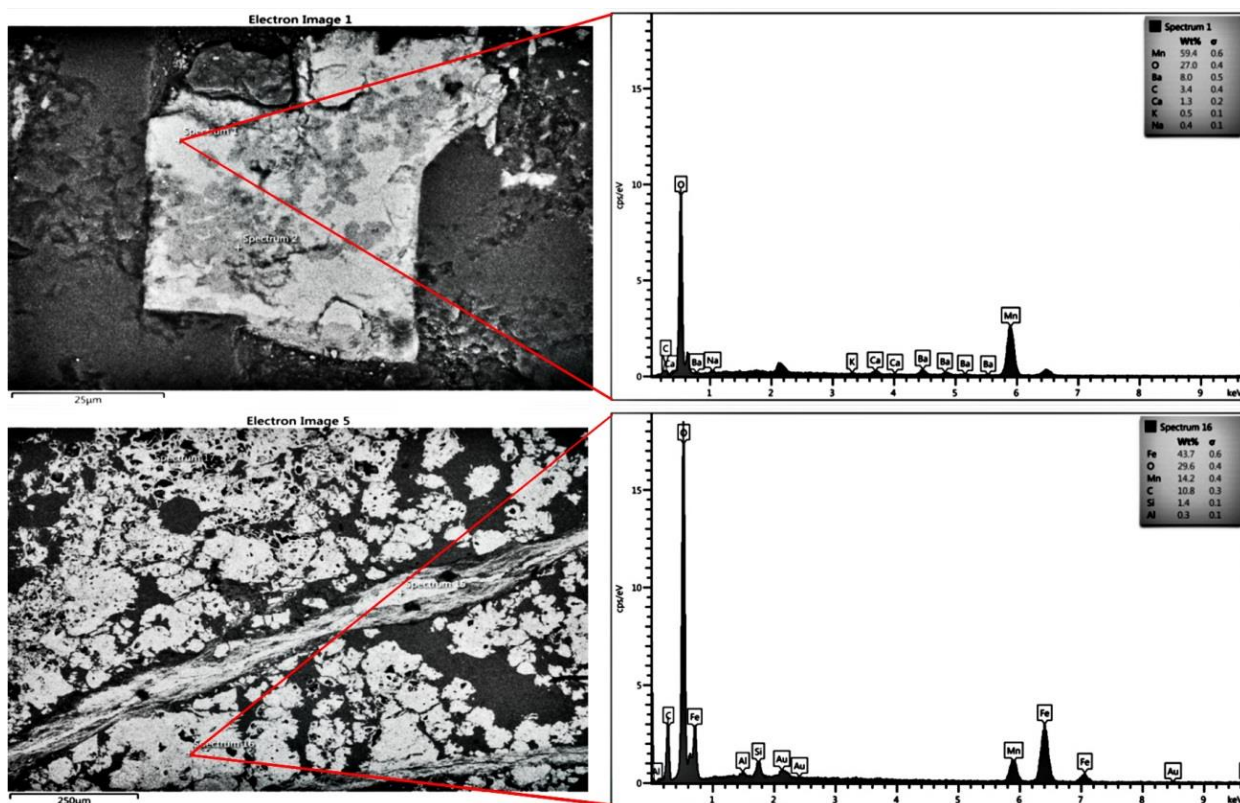
شکل ۷- طرح وابسته به یکی از نمونه‌ها به روش پراش اشعه ایکس (XRD)

Fig. 7. Design dependent on one of the samples by XRD



سولفیدی پیریت و همچنین به حالت آزاد است که با اندازه کمتر از ۵ میکرون از پیریت های اکسید شده آزاد گردیده وجود دارد (شکل ۸). با مطالعه و بررسی های انجام شده نشانه ای از همراهی طلا در حواشی و یا داخل کانه های اکسیدی موجود از قبیل تیتانومگنتیت، ایلمنیت، مگنتیت (همانند کانه های سولفیدی اکسید شده) بدست نیامد. بر اساس این مطالعات عناصری همانند طلا، مس، مولیبدن، سرب، روی، تیتانیوم، وانادیوم، کروم، باریم و فسفر قابل مشاهده می باشند (شکل ۸).

به منظور افزایش دقت مطالعات، آنالیز و تصویربرداری ۵۰ نقطه از ۱۰ مقطع مطالعه شده توسط میکروسکوپ نوری، به روش SEM به انجام رسید. بر این اساس، طیف های EDS تداعی کننده حضور کانی هائی همانند رامزدلیت، رومنشیت، رودوکروزیت، ژاکوسیت، بیکسبائیت، برونیت، پیروفانیت، اکسید-هیدروکسیدهای منگنز، پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، تیتانومگنتیت، روتیل، هماتیت، گوتیت، آنکریت در مقاطع مورد تأیید قرار گرفت. بررسی مقاطع نشان دهنده حضور طلا در کانه



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپ الکترونی SEM و طیف BSE از کانی سازی منگنز در ناحیه سالاردول.  
Fig. 8. Electron microscope image (SEM) and BSE graph from Mn mineralization in Salardol area.

۷- زمین شیمی عناصر اصلی و جزئی و وزن منگنز سالاردول  
زمین شیمی و نحوه تشکیل منگنز را می توان به کمک بعضی از عناصر اصلی و جزئی و به کمک نسبت های مختلف عنصری و همچنین نمودارهای مختلف تعیین نمود. مقادیر مربوط به اکسیدهای عناصر اصلی و جزئی در جدول یک نشان داده شده است. ملاک های زمین شیمی و استفاده از اکسیدهای عناصر اصلی و مقادیر برخی عناصر همانند Mn, Fe, Ti و Al در تمایز نهشته های فرومنگنز بسیار مفید بوده و به اثبات رسیده است

۸- نمودارها و نسبت های عناصر جزئی در نهشته منگنز سالاردول

نمودار Fe-Mn-Si<sub>2</sub>×2 (Karakuş et al., 2010): محیط تشکیل منگنز را به کمک این نمودار می توان تعیین نمود. با

