

# The source determination of sediments due to weathering of igneous, sedimentary and metamorphic rocks using the geochemical behavior of some basic and rare metal elements

Sayed Naeim Emami<sup>1\*</sup>

1-Associate Professor, Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Chaharmahal and Bakhtiari, Agricultural Research and Education Organization, Shahrekord, Iran

**Keywords:** Erosion deposits, Genesis, Geochemistry, Metal elements, Weathering

## 1-Introduction

Source determination of sediments and prioritization of erodible areas to optimally spend and optimize financial resources are indispensable necessities in watershed management. Previously, source determination of sediments has been carried out only using empirical methods or isotopes such as cesium-137, which has always led to controversy over these methods' feasibility. In research on the transport and accumulation of metallic elements in coastal deposits, some elements such as cobalt (Co), copper (Cu), nickel (Ni), strontium (Sr), lead (Pb), and Zinc (Zn) can be transported with specific fractions of particles and could use as sediment source tracers (Li et al., 2019). However, radionuclides, the geochemical concentration of elements, and their magnetic properties to trace suspended sediment sources in the rivers require high costs associated with many uncertainties (Shin et al., 2019). Using stable Pb isotope concentrations in sandy sediments is an appropriate and costly method (Xu et al., 2019). On the other hand, using elements such as arsenic (As), cadmium (Cd), and tin (Sn) due to their toxicity and their concentration sensitivity on human activities has been assessed as inappropriate in source determination (Zhuang, 2018). This study's primary purpose was to investigate the efficiency of base and trace metals in sediment source determination.

## 2- Material and methods

This research has been carried out in three stages, as follows:

**Field operations and sampling:** During fieldwork, more than 14 rock and 27 sediment samples were taken for microscopic examination and ICP chemical analyses from a depth of 20-30 cm (Yazdi, 2002).

**Laboratory studies:** Microscopic study of intact and weathered rocks was performed by Olympus type BH-2 polarizing binocular microscope. ICP was performed in ACME Laboratory of Canada and XRF in Binalood Spectroscopy Company in Mashhad by the standard method (Date and Jarvis, 1989). This method is used for Rare Earth Elements and Isotopes measurement (Jenner et al., 1990).

**Statistical processing:** The geochemical experiments were entered into EXCEL software in two separate files, including rock samples and stream sediment samples. Then, the data were processed by entering the data in SPSS statistical software.

## 3- Discussion and conclusion

**Geographical location:** The study area is located in the north of Shahrekord, the center of Chaharmahal and Bakhtiari province between 50° 40' 10" to 51° 06' 1" east longitude and 32° 25' 44" to 32° 39' 51" NW latitude (Fig. 1).

\*Corresponding author: Emami1348@yahoo.com

DOI: 10.22055/AAG.2020.31866.2065

Received 2019-12-07

Accepted 2020-12-13

**Geology:** Figure 2 presents the geological map prepared using field surveys, ETM<sup>+</sup> satellite image processing. Stratigraphy is based on Chadegan geological map classification (Ghasemi et al., 2006; Emami, 2008).

**Petrography:** The igneous rocks of this area are divided into two significant parts containing magmatic and pyroclastic suites. The first suite consists of volcanic rocks such as basalt, andesitic basalt andesite, dolerite, and microdiorite, and the second suite includes lapilli tuff and agglomerate. The metamorphic rocks include schist and gneiss with limited outcrops of eclogite and amphibolite. The ages of the volcanic rocks are determined from 145 to 169 million years, equal to the Calvin (Upper Dogger) to Titonian (Upper Malm; Emami, 2008). The metamorphic rocks have also been attributed to Precambrian (Ghasemi et al., 2006).

**Geochemical data processing:** The results of the analysis of 9 rock samples and 15 related sediment samples (letter S) are presented in Table.1. As the table shows, the parent rocks and sediments derived from each rock unit's weathering are inserted beneath each other to show the behavior of the elements and their abundance in the rock and sediment. The correlation of the parameters has been investigated and confirmed by the Spearman method in Table 2.

**Investigation of elements migration due to weathering:** After refining the samples' chemical analysis results, the migration process from the rock to the sediment will be studied, and sensitive elements will introduce by investigating and comparing the results of various rocks and their sediments analysis (Table 1). Accordingly, elements with an abundance of more than 200% in sediment are highly mobile and suitable. Conversely, elements with frequencies ranging from 50% to 100% have low mobility and are relatively suitable and with less than 50% abundance in sediment are immobile and unsuitable in source determination.

#### 4- Conclusion

Based on the analyses that are summarized in Table 3, the geochemical indices in determining the sediment origin of the different lithological units can be introduced as follows:

- The most critical tracer elements in various lithological environments include rubidium and nickel in the basaltic igneous, strontium-lead-niobium and zirconium in intermediate igneous rocks uranium-lead-barium-tungsten and niobium in fine grade sedimentary rocks such as shale. In addition, nickel occurs in medium to fine-grained clastic sedimentary rocks such as siltstone, tungsten and zirconium in medium-grade clastic sedimentary rocks such as sandstones and zirconium-rubidium-vanadium-barium-cobalt-niobium and nickel in metamorphic rocks such as gneiss.
- Zinc (Zn), nickel (Ni), lead (Pb), copper (Cu), and arsenic (As) are private weathering-sensitive and can be used in sediment tracing.

#### References

- Date, A.R., Jarvis, K.E., 1989. The application of ICP-MS in the earth sciences. In: Date, A.R., Gray A.L., (eds), The application of inductively coupled plasma mass spectrometry. Blackie, Glasgow, pp.43-70.
- Emami, N., 2008. Petrological investigations with emphasize on the alteration zones and evaluation of their environmental effects in the volcanic terrain of the north of Shahrekord, PhD Thesis, Isfahan University, Iran, 292p.
- Ghasemi, A., Haj Hosseini, A., Hosseini, M., Chadegan. 2006. Geology Map (scale 1: 100000), Geological Survey of Iran.
- Jenner, J., Longerich, H., Jackson, S., Freyer, B., 1990. ICP-MS a powerful tool for high precision trace- element analysis in earth sciences; evidence from analysis of selected USGS. Reference samples. Chemical Geology 83, 133-148.
- Shin, Y., Wook Kim, J., Jin, Kwan. 2019. Suspended sediment source tracing at the Juksan Weir in the Yeongsan River using composite fingerprints. Quaternary International 519, 245-254.
- Xia, D., Zhang, Ch., Qu, I., Song, Q., J.I., X., Mei, K., Dahlgren, R., Zhang, M., 2019. A comprehensive analysis and source apportionment of metals in riverine sediments of a rural-urban watershed. Journal of Hazardous Materials, pp. 121230.
- Xu, D., Wang, R., Wang, W., Ge, Q., hang, W., Chen, L., Chg, F., 2019. Tracing the source of Pb using stable Pb isotope ratios in sediments of eastern Beibu Gulf, South China Sea. Marine Pollution Bulletin 141, 127-136.