1997) از این نمودار می‌توان برای جداسازی انواع کانسارهای منگنز استفاده نمود. کانسارهای گرمابی نسبت به انواع آزاد مقادیر کمتری از عناصر Co, Ni و Cu و مقادیر بالاتری از عناصر Fe و Mn را دارا بوده و گرهم‌های منگنز خصوصاً گرهم‌های مناطق پلاژیک و در مقایسه با آبهای کم عمق دارای مقدار بیشتری از این عناصر هستند (Toth, 1980). وجود مقادیر بالا از عناصر جزئی همانند Co, Ni و Cu در نهشته‌های منگنز آزاد حاکی از زمان طولانی رخنمون، نهشت آهسته و جذب سطحی عناصر توسط فازهای کلوئیدی منگنز و آهن از آب دریا است. از طرفی ته‌نشینی سریع نهشته منگنز گرمابی مانع از جذب سطحی عناصر از منشأ آزاد می‌گردد (Fitzgerald and Gillis, 2005). با استفاده از این نمودار می‌توان گفت که نمونه‌های ناحیه مورد مطالعه دارای میزان بالای Mn و Fe و مقادیر اندکی از Co, Ni و Cu بوده و در گروه منگنزهای گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰-ا).

نمودار دوتایی Co/Zn در مقابل Co-Ni-Zn (Toth, 1980) با استفاده از این نمودار کانه‌زایی گرمابی از آزاد قابل تفکیک است زیرا نسبت Co/Zn برای کانسارهای گرمابی میانگین حدود ۰/۱۵ و برای کانه‌زایی آزاد میانگین ۲/۵ را نشان می‌دهد. آهنگ سریع نهشت و عدم جذب سطحی عناصر توسط اکسیدهای Mn باعث نبود غنی‌شدگی Co, Ni و Cu در نهشته‌های گرمابی در مقایسه با نهشته‌های آزاد فرومنگنز در مجاورت پشته‌های میان اقیانوسی می‌شود (Hein et al., 1997). در این نمودار نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده گرمابی واقع شده‌اند (شکل ۱۰-ب).

نمودار مثلثی Cu-Ni-Co (Shah and Moon, 2004): به کمک این نمودار کانسارهای مرتبط با فعالیت‌های آتشفشانی و گرمابی که میزان مس بالایی دارند قابل تفکیک می‌باشند (Shah and Moon, 2004). غلظت عناصر جزئی در کانسارهای منگنز آزاد به دلیل جذب سطحی کاتیون‌هایی مانند Zn و Cu توسط کلوئیدهای اکسیدی منگنز که بار سطحی منفی دارند بیشتر از کانسارهای گرمابی زیردریایی است (Choi and Hariya, 1992). در ناحیه مورد مطالعه، غلظت مس (۲۲۲-۳۰۲)، نیکل (۱۲-۲۰) و غلظت کبالت (۱۴/۹-۱۵/۸) گرم در تن متغیر است (جدول ۱). به کمک این نمودار و با توجه به داده‌های موجود نمونه‌های ناحیه مورد مطالعه در محدوده کانسارهای گرمابی قرار می‌گیرند (شکل ۱۰-ج).

توجه به اینکه نهشته‌های گرمابی منگنز که در مجاورت مجراهای گرمابی زیردریایی امروزی تشکیل شده‌اند، دارای مقادیر بالایی از سیلیس می‌باشند (Munteanu et al., 2004). بنابراین تمایل نمونه‌ها به سمت  $Si \times 2$  می‌تواند نشان‌دهنده تشکیل منگنز در محیط سرشار از سیلیس باشد (Fitzgerald and Gillis, 2005). وجود مقادیر بالای سیلیس را می‌توان به سیال گرمابی دور از منشأ نسبت داد (Jach and Dudek, 2005). تمایل نمونه‌ها در نمودار مذکور به قطب  $Si^*2$  نشان‌دهنده تشکیل منگنز در محیط سرشار از سیلیس است (شکل ۹-ا).

نمودار دوتایی  $Al_2O_3-SiO_2$  (Choi and Hariya, 1992): با کمک این نمودار می‌توان نهشته‌های منگنز آزاد و گرمابی را از یکدیگر تفکیک نمود. نهشته‌های منگنز گرمابی آلومینیم پائین و سیلیس بالا دارند. در این نمودار، نمونه‌های منگنز در محدوده گرمابی قرار گرفته‌اند (شکل ۹-ب).

نمودار Pb-Zn (Nicholson, 1992a): این نمودار نهشته‌های منگنز اکسیدی منگنز (گرمابی یا سوپرژن) را از نهشته‌های نوع دابهیت تفکیک می‌نماید. در این نمودار تمامی نمونه‌های منگنز ناحیه سالاردول در محدوده گرمابی قرار می‌گیرند. این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که واحدهای سنگی منگنزدار ناحیه مورد مطالعه به رده نهشته‌های منگنز گرمابی برون‌دمی تعلق دارند (شکل ۹-ج).

نمودار Na-Mg (Nikolson, 1992b): این نمودار به منظور جداسازی نهشته‌های منگنز تشکیل شده در محیط‌های دریایی کم‌عمق، عمیق و آب شیرین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نهشته‌های دریایی عناصر همانند Ca, Mg, K, Na و Sr غنی‌شدگی نشان می‌دهند. در طی فرآیند سوپرژن عناصر مثل Ca, Mg و Si از کانه‌های اولیه شسته شده و مقدار آنها کاهش می‌یابد (Acharya et al., 1997). از طرف دیگر نسبت Na به Mg در کانسارهای فرومنگنز تحت تأثیر دگرگونی هرچند ضعیف کاهش می‌یابد (Shah and Moon, 2004). پدیده دگرگونی در ناحیه سالاردول قابل مشاهده نیست. نمونه‌های منگنز ناحیه مورد مطالعه در محدوده آب شیرین قرار گرفته‌اند. بر این اساس می‌توان گفت که تأثیر فرآیند سوپرژن که باعث پرعیار شدن ماده معدنی شده است دلیل قرارگیری نمونه‌ها در این قسمت می‌باشد (شکل ۹-د).

نمودار  $Fe-Mn-(Co+Ni+Zn) \times 10$  (Hein et al., )

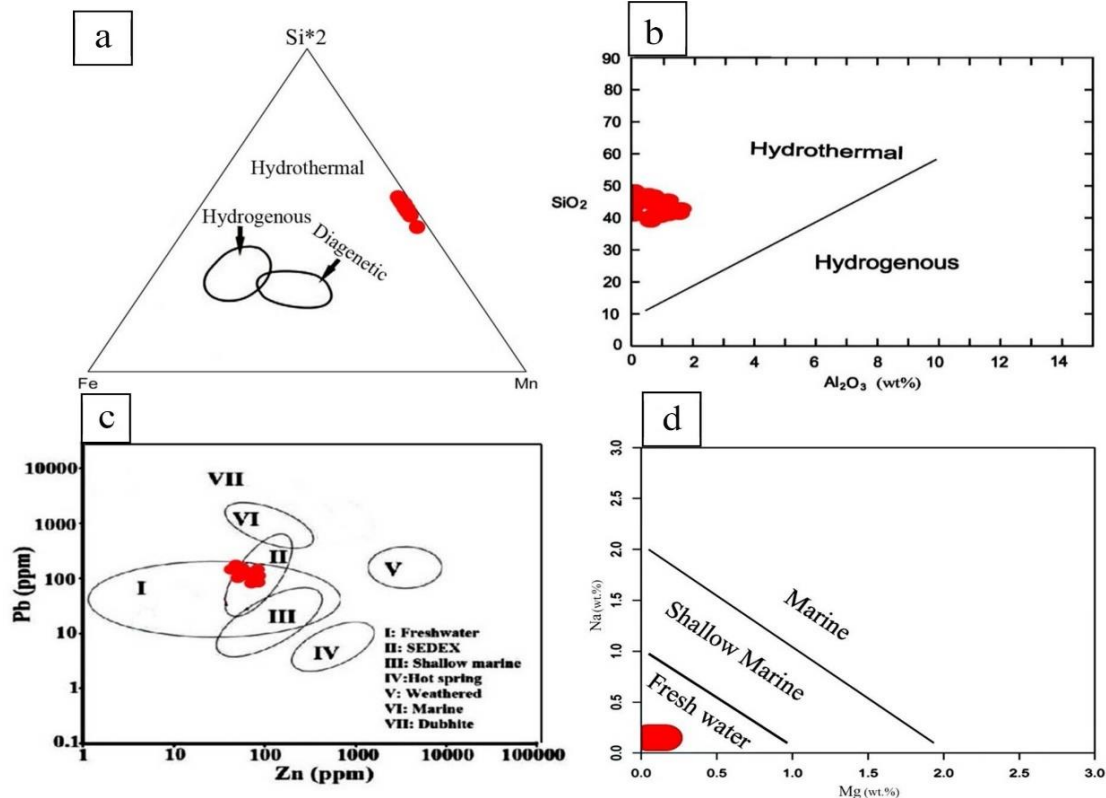


آزاد می‌شود (Bonatti et al., 1976). توریم به دلیل حلالیت کم و زمان اقامت بسیار کوتاه، تحت تأثیر فرآیندهای زمین‌شیمیایی در ارتباط با نهشته‌های آواری بوده و در محیط اقیانوسی وارد نمی‌شود (Heshmatbehzadi and Shahaabpour, 2010; Maynard, 2010). در نمونه‌های ناحیه مورد مطالعه نسبت U/Th 13/0 تا ۰/۹۳ با میانگین ۰/۳۸ درصد وزنی متغیر است که بر این اساس می‌توان منشأ سیالات گرمابی را برای نهشت این عناصر در نظر گرفت (شکل ۱۰-ع).

نسبت Si-Al (Toth, 1980): این نمودار جهت تعیین منشأ هیدروترمال و تفکیک آن از رسوبی قابل استفاده است. در کانسارهای منگنز با منشأ هیدروترمال مقدار Si بالا می‌باشد. بر اساس این نمودار نهشته منگنز سالاردول از نوع هیدروترمال می‌باشد (شکل ۱۰-ف).