- Yazdi, M., 2002. Conventional Methods in Geochemical Exploration, Shahid Beheshti University Publications, 180p.
- Zhuang, Q., Li, G., Liu, Zh. 2018. Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. Catena 170, 386-396.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Emami, S.N., 2022. The source determination of sediments due to weathering of igneous, sedimentary and metamorphic rocks using the geochemical behavior of some basic and rare metal elements. Adv. Appl. Geol. 11(4), 710-722.

DOI: 10.22055/AAG.2020.31866.2065

url: [https://aag.scu.ac.ir/article\\_16253.html?lang=en](https://aag.scu.ac.ir/article_16253.html?lang=en)

# منشاء یابی رسوبات ناشی از هواز دگی سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی با استفاده از رفتار ژئوشیمیایی برخی از عناصر فلزی پایه و کمیاب

سید نعیم امامی\*

دانشیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد

ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۰

\*emami1348@yahoo.com

## چکیده

در جریان هواز دگی بخش قابل ملاحظه‌ای از عناصر به ویژه فلزات پایه و کمیاب مهاجرت می‌نمایند. تاکنون منشاء یابی رسوبات صرفاً با استفاده از روش‌های تجربی و یا ایزوتوپ‌هایی همچون سزیم ۱۳۷ صورت پذیرفته که همواره بر سر نتایج آنها بحث‌ها و ابهامات فراوانی مطرح بوده است. کشف قواعد ناظر بر مهاجرت و توزیع برخی عناصر فلزی در محیط‌های تحت پوشش سنگ‌های مختلف می‌تواند روشی مناسب و نسبتاً دقیق جهت تشخیص منشأ رسوبات را در اختیار قرار دهد. وجود بیرون زدگی‌هایی از سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی در شمال شهرکرد موقعیت مغتنمی را فراهم آورد تا این تحقیق بدیع به انجام رسد. در این پژوهش با نمونه‌برداری از سنگ‌ها و رسوبات حاصله در واحدهای آذرین، رسوبی، دگرگونی و تلفیقی و انجام آزمایشات XRD و ICP-MS و بررسی آماری غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر فلزی مهاجر، منشاء رسوبات تعیین گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، روبیدیوم و نیکل، استرانسیوم، سرب، نیوبیوم و زیرکونیوم در سنگ‌های آذرین، اورانیوم، سرب، باریوم، تنگستن، نیوبیوم، تنگستن و زیرکونیوم در سنگ‌های رسوبی و زیرکونیوم، روبیدیوم، وانادیوم، باریوم، کبالت، نیوبیوم و نیکل در سنگ‌های دگرگونی می‌توانند به عنوان ردیاب رسوبات مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: زایش، ژئوشیمی، عناصر فلزی، نهشته‌های فرسایشی، هواز دگی

## مقدمه

منشاء یابی رسوبات و اولویت‌بندی مناطق فرسایش پذیر در جهت هزینه کردن مناسب و بهینه منابع مالی از جمله ضرورت‌های انکارناپذیر در مدیریت حوزه‌های آبخیز است. از سوی دیگر فرسایش-پذیری برخی واحدهای سنگ‌شناسی و تأثیرات متنوع محصولات هواز دگی (خاک و رسوب) بر محیط زیست همچنان در کانون توجه محققین زمین‌شناسی زیست‌محیطی، رسوب‌شناسان و خاکشناسان قرار دارد. پیش از این، منشاء یابی رسوبات صرفاً با استفاده از روش‌های تجربی و یا ایزوتوپ‌هایی همچون سزیم ۱۳۷ صورت پذیرفته که همواره بر سر نتایج و امکان‌پذیری این شیوه‌ها بحث‌ها و ابهاماتی مطرح بوده است. هدف اصلی از این پژوهش، بررسی کارایی فلزات پایه و کمیاب در منشاء یابی رسوبات می‌باشد. فرض بر آن است که استفاده از شاخص‌های غنی‌شدگی و تهی‌شدگی از برخی عناصر اصلی به ویژه فلزات پایه و کمیاب در محیط‌های سنگی مختلف می‌تواند روشی سهل الوصول جهت تشخیص منشأ رسوبات را در اختیار قرار دهد.

## پیشینه تحقیق

تحلیل آماری عناصر نادر خاکی به ویژه توریم و اسکاندیوم منشاء کلونیدهای رسی و لای در پخش سیلاب کبودر آهنگ در استان همدان نشان داد که منشاء رسوب‌های ریزدانه از توده‌های خاکی موجود بر روی سنگ‌های شیستی، فیلیتی منطقه می‌باشند (Amiri, 2001). در راستای تعیین سهم منابع رسوب حوضه‌ها در تولید رسوب حوضه مرگن پلدشت ماکو، عناصر فلزی شامل Zn, Y, Be, La, Mn, Cu, Co, Sn, Ge, Cd, Bi, Ti, Ni, V جهت ردیابی رسوبات مناسب تشخیص داده شد (Hakimkhani et al., 2007). او از روش دو مرحله‌ای تعیین ترکیب بهینه ردیاب‌ها و مدل‌های چند متغیره استفاده نمود. بررسی رفتار عناصر نادر خاکی در جریان فرآیندهای هواز دگی و دگرسانی نشان می‌دهد که غلظت‌های یک عنصر کمیاب در رسوبات، متأثر از مشخصات منشاء، هواز دگی، دیازنز، جورشدگی رسوبات و ژئوشیمی خود عنصر است (Rollinson, 1993). مهم‌ترین عاملی که مقدار REE رسوبات آواری را کنترل می‌کند خاستگاه آنهاست، چرا که REE نامحلول بوده و در غلظت‌های

## عملیات صحرایی و نمونه برداری

جهت انجام عملیات صحرایی و نمونه برداری از سنگ و رسوب در واحدهای آذرین، رسوبی، دگرگونی و تلفیقی، پس از جمع آوری نقشه-های موجود، استریوسکوپی عکس‌های هوایی و مطالعه تصاویر ماهواره-ای، بازدید مقدماتی به منظور شناسایی سازندها و رخنمون‌های سنگی از سطح منطقه صورت پذیرفت. سپس ۲۰ مقطع عمود بر امتداد رخنمون‌های سنگی و ۴ مقطع نیز به موازات ساختارهای اولیه سنگی انتخاب گردیدند. طول هر یک از مقاطع پیمایش شده بین ۳ تا ۱۰ کیلومتر بوده است. در جریان عملیات صحرایی، بیش از ۱۴ نمونه سنگ و ۲۷ نمونه رسوب جهت بررسی‌های میکروسکوپی و نیز آزمایشات شیمیایی ICP برداشت گردید. نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای به روش سیستماتیک صورت گرفت بدین ترتیب که آبراهه در مقاطع موازی به فواصل مساوی مورد پیمایش عرضی واقع شده و نمونه‌ها از مرکز آبراهه‌ها از عمق ۲۰ تا ۳۰ سانتی متری برداشت شد. مناسب‌ترین اندازه نمونه از رسوبات آبراهه‌ای که مخلوطی از تخته-سنگ‌ها، قلوه سنگ‌ها، ماسه‌ها، سیلت‌ها و رس‌هاست، فراکسیون ذرات بامش ۸۰ تا ۲۰۰ می‌باشد (Yazdi, 2002).