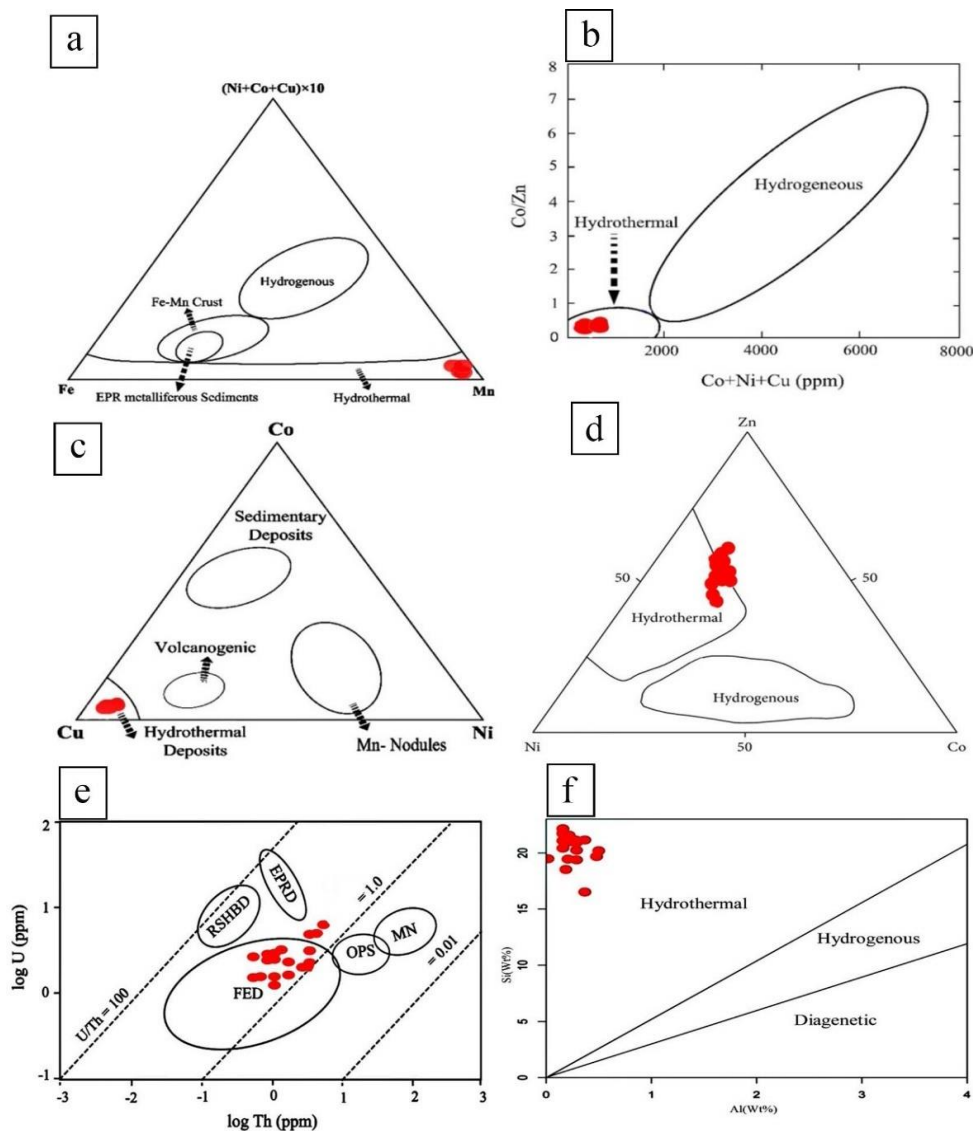
نمودار مثلثی Zn-Co-Ni (Choi and Hariya, 1992): ذخایر منگنز گرمابی دارای محتوای پائین از عناصر Cu, Zn, Co و Ni می‌باشند (Choi and Hariya, 1992). از نظر منشأ عناصر جزئی همچون Ni و Zn به طور اولیه گرمابی و Co غالباً آزاد است (Flohr and Marta, 1992). در حین جذب در اکسیدهای منگنز میانگین مقدار کبالت از ذخایر آزاد به سمت ذخایر دیازنتیک و گرمابی به شدت کاهش می‌یابد (Sabatino et al., 2011). در این نمودار نمونه‌ها گرایش به خط Ni-Zn دارند که نشان‌دهنده نهشته‌های منگنز گرمابی زیردریایی است (شکل ۱۰-د). نهشته‌های آزاد به طور نسبی مقادیر بالای Co را نشان داده و به خط Ni-Co گرایش دارند (Nicholson, 1992a).

نسبت U/Th (Rona et al., 1983): فعالیت ماگمایی موجب تمرکز و غنی‌شدگی نهشته گرمابی شده و باعث افزایش محتوای اورانیوم نهشته‌های گرمابی تا چندین برابر نهشته‌های



شکل ۹- نمودارهای دوتایی و سه‌تایی که نقش سیالات گرمابی را در زایش نهشته منگنز سالاردول نشان می‌دهند. (a) نمودار سه‌تایی Mn-Fe-Si\*2 (Karakus et al., 2010)، (b) نمودار دوتایی Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (Choi and Hariya, 1992)، (c) نمودار دو تایی Pb-Zn (Nicholson, 1992a) و (d) نمودار دوتایی Na-Mg (Nicholson, 1992b).

Fig. 9. Ternary and bivariate diagrams illustrating the hydrothermal fluids component of the genesis of the Salardol Manganese deposit. (a) Fe-Mn-Si\*2 ternary diagram (Karakus et al., 2011), (b) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> bivariate diagram (Choi and Hariya, 1992), (c) Pb-Zn bivariate diagram (Nicholson, 1992a) and (d) Na-Mg bivariate diagram (Nicholson, 1992b).



شکل ۱۰- نمودارهای دوتایی و سه تایی که نقش سیالات گرمایی را در زایش نهشته منگنز سالاردول نشان می دهند. (a) نمودار سه تایی Fe-Mn- $(Ni+Co+Cu) \times 10$  (Hein et al., 1997)، (b) نمودار دوتایی  $Co/Zn-(Co+Ni+Cu)$  (Toth, 1980)، (c) نمودار سه تایی Cu-Ni-Co (Shah and Moon, 2004)، (d) نمودار سه تایی Ni-Co-Zn (Choi and Hariya, 1992)، (e) نمودار دوتایی U-Th (Rona et al., 1983) و (f) دیاگرام دوتایی Al-Si (Toth, 1980).

Fig. 10. Ternary and bivariate diagrams illustrating the hydrothermal fluids component of the genesis of the Salardol Manganese deposit. (a) Fe-Mn- $(Ni+Co+Cu) \times 10$  ternary diagram (Hein et al., 1997), (b)  $Co/Zn-(Co+Ni+Cu)$  bivariate diagram (Hein et al., 1997), (c) Co-Ni-Cu ternary diagram (Shah and Moon, 2004), (d) Ni-Co-Zn ternary diagram (Choi and Hariya, 1992), (e) U-Th bivariate diagram (Rona et al., 1983) and (f) Si-Al bivariate diagram (Toth, 1980).

بر اساس (Polgári et al., 2012; Choi and Hariya, 1992) مطالعات انجام شده در نمونه های ناحیه مورد مطالعه مقدار Al مابین ۰/۰۲ تا ۰/۴۸ با میانگین ۰/۲۵ درصد وزنی و مقدار Ti مابین ۰/۰۷ تا ۰/۱ با میانگین ۰/۰۸ درصد وزنی متغیر است. این مقادیر پائین نشان دهنده منشأ گرمایی منگنز تملیه می باشد.

نسبت Ti-Al (Sasmaz et al., 2014): ذخایر گرمایی منگنز معمولاً در ماده ژلاتینی حاوی سیلیس و آهن در نزدیک مراکز فوران کننده در کف اقیانوس تشکیل می شوند (Roy, 1992). همچنین حضور Al و Ti در کنار کانسنگ اکسیدی منگنز نشان دهنده آمیختگی مواد آواری و رسی در زمان رسوبگذاری است (Sugisaki, 1984; Glasby, 2000).

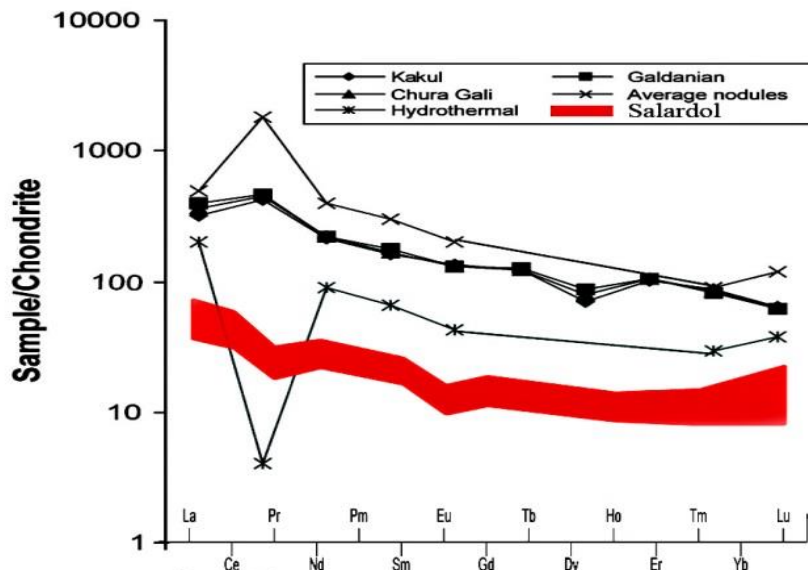
کندریت غنی‌شدگی وجود دارد. با توجه به شیب (LREE) به طرف (HREE)) که اختصاص به سنگ‌های تشکیل شده در یک محیط فرورانش دارد می‌توان تشکیل این سنگها را مرتبط با یک قوس فرورانش دانست. در این نموداری‌هنجاری مثبت عناصر Ce, Sm, Nd و Er و بی‌هنجاری منفی عناصر La, Pr, Ho و Tm قابل مشاهده است. کانسارهای گرمابی به ویژه انواع نهشته شده در محیط‌های دریایی در مقایسه با گرگ‌های منگنز و نهشته های آیزاد بی‌هنجاری مثبت Ce را نشان می‌دهند (Elderfield and Greaves, 1981).

همچنین با مقایسه الگوی بهنجار شده عناصر نادر خاکی نهشته منگنز سالاردول نرمالیزه شده نسبت به کندریت و مقایسه آن با میانگین نودول‌های منگنز (Haskin et al., 1966) و میانگین نهشته‌های گرمابی (Ruhlin and Owen, 1986) می‌توان گفت که این نهشته منگنز به نهشته‌های گرمابی شباهت دارد (شکل ۱۱). منشاء محلول‌های گرمابی مؤثر را می‌توان ناشی از حضور بازالت‌های آکالین موجود در محیط درون صفحه‌ای اقیانوسی در نظر گرفت (Meschede, 1986).

نسبت Mn/Fe (Nicholson, 1992a): با استفاده از این نسبت می‌توان نهشته‌های منگنز گرمابی را از آیزاد تفکیک نمود. در کانسارهای دریاچه‌ای مقدار این نسبت کمتر از یک، در نهشته‌های آیزاد برابر با یک (Hein et al., 1992) و در نهشته‌های برون‌دومی بین ۰/۱ تا ۱۰ متغیر است (Nicholson, 1992a). وجود نسبت‌های بسیار بالا و بسیار پائین Mn/Fe نشان‌دهنده تفکیک و جدایش این دو عنصر در طی حمل و نقل در فعالیتهای گرمابی و کانه‌زایی در محیط‌های رسوبی است (Rona, 1983). در ناحیه سالاردول نسبت Mn/Fe بین ۱۹/۱۰ تا ۲۷/۰۰ با میانگین ۲۲/۱۱ درصد وزنی متغیر است (جدول ۱) که با ذخایر مرتبط با نهشته های گرمابی سازگار بوده و نهشته شده در محیط رسوبی را تأیید می‌کند.

#### ۹- زمین‌شیمی عناصر خاکی کمیاب کانسنگ های منگنز منطقه

الگوی بهنجار شده عناصر نادر خاکی نسبت به کندریت (Sun and McDonough, 1989) در نهشته منگنز سالاردول، تفریق عناصر نادر خاکی سبک نسبت به سنگین را نشان می‌دهد (شکل ۱۱). به این ترتیب در عناصر نادر خاکی سبک تا ۶۰ برابر



شکل ۱۱- نمودار داده‌های عناصر نادر خاکی ناحیه سالاردول نرمالیزه شده نسبت به کندریت و مقایسه آن با میانگین نودول‌های منگنز (Haskin et al., 1966) و میانگین نهشته‌های منگنز گرمابی (Ruhlin and Owen, 1986).

Fig. 11. REE diagram data's of Salardol area normalized to chondrite and comparison with moderate of Mn-nodules (Haskin et al., 1966) and Moderate of Mn hydrothermal sediments (Ruhline and Owen, 1986).

زیرپهنه رادیولاریتی به سن ژوراسیک میانی تا کرتاسه بالائی قرار دارد. بر اساس بررسی‌های زمین‌شناسی، سنگ‌های موجود

#### ۱۰- نتیجه‌گیری

نهشته منگنز سالاردول درون مجموعه افیولیتی کرمانشاه و در

سیالات گرمایی را برای نهشت این عناصر در نظر گرفت. زمین‌شیمی عناصر کمیاب و نادرخاکی حاکی از بی‌هنجاری منفی Eu، Rb و K و بی‌هنجاری مثبت Cs، Ba، Nb، Sr، Ce و Ti دارد که به سازگاری بالایی با نهشته‌های گرمایی منگنز دارد. از طرف دیگر الگوی بهنجار شده عناصر نادرخاکی نهشته منگنز سالاردول با سنگ‌های میزبان آتشفشانی و دیگر کانسارهای گرمایی منگنز جهان مشابه بوده و حکایت از منشأ گرمایی برای تشکیل نهشته منگنز دارد.