## مرحله آزمایشگاهی

پس از تهیه مقاطع نازک سنگ‌ها، مطالعه میکروسکوپی سنگ-های سالم و هوازده به وسیله میکروسکوپ دوچشمی پلاریزان نوع Olympus مدل BH-2 انجام گردیده و تصاویر لازم نیز از مقاطع شاخص تهیه شد. برای انجام آزمایشات شیمیایی، نمونه‌های حدود ۱۰۰ گرمی از سنگ‌ها و رسوبات منتخب تهیه، شماره‌گذاری و بسته-بندی گردید. بر روی نمونه‌های سنگ و رسوب آزمایشات ICP-MS، ICP-ES، XRF صورت پذیرفت. آزمایش ICP در آزمایشگاه ACME کانادا و آزمایش XRF در آزمایشگاه شرکت طیف کانساران بینالود مشهد به انجام رسید. ICP-MS روش نسبتاً نوینی در تعیین ترکیب شیمیایی فراتر از ۶۰ عنصر سنگ می‌باشد که از توسعه طیف‌سنجی گسیل پلاسمای جفت‌ده القایی بهره می‌برد (Date and Jarvis, 1989). از این روش به جهت دقت و صحت قابل ملاحظه به طور ویژه در تجزیه عناصر کمیاب خاکی (Rare Earth Elements) و ایزوتوپ‌ها استفاده می‌نمایند (Jenner et al., 1990).

## پردازش‌های آماری

در این بخش از مطالعات، ابتدا نتایج آزمایشات ژئوشیمیایی در دو فایل جداگانه شامل نمونه‌های سنگی و نمونه رسوبات آبراهه‌ای وارد محیط نرم افزار EXCEL گردید. سپس با ورود داده‌های تنظیم شده به نرم افزار آماری SPSS داده پردازشی‌های لازم انجام گرفت.

بسیار پایین در آب دریا و رودخانه ظاهر می‌شود. بنابراین REE موجود در رسوبات عمدتاً به صورت مواد مخصوص حمل شده و مشخصات شیمیایی خاستگاه را نشان می‌دهند (McLennan, 1991). محققین بسیاری رفتار ژئوشیمیایی عناصر نادر و نادر خاکی را مورد تاکید قرار دادند (Schneider and Ozgur, 1988; Fulignati et al., 1999; Terakoda and Fujitani, 1999; Cuney et al., 1993; Alt et al., 2003) این محققین روش‌های ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی متنوعی را برای تشخیص منشأ رسوبات مورد بررسی و آزمون قرار دادند که اغلب آن‌ها نتایج قابل استنادی در برنداشتند. در این میان، روش‌های ایزوتوپ رادیواکتیو و پایدار و REE می‌توانند موثرتر از بقیه باشند (Yang shu, 2003). در تحقیقی پیرامون نحوه انتقال و تجمع عناصر فلزی در رسوبات ساحلی مشخص شده عناصری همچون کبالت (Co)، مس (Cu)، نیکل (Ni)، استرانسیوم (Sr)، سرب (Pb) و روی (Zn) می‌توانند انتقال یافته و به عنوان ردیاب منشأ رسوب مورد استفاده قرار گیرند (Li Tao et al., 2019). استفاده از رادیو نوکلئیدها و تمرکز ژئوشیمیایی عناصر همراه با خواص مغناطیسی آنها جهت ردیابی منشأ رسوبات معلق رودخانه‌ای مستلزم هزینه‌های بالا همراه با عدم قطعیت‌های فراوانی می‌باشد (Shin Lim et al., 2019). استفاده از غلظت ایزوتوپ پایدار سرب در رسوبات ماسه‌ای روشی مناسب و پرهزینه می‌باشد (Xu D et al., 2019) استفاده از عناصری مثل آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd) و قلع (Sn) با توجه به سمی بودن از سوی و حساسیت غلظت آنها به فعالیت‌های انسانی در منشأ‌یابی نامناسب ارزیابی شده‌اند (Zhuang, 2018). همان‌طور که دیده می‌شود تقریباً تمامی تحقیقات انجام شده در مورد منشأ‌یابی رسوبات بر روی رسوبات خروجی از حوزه‌ها متمرکز بوده و توجهی به تنوع سنگ-شناسی حوزه‌ها نشده و این مهم از نوآوری‌هایی است که در تحقیق جاری دنبال شده است. با این مقدمه، هدف اصلی پژوهش جاری ارائه شیوه‌ای کاربردی، سهل الوصول و کم هزینه جهت تعیین منشأ رسوبات آبراهه‌ای و پائین دست حوزه‌های آبخیز با تیپ‌های سنگ-شناسی آذرین، رسوبی، دگرگونی و تلفیقی با استفاده از میزان غنی-شدگی و تهی‌شدگی عناصر مهاجر فلزی شامل فلزات پایه و کمیاب به جای استفاده از مدل‌های تجربی و ایزوتوپی پرهزینه مرسوم می‌باشد.