بر این اساس می‌توان گفت که بسته شدن نئوتتیس در کرتاسه پایانی-پالئوسن و برخورد خرد قاره ایران مرکزی با صفحه عربی تحت تأثیر فاز کوهزایی لارامین منجر به کوهزایی زاگرس شده و موجب تشکیل افیولیت و دگرشکلی‌های فراوان در این ناحیه شده است. پس از آن فعالیت‌های آتشفشانی با تمرکز سیستم‌های گرمایی در راستای حرکات زمین‌ساختی و تحت تأثیر عملکرد گسل‌ها موجب گسترش فعالیت‌های گرمایی برون‌دمی شده و با شستن عناصری همانند Zn، Pb، Si، Mn، Cu، Au و Ba از سنگ‌ها و عبور از گسل‌های موجود وارد حوضه رسوبی شده و با توجه به بالا بودن محتوای منگنز و در شرایط مناسب محیطی نهشته‌هایی از این عنصر را بوجود آورده است.

در این ناحیه شامل سنگ‌های رادیولاریتی، سنگ‌های آهکی برشی و واحدهای کرتاسه است. مطالعات کانی‌شناسی، XRD و SEM نشان‌دهنده حضور کانه‌هایی همانند رامزدلیت، رومنشیت، رودوکروزیت، ژاکوسیت، بیکسبائیت، برونیت، پیروفانیت، اکسید-هیدروکسیدهای منگنز، پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، تیتانومگنتیت، روتیل، همتایت، گوتیت و آنکریت است. مهم‌ترین بافت‌های موجود ندولی، انتشاری، دانه پراکنده، پرکننده درز و شکاف و گاهی نیز استوک ورک است. کوارتز و کلسیت نیز مهم‌ترین کانی‌های باطله را تشکیل می‌دهند. تشکیل اکسیدهای منگنز با بافت‌های مذکور و هم‌رشدی آن با کوارتز و کلسیت و دگرسانی سنگ میزبان و نیز حضور کانی‌های رسی می‌تواند نشان‌دهنده منشأ گرمایی زیردریایی برای کانه‌زایی در نهشته منگنز سالاردول باشد. به منظور بررسی منشأ و نحوه تشکیل نهشته منگنز سالاردول، مطالعه زمین‌شیمی عناصر اصلی، جزئی و نادرخاکی صورت گرفت. اطلاعات بدست آمده از نمودارها و نسبت‌های عناصر اصلی شامل نسبت‌های مختلف  $\text{Si}/\text{Al}$ ،  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ،  $\text{Na}/\text{Mg}$  و  $\text{Mg}/\text{Fe}$  نشان‌دهنده نقش سیالات گرمایی در محیط کم‌عمق دریایی تا دریاچه‌ای مرتبط با آب شیرین است. نمودارها و مقادیر عناصر جزئی نشان‌دهنده کم بودن مقدار عناصری همانند Cu، Co، Ni و Zn است که بر این اساس می‌توان منشأ

## مراجع

- Abdi, A., Mahmudy Gharaei, M.H., Kariminia, M., Karimi Bavandpur, A., Mohajjel, M., 2015. Ichnofacies Analysis of Kermanshah Radiolarites for the Review of the Sedimentary Environment. *Scientific Quarterly Journal Seoscience* 95, 116-209. <http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2015.42324>
- Acharya, B.C., Rao, D.S., Sahoo, R.K., 1997. Mineralogy, chemistry and genesis of Nishikhal manganese ores of south Orissa, India. *Mineralium Deposita* 32(1), 79-93. <http://dx.doi.org/10.1007/s001260050074>
- Adames., A.A., Machenzie, W.S., Gukiford, C., 1984. *Atlas of Sedimentary Rocks under the Microscope*. English language book society/longman, p.104.
- Anschutz, P., Dedieu, K., Desmazes, F., Chaillou, G., 2005. Speciation, oxidation state, and reactivity of particulate manganese in marine sediments. *Chemical Geology* 218, 265-327. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.01.008>
- Bonatti, E., Zerbi, M., Kay, R., Rydell, H., 1976. Metalliferous deposit from the Apennine ophiolites: Mesozoic equivalents of modern deposits from oceanic spreading center. *Geological Society of America Bulletin* 87, 83-94.
- Broud, J., 1989. La saturated du Zagros a nivea du Kermanshah (KurdistanIranian): reconstitution pa leographique evolution geodynamique magmatique etstructural. *Geological survey and mineral exploration of Iran*.
- Choi, J. H., 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>
- Edwards, K.J., Glazer, B.T., Rouxel, O.J., Bach, W., Emerson, D., Davis, R.E., Toner, B.M., Chan, C.S., Tebo, B.M., Staudigel, H., Moyer, C.L., 2011. Ultra-diffuse hydrothermal venting supports Fe-oxidizing



- bacteria and massive umber deposition at 5000 m off Hawaii. *The ISME Journal* 5(11), 1748–1458. <https://www.nature.com/articles/ismej201148>
- Elderfield, H., Greaves, M. J., 1981. Negative Cerium anomalies in the rare earth element patterns of oceanic ferromanganese nodules. *Earth and planetary Science. Letters* 55, 163-170.
- Elyaszadeh, R., Mohajjel, M., 2011. Structural Style of High Zagros Zone Based on Thrust Fault System in Southeast Kermanshah. *Scientific Quarterly Journal Seoscience* 78, 61-68. <http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2010.54598>
- Flohr, J.K., Marta, M., 1992. Geochemistry and origin of the Bald Knob manganese Deposit, North Carolina. *Economic Geology* 78, 2023-2040. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/70017083>
- Fitzgerald, C.E. and Gillis, K.M., 2005. Hydrothermal Manganese oxide deposits from Baby Bare seamount in the Northeast Pacific Ocean. *Marine Geology* 89, 1-18. <http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2005.09.005>
- Glasby, G. P., 2000. Manganese: predominant role of nodules and crust. In: H.D. Schulz and M.Z. Zabel (Editors), *Marine Geochemistry*. Springer-Verlag, Berlin 335-372. [http://dx.doi.org/10.1007/3-540-32144-6\\_11](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-32144-6_11)
- Haskin, L.A., Frey, F.A., Schmitt, R., Smith, R.H., 1966. Meteoritic, solar and terrestrial rare earth distributions. *Physics Chemistry Earth* 7, 167-321.
- Hasannejad, H., Shahrokhi, S.V., Lotfi, M., Kiani, M., Azadbakht, S., 2015. Mineralogy and Geochemistry of Manganese-Bearing Deposits In the Radiolaritic unit of North Aleshtar (North of Lorestan). *Jornal of Geochemistry* 3(4),341-349. [http://geochem.iranjournals.ir/article\\_643035.html](http://geochem.iranjournals.ir/article_643035.html)
- Hein, J. R., Koschinsky, A., Halbach, P., Manheim, F. T., BauKang, J. K., Lubick N., 1997. Iron and manganese oxide mineralization in the Pacific. In: Nicholson K, Hein JR, John B, Dasgupta Seeds. *Manganese mineralization: Geochemistry and Mineralogy of terrestrial and marine deposits* 119, 123-138. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.930.7566&rep=rep1&type=pdf>
- Hein, J.R., Schulz, M.S., Dunham, R.E., Stern, R.J., Bloomer, S.H., 2008. Diffuse flow hydrothermal manganese mineralization along the active Mariana and Southern Izu-Bonin arc system, western Pacific. *Journal of Geophysical Research* 113(8), 1–29. <http://dx.doi.org/10.1029/2007JB005432>
- Heshmatbehzadi, K., Shahabpur, J., 2010. Metallogeny of manganese and ferro manganese ores in Baft ophiolitic Mélange, Kerman, Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(2), 302–313. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2010/302-313.pdf>
- Ingram, B. L., Hein, J.R., Farmer, G.L., 1990. Age determinations and growth rates of Pacific ferromanganese deposits using strontium isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54, 1709-1721. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70016197>
- Jach, R., Dudek, T., 2005. Origin of a Toarcian manganese carbonate/silicate deposit from the Křižna unit, Tatra Mountains, Poland. *Chemical Geology* 224, 136-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemgeo.2005.07.018>
- Juteau, T., Maury, R., 2000. The Oceanic Crust, from Accretion to Mantle Recycling. *BOOK REVIEWS, Geological Magazine* 137(4), 463-479. <http://dx.doi.org/10.1017/S0016756800244415>
- Karakuş, A., Yavuz, B., Koç, S., 2010. Mineralogy and major-trace element geochemistry of the Haymana manganese mineralizations, Ankara, Turkey. *Geochemistry International* 48(10),1014–1027. <http://dx.doi.org/10.1134/S001670291010006X>
- Kiani, M., Ahmadikhajji, A., Shahrokhi, S.V., Rasa, I., Panahi, A., 2011. Petrological and geochemical evidence of basalts in ophyolite of Kermanshah based on magma in suprasubduction environment (SSZ). 2th conference of earth science, Ashtian Branch, Islamic Azad University.
- Maanijou, M., Nasiri, A., Aliani, F., Mostaghimi, M., Gholipoor, 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), 1-2. [https://econg.um.ac.ir/article\\_30335\\_93eea4ef120b971f505598b23537d3de.pdf](https://econg.um.ac.ir/article_30335_93eea4ef120b971f505598b23537d3de.pdf)
- Mahmoudi, Sh., Geravandi, P., Ghasemi Siani, M., Gholozadeh, K., 2020. Mineralogy, geochemistry, and genesis of Mn mineralization associated with the Noorabad Delfan radiolarites, Northwestern Lorestan. *Economic Geology* 11, 603-627. <http://dx.doi.org/10.22067/econg.v11i4.67074>
- Maynard, J.B., 2010. The chemistry of manganese ores through time: a signal of increasing diversity of earth-surface environments. *Economic Geology* 105, 535–552. <http://dx.doi.org/10.2113/gsecongeo.105.3.535>