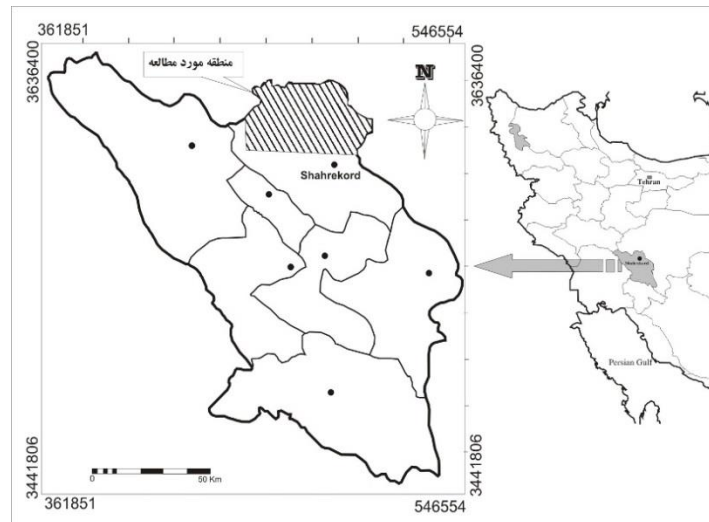
## مواد و روش‌ها

در این تحقیق ابتدا منابع علمی موجود از جمله پژوهش‌های انجام شده قبلی در سطح منطقه جمع‌آوری و بررسی شد. سپس برنامه‌ریزی لازم جهت تهیه نقشه زمین‌شناسی و عملیات صحرایی به شرح زیر به انجام رسید:

## موقعیت جغرافیایی

منطقه پژوهش به صورت کمربندی با راستای شمال باختری - جنوب خاوری، در شمال شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری استقرار یافته است. این محدوده بین ۱۰° و ۴۰' و ۵۰° و ۱° و ۰۶' و ۵۱°

طول شرقی و ۴۴° و ۲۵' و ۳۲° تا ۵۱° و ۳۹' و ۳۲° عرض شمالی واقع بوده و بخش‌هایی از شمال استان چهارمحال و بختیاری و باختر استان اصفهان را در بر می‌گیرد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

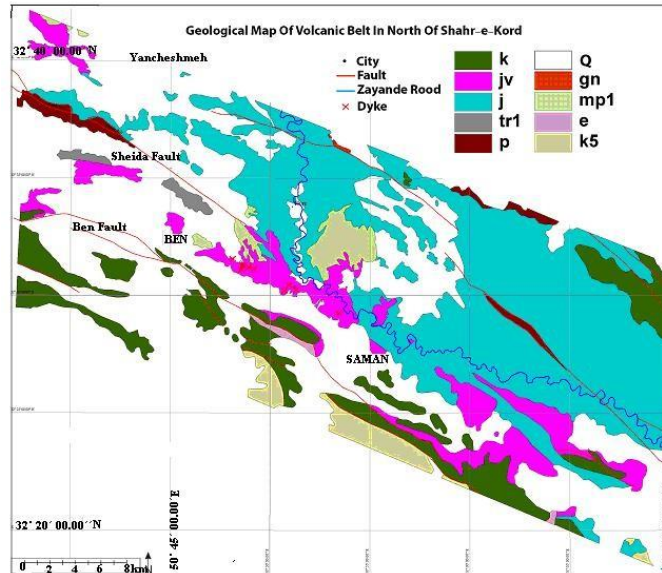
Fig. 1. Geographical location of the study area.

## زمین‌شناسی

در شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده با استفاده از بازدیدهای میدانی، پردازش تصاویر ماهواره‌ای  $ETM^+$  و بر اساس طبقه‌بندی سنگ چینه‌ای نقشه زمین‌شناسی چادگان ارائه شده است. در این نقشه سازندهای متعلق به پالئوزوئیک (P)، مزوزوئیک (tr1, j, jv, k, k5، سنوزوئیک (e, mp1, gn) و نهشته‌های کواترنری (Q) رخمنون دارند که شرح سنگ‌چینه‌شناسی آن‌ها در ذیل نقشه ارائه شده است. سنگ‌های دگرگونی شامل میکاشیست، شیست، فیلیت، گنایس، متابازیت، کوارتزیت و مرمر به پرکامبرین نسبت داده شده اند. واحد پرمین به شکل نوازی باریک و بلند تنها در نیمه جنوبی نقشه و به ویژه در کوه شیدا رخمنون دارد. در محدوده‌ی مورد مطالعه، تریاس دارای دو واحد قابل تفکیک کنگلومرای و واحد تخریبی کربناته می‌باشد. در ناحیه شهرکرد، سنگ‌های ژوراسیک در نوار باریکی، با روند شمال باختری - جنوب خاوری بروزند دارند که از سمت شمال به سنگ‌های دگرگونه و از سمت جنوب به گسله رانده سامان - فریدون شهر محدودند (Zahedi, 1993). در این منطقه سنگ‌های ژوراسیک تحتانی از نوع سنگ‌های آتشفشانی بوده که به اسلیت‌های برشی و سنگ آهک‌های سیاه رادیولردار به سن ژوراسیک بالا - کرتاسه پائین می‌رسند (Emami, 2008; Soder, 1954)

and). چینه‌های متعلق به کرتاسه با رخساره سنگ شناسی کربناته و تخریبی در شمال شهرکرد و پیرامون کمربند سنگ‌های آتشفشانی رخمنون یافته‌اند. در محدوده مورد بررسی رخمنون‌هایی از سازندهای دوران سنوزوئیک مشاهده می‌شود به طوری که سازندهای پالئوسن رخمنون نداشته و واحد کنگلومرای ائوسن به طور دگرشیب بر روی سنگ آهک‌های کرتاسه زیرین قرار می‌گیرد. واحدهای میوسن - پلیوسن شامل تناوبی از مارن‌های سبز متمایل به خاکستری و سنگ آهک‌های ماسه‌ای خاکستری تا کرم ژپس داراست که با شییبی در حدود ۱۰-۵ درجه و با دگرشییبی زاویه‌دار بر روی واحدهای قدیمی‌تر و زیر رسوبات سخت نشده‌ی کواترنری قرار می‌گیرد. ستبرای این واحد بین ۱۰ تا ۲۰ متر متغیر است. نهشته‌های کواترنری شامل واحدهای سخت نشده عهدحاضر بوده که از آن جمله می‌توان به بسترهای فعال رودخانه‌ای، پهنه‌های رسی - سیلنتی، واریزه‌های دامنه‌ای، تراس‌های رودخانه‌ای جوان و تراس‌های رودخانه‌ای قدیمی اشاره کرد. در شکل ۳ موقعیت مقاطع پیمایش شده و نقاط نمونه‌برداری بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد نشان داده شده است.

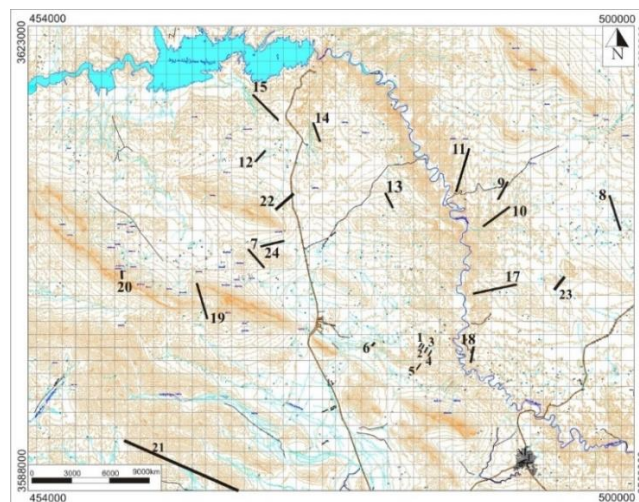




شکل ۲- نقشه زمین شناسی شمال شهرکرد.