- Meschede, M., 1986. A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chemical Geology* 56, 207-218. [http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541\(86\)90004-5](http://dx.doi.org/10.1016/0009-2541(86)90004-5)
- Moghaddasi, S.J., Negahban, Y., 2012. Study of mineralogy and geochemistry of manganese ore and host rocks of the Robat Karim Manganese deposit, southwest Tehran. *Scientific Quarterly journal Geoscience* 83, 67-76. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/837972>
- Mohajjel, M., Biralvand, M., 2010. Folding Style in Kermanshah Radiolarites and its Significance in Collision Tectonic of Northwest Iran. *Scientific Quarterly Journal Seoscience* 75, 75-82. <http://dx.doi.org/10.22071/gsj.2010.55439>
- Mohajjel, M., Sahandi, M.R., 2001. Tectonic evolution of Sanandaj-Sirjan Zone. *Scientific Quarterly journal Geoscience* 31-32, 28-49.
- Mohajjel, M., Fergosson, C.L., Sahandi, M.R., 2003. Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 21(4), 397-412. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(02\)00035-4](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(02)00035-4)
- Munteanu, M., Marincea, S., Kasper, H.U., Zak, K., Alexe, V., Trandafir, V., Saptefrati, G., Mihalache, A., 2004. Black chert-hosted manganese deposits from the Bistritei Mountains, Eastern Carpathians (Romania): petrography, genesis and metamorphic evolution. *Ore Geology Reviews* 24, 45-65. <http://dx.doi.org/10.1016/J.OREGEOREV.2003.08.004>
- Nicholson, K., 1992a. 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., 1992b. 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://ur.booksc.eu/book/52945679/7ad605>
- Oksuz, N., 2011. Geochemical characteristics of the Eymir (Sorgun- Yozgat) manganese deposits, Turkey. *Journal of Rare Earth* 29, 87-296. [https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(10\)60446-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(10)60446-2)
- Polgari, M., Hein, J. R., Vigh, T., Szabo-Drubina, M., Forizs, I., Biro, L., Muller, A., Toth, A. L., 2012. Microbial processes and the origin of the Urkut manganese deposit, Hungary. *Ore Geology Review* 47, 87-109. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oregeorev.2011.10.001>
- Rajabzadeh, M.A., Nazari-Dehkordi, T., 2013. Investigation on mantle peridotites from Neyriz ophiolite, south of Iran. *Geodynamic signals* 6, 4445-4461. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-012-0687-2>
- Ricou, L.E., 1976. Evolution structural des Zagrides, La region clef de Neyriz (Zagros Iranien). *Memories de la Societe Geologique de France, Nouvelle Serie-Tome* 125, 1-140.
- Rona, P., Bostrom, K., Laubier, L. and Smith, K., 1983. Hydrothermal processes at sea floor spreading centers. Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division, p. 796.
- Roy, S., 1992. Environments and Processes of Manganese Deposition. *Economic Geology* 87, 1213-1236. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.87.5.1218>
- Ruhlin, D.E., 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.
- Sabatino, N., Neri, R., Bellanca, A., Jenkyns, H. C., Masetti, D., Scopelliti, D., 2011. Petrography and high\_resolution geochemical records of Lower Jurassic manganese rich deposits from Monte Mangart, Julian Alps. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol* 299, 97-109. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2010.10.039>
- Saccani, E., Allahyari, K., Beccaluva, L., Bianchini, G., 2013. Geochemistry and petrology of the Kermanshah ophiolites (Iran): Implication for the interaction between passive rifting, oceanic accretion, and OIB-type components in the Southern Neo-Tethys Ocean. *Gondwana Research* 24(1), 392-411. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2012.10.009>
- Sasmaz, A., Türkyilmaz, B., Öztürk, Yavuz, F., Kumral, M., 2014. Geology and geochemistry of Middle Eocene Maden complex ferromanganese deposits from the Elazığ-Malatya region, eastern Turkey. *Ore Geology Review* 36, 357-372. <https://doi.org/10.4154/gc.2021.20>
- Schmidt, K., Bau, M., Hein, J., Koschinsky, A., 2014. Fractionation of the geochemical twins Zr-Hf and Nb-Ta during scavenging from seawater by hydrogenetic ferromanganese crusts. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 140, 468-487. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gca.2014.05.036>

- Schultz, H.D., 2006. Quantification of early diagenesis: dissolved constituents in pore water and signals in the solid phase. In: H.D.Schultz and M. Zabel (Editors), *Marine Geochemistry*. Springer, Berlin, pp. 73–124.
- 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. [http://dx.doi.org/10.1016/S1367-9120\(03\)00099-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1367-9120(03)00099-3)
- Shahidi, A.R., Nazari, H., 1996, Geological map of 1/100000 Harsien. Geological survey and mineral exploration of Iran.
- Stocklin, J. and Setudehnia, A., 1971. *Stratigraphic Lexicon of Iran*. Geological survey and mineral exploration of Iran, p. 376.
- Stumm, W., Morgan, J.J., 1996. *Aquatic Chemistry*. 3rd eds. J. Wiley and Sons, New York.
- Sugisaki, R., 1984. Relation between Chemical Composition and Sedimentation Rate of Chemical Constraints of depositional Environments of Ancient Sediments. *Journal of Geology* 92, 235-259. <https://www.jstor.org/stable/30069398>
- Sun, S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A. D., Norry M.J., (Eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society London Special Publication, London, p. 313.
- Toth, J. R., 1980. Deposition of submarine crusts rich in manganese and iron. *Geological Society of America Bulletin* 91, 44-54.
- Usui, A., Someya, M., 1997. Distribution composition of marine hydrogenetic and hydrothermal manganese deposits in the northwest Pacific. In: Nicholson, K., Hein, J. R., Bohn, B., Dasgupta, S., (Eds), *Manganese Mineralization: Geological Society London Special Publication* 119, 177-198.
- Valipour, A., Ahmadikhalaji, A., Rasa, I., Shahrokhi, S.V., Kiani M., 2011. Petrography and geochemistry of nickel found in ophiolite Prydvtythay Noorabad (North West Lorestan). 5th Geology specialized conference, Payamenoor University of Abhar.
- Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95, 185-187. <https://pdfs.semanticscholar.org/8dee/0b418904e6a87887210c80ac1226ee6d717a.pdf>
- Zarasvandi, A.R., Rezaei, M., Pourkaseb, H., Saki, A., 2013a. Investigation on primary and secondary processes in Nasirabad manganese deposit, south of Neyriz: using mineralogy and Pb isotope geochemistry. *Journal of Economic Geology* 5(1), 37-47. <http://dx.doi.org/10.22067/econg.v5i1.22888>
- Zarasvandi, A.R., Rezaei, M., Pourkaseb, H., Saki, A., 2013b. Geochemistry of nodulous and Mn-Layer in Nasirabad, N Neyriz 16th conference of geological survey of Iran. 16th conference of geological survey of Iran.
- Zarasvandi, A.R., Pourkaseb, H., Sepahvand, M., 2014. Geochemistry and Genesis of the Sorkhvand manganese deposit, Harsin, Kermanshah province. 33th national geoscience symposium, Geological survey and mineral exploration of Iran.
- Zareisahamieh, R., Tabakhshabani, A.A., Shahrokhi, S.V., Barak, N., 2014. Geochemistry and mineral chemistry of Shahabad gabbroic intrusion, NW Nourabad, Lorestan province. *Journal of Economic Geology* 5(2), 291-305. <http://dx.doi.org/10.22067/econg.v5i2.31986>