Fig. 2. Geological map of north of Shahr-e-Kord.

P = آهک‌های متوسط لایه پرمین، tr1 = آهک‌های تفکیک نشده تریاس، j = ماسه‌سنگ و سیلت سنگ‌های ژوراسیک تحتانی تا میانی، jv = واحدهای ولکانیک مورد پژوهش به سن ژوراسیک میانی تا فوقانی، k = آهک‌های خاکستری رنگ ضخیم لایه کرتاسه، k5 = آهک‌های رسی کرتاسه، e = کنگلومرای معادل کشکان به سن پالئوسن - ائوسن، mp1 = تناوب آهک و مارن ژئوسپیدار میوسن، gn = گنایس گرانیتی ژوراسیک میانی و Q = رسوبات کواترنر.



شکل ۳- موقعیت مقاطع پیمایش شده بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ شهرکرد

Fig. 3. Position of surveyed sections on 1: 250000 Shahr-e-Kord topographic map.

## نتایج و بحث

### سنگ شناسی

دو بخش عمده ماگمایی و آذر آواری تفکیک شده که گروه اول شامل سنگ‌های آتشفشانی خاصه بازالت، بازالت آندزیتی و آندزیت و سنگ‌های نیمه عمیق به ویژه دولریت و میکرودیوریت بوده و سنگ‌های آذرآواری نیز غالباً "توف، توفیت، لاپیلی توف و آگلومرا می- باشند. در مناطق فوقانی این نوار رخنمون‌هایی از سنگ‌های دگرگونی شامل انواع شیست ها و گنایس همراه بارخنمون‌های محدودی از اکلوژیت و آمفیبولیت رخنمون دارند.

مجموعه سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی شمال شهرکرد به صورت نواری با راستای شمال باختری - جنوب خاوری، در شمال شهرکرد، مرکز استان چهارمحال و بختیاری و در بخش مرکزی زون سندنج - سیرجان استقرار یافته است. سنگ‌های آذرین این ناحیه به

در جدول ۱ از بین مجموعه نمونه سنگ‌ها و رسوبات آزمایش شده، ۹ نمونه سنگ و ۱۵ نمونه رسوب مربوطه ارائه شده است. همان گونه که مشاهده می‌شود، سنگ‌های مادری و رسوبات حاصل از هوازدگی هر واحد سنگی در زیر یکدیگر درج شده‌اند تا بتوان در خصوص رفتار عناصر و فراوانی آن‌ها در سنگ و رسوب قضاوت نمود. عملیات پردازش آماری داده‌ها پس از مرتب‌سازی و ورود به نرم افزار EXCEL در چهار مرحله به شرح زیر با استفاده از نرم افزار SPSS و SAS به انجام رسید.

سن سنگ‌های ولکانیک منطقه به روش  $^{40}Ar/^{39}Ar$  از ۱۴۵ تا ۱۶۹ میلیون سال، حدفاصل اشکوب‌های کالوین (دوگر فوقانی) تا تیتونین (مالم فوقانی) بوده و سنگ‌های نیمه عمیق جزء مجموعه‌های سنگی قدیمی‌تر از انواع سنگ‌های حدواسط ارزیابی می‌شوند (Emami, 2008). همچنین سنگ‌های دگرگونی منطقه به پرکامبرین نسبت داده شده‌اند (Ghasemi et al., 2006).

### پردازش داده‌های ژئوشیمیایی

جدول ۱- نتایج آنالیزهای منتخب سنگ و رسوب درجا (S = رسوب و R = سنگ).

Table 1. Results of selected rock and in situ sediment analysis (S = sediment and R = rock).

NO. Sample	Al ppm	Fe ppm	Ba ppm	Co ppm	Cu ppm	Nb ppm	Ni ppm	U ppm	Pb ppm	Rb ppm	Sr ppm	V ppm	W ppm	Zr ppm	Zn ppm
Basalt S6-R	57037.5	41192.31	266	163	310	17	135	8	111	42	558	447	16	158	244
S6-3	51348.21	42646.15	293	124	256	19	315	1	99	184	866	375	57	341	253
Limstone S1-R	53037.5	40192.31	6	0.3	0.3	0.1	1.7	1.9	1.3	1	135.9	20	<0.5	1.4	4
S1-1	46527	36615	289	17.4	28	12	61	2.1	12	73	212.7	110	0.9	141.2	59
S1-2	50673	37154	255	14.8	25	11	60	2	13	60	244.7	105	0.9	129.3	50
Shale S2-R1	55242.86	14250.54	44	42.3	67.3	5	41	0.3	45.7	11.4	388	260	<0.5	113	95
S2-1	48793	30962	355	21.2	33	17	59	2.8	17	101	190.7	141	1.7	199.6	75
Andesite S5-R1	73248.21	44200	376	35.7	51.4	3.8	89.7	1.3	2.8	65.8	295.7	297	<0.5	56.5	62
Andesite S5-R2	34680.36	59510	170	34.6	20.6	4	94.6	1.3	1.4	23.2	313.9	267	<0.5	57.1	54
Siltstone S5-R4	54346.64	11510.23	273	20.3	78.6	7.1	28.4	1.1	8.4	44.8	466.2	192	0.8	92.4	69
S5-1	55446	67308	304	21.2	37	15	66	2.3	14	79	215.2	139	1.2	174.6	62
S5-2	57471	43615	298	35.5	76	7.8	97	1.7	16	54	283.3	216	0.7	111	71
S5-3	62196	45500	280	34.9	56	7.4	93	1.7	12	54	312.2	236	0.9	97.9	74
S5-4	61955	44692	267	28.1	46	7.3	81	1.7	11	53	378.6	200	0.7	93.4	60
Gneiss S10-R6	58242.86	14161.54	103	34	145	10	76	20	108	32	270	74	56	401	33
S10-2	50673.21	40600	474	138	262	31	242	15	143	209	706	420	150	899	268
S10-5	61135.71	42646.15	481	140	109	32	184	N	100	185	553	353	28	1214	266
Schist S15-R4	70248.21	61600	398	204	79	15	248	N	95	141	157	598	N	497	238
S15-2	56073.21	42969.23	351	170	290	46	364	26	108	233	527	405	N	535	320
S15-5	41512.5	38769.23	391	131	172	25	223	23	143	179	587	424	N	652	207
S15-6	44019.64	38553.85	363	117	236	28	268	N	94	186	532	349	15	581	280
Sandstone S17-R1	39680.36	29992.31	440	108	325	18	128	4	86	228	352	257	N	295	145
S17-2	45658.93	66607.69	517	228	358	47	207	10	102	136	612	649	63	876	372
S17-4	51155.36	36938.46	386	124	187	48	277	10	107	226	404	347	80	676	285

### پالایش داده‌های خام

اولین مرحله پردازش داده‌های ژئوشیمیایی خام، ترسیم جهت تشخیص و حذف داده‌های خارج از رده (Outliers) می‌باشد. هنگام بررسی مقادیر داده‌های خام به نمونه‌هایی برخورد می‌شود که در آستانه‌های بالا و پایین جامعه داده‌ها قرار گرفته و از جامعه اصلی جدا افتاده‌اند. در نمودار جعبه‌ای (Box plot) این نمونه‌ها به نحو بارزی خودشان را از بقیه جدا می‌کنند.

### نرمال‌سازی داده‌های خام

دومین مرحله، آزمون نرمال بودن داده‌ها است. برای این منظور از آزمون K-S استفاده می‌گردد. انجام برخی روش‌های آماری منوط به نرمال بودن تابع توزیع متغیرهای مورد مطالعه است. به همین علت قبل از استفاده از این روش‌ها، داده‌های خام باید نرمال شوند. برخی داده‌ها نرمال نبودند که با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند.



**آمار توصیفی**

سومین مرحله، آمار توصیفی یا به عبارتی بررسی پارامترهای آماری از قبیل میانگین، انحراف معیار، چولگی، کشیدگی، واریانس آماری مربوط به تک تک عناصر جهت شناخت ماهیت توزیع هر یک از آن ها می باشد. در این قسمت برای هر عنصر به عنوان یک متغیر آماری در یک جدول، تعداد نمونه ها، حداقل و حداکثر عیار، میانگین، میانه، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی تعیین گردید.

**تعیین ضرائب همبستگی**

برای تعیین این که آیا ارتباط معنی داری میان تغییرات متغیرهای آماری وجود دارد، ضرائب همبستگی میان آن ها محاسبه می شود. این عمل به منظور کشف همبستگی بین متغیرها و تخمین مقدار یک یا چند متغیر دیگر صورت می گیرد. دو نوع ضریب همبستگی پیرسون و اسپیرمن به صورت ماتریس ضرائب همبستگی وجود دارد. به دلیل این که آزمون همبستگی رتبه ای اسپیرمن مستقل از تابع توزیع داده ها می باشد، برای محاسبه ضریب همبستگی از این ضریب استفاده شد. در جدول ۲ همبستگی پارامترها به روش اسپیرمن مورد بررسی و تایید قرار گرفته است.

جدول ۲- ضرائب همبستگی اسپیرمن.

Table 2. Spearman correlation coefficients.

		Correlations Coefficient													
	Ba	Co	Cu	Nb	Ni	U	Pb	Rb	Sr	V	W	Zr	Zn	Al	Fe
Ba	1.000														
Co	.010	1.000													
Cu	-.066	.193	1.000												
Nb	.238	.238	.100	1.000											
Ni	.158	.506**	.247	-.114	1.000										
U	.229	-.319*	-.087	-.399*	.056	1.000									
Pb	.219	.242	.581**	.372*	.299*	-.170	1.000								
Rb	.612**	.095	.055	-.165	.435**	.413**	.060	1.000							
Sr	.353*	.011	.114	.182	.200	-.154	.072	.019	1.000						
V	.129	.435**	.165	.032	.369*	-.117	-.086	.034	.528**	1.000					
W	.097	.214	.422**	-.216	.229	.350*	.437**	.319*	-.200	-.033	1.000				
Zr	.158	.214	.021	.853**	-.081	-.292	.261	-.024	.229	.155	-.258	1.000			
Zn	.180	.445**	.173	.500**	.218	-.347*	.684**	-.001	-.084	.046	.342*	.478**	1.000		
Al	.383**	-.200	.136	-.416**	-.035	.221	-.347*	.449**	.209	.256	-.013	-.257	-.393*	1.000	
Fe	.271	.287	-.046	.204	-.121	-.190	-.085	-.096	-.033	.169	.106	.097	.319*	.135	1.000

در شناسایی عناصر مهاجرتی است که می توانند در منشاء یابی مورد استفاده و کاربرد قرار گیرند. بر این اساس عناصری که فراوانی آنها در رسوب بیش از ۲۰۰ درصد باشد به عنوان عناصر بسیار متحرک و مناسب جهت منشاء یابی شناخته می شوند و عناصری با فراوانی بین ۵۰٪ تا ۱۰۰٪ به عنوان کم تحرک و نسبتاً مناسب و عناصر با فراوانی کمتر از ۵۰٪ در رسوب به عنوان عناصر غیر متحرک و نامناسب جهت منشاء یابی در نظر گرفته می شوند (Yazdi, 2002). در جدول ۳ میزان مهاجرت های شاخص عناصر مورد نظر در سه محیط سنگ شناسی متفاوت آذرین، رسوبی و دگرگونی ارائه شده است.

**بررسی مهاجرت عناصر در اثر هوازدگی**

پس از پالایش اعداد خام حاصل از تجزیه شیمیایی نمونه ها، با بررسی و انطباق نتایج آزمایش سنگ های متنوع و رسوبات حاصل از هوازدگی آن ها به تجزیه و تحلیل کیفی و کمی چگونگی مهاجرت عناصر از محیط سنگی به محیط رسوب در آبراهه پرداخته و آنگاه عناصری که مقادیر آنها در سنگ و رسوب ارقام معناداری را نشان می دهند معرفی خواهند شد.

مقایسه فراوانی هر عنصر در سنگ و رسوب مربوطه (رسوب درجا) (جدول ۱) نشان دهنده میزان تمایل عنصر به جدایش از توده سنگ و ورود به محیط سست رسوبی می باشد که در واقع اولین گام

جدول ۳- رفتار ژئوشیمیایی عناصر در محیط سنگ و رسوب.

Table 3. Geochemical behavior of elements in rock and sediment environment.

Parent rock		Moderate mobility elements	High Mobility Elements	Considerations
Main rock type	Rock name			
Igneous rocks	Basalt	-	Rubidium(Rb) Nickel (Ni) Tungsten(W) Zirconium(Zr)	Rubidium (Rb) and nickel (Ni) with a saturation of 400 and 300% are the migratory elements.
	Andesite	Rubidium(Rb)	Strontium (Sr) Copper (Cu) Niobium(Nb) Zirconium(Zr) Tungsten(W) Vanadium (V)	Strontium (Sr), Pb (Pb), niobium (Nb), and zirconium (Zr) saturated with 300% to 700% are the migrating elements.
Sedimentary rocks	Shale	Zirconium(Zr)	Uranium(U) Rubidium(Rb) Barium(Ba) Tungsten(W) Niobium(Nb)	Uranium (U), rubidium (Rb), barium (Ba), tungsten (W), and niobium (Nb) with 900 to 300% saturation are the migrating elements.
	Siltstone	Uranium(U) Lead(Pb) Cobalt(Co) Niobium(Nb) Zirconium(Zr)	Nickel (Ni) Rubidium(Rb)	Nickel (Ni) with a saturation of about 300% is a migrating element.
	Sandstone	Zinc (Zn) Vanadium (V) Nickel (Ni) Lead(Pb) Cobalt (Co) Beryllium (Be) Strontium (Sr) Copper (Cu)	Tungsten(W) Zirconium(Zr) Niobium(Nb) Uranium(U)	Tungsten (W) and zirconium (Zr) are migratory elements with a saturation of 500 to 250 percent.
Metamorphic rocks	Schist and micaschist	Strontium (Sr) Zirconium(Zr)	Niobium(Nb)	-
	Gneiss	Tungsten(W) Copper (Cu) Lead(Pb)	Zinc (Zn) Rubidium(Rb) Vanadium (V) Barium(Ba) Cobalt (Co) Niobium(Nb) Nickel (Ni) Zirconium(Zr) Strontium (Sr)	Zinc (Zn), rubidium (Rb), vanadium (V), barium (Ba), cobalt (Co), niobium (Nb) and nickel (Ni) with 800 to 300% saturation are migratory elements.

عناصر در مقادیر ارائه شده در ستون ملاحظات، نسبت به سنگ‌های مادری بالادست به عنوان نکته‌ای کلیدی در منشاء یابی کیفی و نیمه کمی رسوبات در حوضه‌هایی با انواع سنگ‌شناسی در نظر گرفته می-

نتایج جدول ۳ و به ویژه ستون ملاحظات حاصل بررسی تمرکز عناصر در رسوبات برجا و ماندگاری و ثبات این فراوانی تا مسافتی حدود ۱ کیلومتر در آبراهه می‌باشد که به این ترتیب غنی‌شدگی این

فراوانی ۹۳۳ تا ۱۷۵ درصد در رسوب نسبت به سنگ مادری دارای بالاترین میزان تحرک می‌باشند. در این بین بجز زیرکونیوم با فراوانی ۱۷۵ درصد سایر عناصر فراوانی بیش از ۳۰۰ درصد داشته و واجد تحرک بسیار بالا می‌باشند.

- در رسوبات ناشی از هوازدگی سیلت سنگ‌های سیاه رنگ که سنگ‌های تخریبی ریزدانه محسوب می‌شوند، به ترتیب عناصر نیکل (Ni)، روبیدیوم (Rb)، اورانیوم (U)، سرب (Pb)، کبالت (Co)، نیوبیوم (Nb)، زیرکونیوم (Zr) با فراوانی حدود ۳۰۰ تا ۱۳۰ درصد در رسوب نسبت به سنگ مادری دارای بالاترین میزان تحرک می‌باشند. در این میان نیکل و روبیدیوم با فراوانی بیش از ۲۰۰ درصد دارای بیشترین تحرک و سایر عناصر دارای تحرک متوسط می‌باشند.

- در رسوبات حاصل از هوازدگی ماسه‌سنگ که یک سنگ رسوبی متوسط دانه می‌باشد، به ترتیب عناصر تنگستن (W)، زیرکونیوم (Zr)، نیوبیوم (Nb)، اورانیوم (U)، روی (Zn)، وانادیوم (V)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، کبالت (Co)، بریلیوم (Be)، استرانسیوم (Sr)، مس (Cu) با فراوانی حدود ۸۰۰ تا ۱۱۰ درصد در رسوب نسبت به سنگ مادری دارای بالاترین میزان تحرک می‌باشند. در این بین چهار عنصر اول با فراوانی بیش از ۲۰۰ درصد در رسوب، عناصری با تحرک بالا می‌باشند و بقیه عناصر با فراوانی کمتر از ۲۰۰ درصد تحرک متوسطی دارند.

نتایج فوق منطبق بر یافته‌های پیشین می‌باشد که مجموعه‌ای از فلزات پایه و نادر را به عنوان ردیاب پیشنهاد نموده بدون این که بصورت ویژه و تخصصی به گروه‌های مستقل سنگ‌شناختی توجه نموده باشد (Hakimkhani et al., 2007). در بررسی منشأ رسوبات رودخانه‌ای در حوزه‌های شهری و روستایی دو عنصر روی (Zn) و کادمیوم (Cd) عناصر ردیاب دقیقی معرفی شده‌اند بدون این که به محیط سنگ‌شناسی منشأ توجه شده باشد (Fang et al., 2019) با این حال عنصر روی به عنوان ردیاب اصلی معرفی شده که در انطباق با نتایج تحقیق جاری است که روی را در تمام محیط‌های سنگ‌شناسی به عنوان ردیاب معرفی می‌نماید. همچنین عناصر کادمیوم (Cd)، سرب (Pb)، روی (Zn)، مس (Cu) و منگنز (Mn) به عنوان ردیاب رسوبات بستر در محیط‌های رودخانه‌ای معرفی شده‌اند (Xia et al., 2019) که تقریباً منطبق با رسوبات نواحی دگرگونی در این تحقیق می‌باشد. در بررسی منابع آلودگی فلزات به ویژه فلزات سنگین در دریاچه لیهو در چین نتایج جالب توجهی در خصوص نحوه و میزان مهاجرت عناصر فلزی از سنگ مادر به حوزه رسوبگذاری به دست آمد (Wang et al., 2019). عناصر  $Pb > Zn > Hg > As > Cu > Cd > Ni > Cr$

شود. در آبراهه‌هایی که سنگ‌شناسی یکنواخت بوده و تنها یک نوع سنگ خاص در بالادست و مسیر آبراهه وجود دارد، هریک از ردیف-های جدول فوق، مربوط به یک سنگ‌شناسی خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت وجود چند نوع واحد سنگی از ردیف‌های مربوطه در جدول استفاده شده و با مقایسه دو یا چند ردیف به فراخور تعداد و ترکیب واحدهای سنگ‌شناسی، با حذف عناصر مشترک بین دو محیط، عناصر ویژه موجود در رسوب پایین دست به واحد سنگ-شناسی مربوطه نسبت داده می‌شود. براساس تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته که خلاصه آن در جدول ۳ ارائه گردید، شاخص‌های ژئوشیمیایی در تعیین منشأ رسوبات واحدهای سنگ‌شناسی مختلف را می‌توان به شرح زیر معرفی نمود.

- در مورد رسوباتی با سنگ منشأ بازالت که یک سنگ آذرین بازیک است، به ترتیب عناصر روبیدیوم (Rb)، نیکل (Ni)، تنگستن (W) و زیرکونیوم (Zr) با مقادیر ۴۰۰ تا ۲۰۰ درصد بالاترین تحرک را نشان می‌دهند.

- در رسوباتی با سنگ منشأ آندزیت که یک سنگ آذرین حدواسط به شمار می‌آید، به ترتیب عناصر استرانسیوم (Sr)، سرب (Pb)، نیوبیوم (Nb)، زیرکونیوم (Zr)، تنگستن (W)، وانادیوم (V)، روبیدیوم (Rb) با فراوانی ۷۰۰ تا ۱۲۰ درصد دارای بالاترین میزان تحرک می‌باشند. در این میان پنج عنصر اول با فراوانی بیش از ۲۰۰ درصد در رسوب مناسب تر از بقیه می‌باشند.

- در رسوباتی با سنگ منشأ شیست و میکاشیست که یک سنگ دگرگونی با درجه متوسط می‌باشد، به ترتیب عناصر نیوبیوم (Nb)، استرانسیوم (Sr) و زیرکونیوم (Zr) با فراوانی بیش از ۲۰۰ تا ۱۱۵ درصد در رسوب نسبت به سنگ منشأ دارای بیشترین میزان تحرک بوده که در مقایسه با تحرک در سنگ‌های آذرین از درجه ضعیف‌تری برخوردار است.

- در رسوبات حاصل از هوازدگی گنایس که یک سنگ دگرگونی با درجه شدید می‌باشد، اغلب عناصر متحرک شده و وارد محیط رسوب می‌شوند. بر این اساس به ترتیب عناصر روی (Zn)، روبیدیوم (Rb)، وانادیوم (V)، باریوم (Ba)، کبالت (Co)، نیوبیوم (Nb)، نیکل (Ni)، زیرکونیوم (Zr)، استرانسیوم (Sr)، تنگستن (W)، مس (Cu) و سرب (Pb) با فراوانی ۸۰۰ تا ۱۱۲ درصد دارای بالاترین میزان تحرک می‌باشند. در این میان سه عنصر آخر شامل تنگستن، مس و سرب با فراوانی کمتر از ۲۰۰ درصد تحرک بسیار کمتری از سایر عناصر نشان می‌دهند.

- در رسوبات حاصل از هوازدگی شیل که یک سنگ رسوبی تخریبی ریزدانه می‌باشد، به ترتیب عناصر اورانیوم (U)، روبیدیوم (Rb)، باریوم (Ba)، تنگستن (W)، نیوبیوم (Nb) و زیرکونیوم (Zr) با

شناسایی نشد و منشاء یابی این گروه از سنگ‌ها با استفاده از ویژگی‌های کانی‌شناسی رسوبات میسر می‌باشد.

- روی (Zn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb)، مس (Cu) و آرسنیک (As) به صورت اختصاصی حساس به هوازگی هستند و می‌توانند در ردیابی رسوبات مورد استفاده قرار گیرند.

در پژوهش جاری پیرامون رفتار ژئوشیمیایی عناصر فلزی پایه و کمیاب، عناصری معرفی شده‌اند که در آبراهه‌های با تنوع سنگ‌شناسی اعم از انواع سنگ آذرین، رسوبی و دگرگونی می‌توانند معرف تاثیر کیفی و نیمه کمی سنگ منشاء در رسوبات آبراهه‌ای باشند. طبیعی است که کمی‌سازی میزان تاثیر هر سازند می‌تواند موضوع تحقیقات ژرف در آینده باشد.

### قدردانی

لازم می‌داند از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی استان چهارمحال و بختیاری که زمینه و امکانات مادی و معنوی را برای انجام این کار فراهم نمودند کمال سپاس و امتنان را بعمل آورد.

معرفی شدند که در حداقل ۴ عنصر با نتایج تحقیق حاضر منطبق می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

- از مهم‌ترین عناصر ردیاب در محیط‌های گوناگون سنگ‌شناختی می‌توان به روبیدیوم و نیکل در سنگ‌های آذرین بازیگ، استرانسیوم، سرب، نیوبیوم و زیرکونیوم در سنگ‌های آذرین حدواسط، اورانیوم، سرب، باریوم، تنگستن و نیوبیوم در سنگ‌های رسوبی ریزدانه مثل شیل، نیکل در سنگ‌های رسوبی آواری متوسط تا ریز دانه مثل سیلت سنگ، تنگستن و زیرکونیوم در سنگ‌های رسوبی آواری متوسط دانه همچون ماسه‌سنگ‌ها و زیرکونیوم، روبیدیوم، وانادیوم، باریوم، کبالت، نیوبیوم و نیکل در سنگ‌های دگرگونی شدید همچون گنایس اشاره نمود.

-در مورد سنگ آهک و سنگ‌های دگرگونی درجه متوسط مثل انواع شیست و میکاشیست، عناصر مناسبی جهت ردیابی رسوبات

### منابع

- Alt, C., Teagle, D.A.H., 2003. Hydrothermal alteration of upper oceanic crust formed at a fast – spreading ridge: mineral, chemical and isotopic evidence from ODP Site 801. *Chemical Geology* 201(3), 191-211.
- Amiri, M., 2001. Origin of Clay Colloids and Floods in Kabudarahang Flood spread Station (Talsaran) Using Rare Soil Elements, Abstracts Proceeding of National Conference on Land Management, Soil Erosion and Sustainable Development, Arak, pp. 295-305.
- Cuney, M., 1993. Contrasted rare earth mobility during hydrothermal alteration in Jabiluka uranium deposits (East Alligator Rivers District, Northern Territory, Australia).
- Date, A.R., Jarvis K.E., 1989. The application of ICP-MS in the earth sciences. In: Date, A.R., Gray A.L., (eds), *The application of inductively coupled plasma mass spectrometry*. Blackie, Glasgow, pp.43-70.
- Emami, N., 2008. Petrological investigations with emphasize on the alteration zones and evaluation of their environmental effects in the volcanic terrain of the north of Shahrekord, PhD Thesis, Isfahan University, Iran, 292p.
- Fang, X., Peng, B., Wang, X., Song, Zh., Zhou, D., Wang, Q., Qin, Zg., Tan, Ch., 2019. Distribution, contamination and source identification of heavy metals in bed sediments from the lower reaches of the Xiangjiang River in Hunan province, China. *Science of the Total Environment* 689, 557-570.
- Fulignati, P., Gioncada, A., Sbrana, A., 1999. Rare earth elements (REE) behavior in the alteration facies of the active hydrothermal system of volcano (Aeolian - magmatic islands, Italy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 88(4), 325 - 342.
- Ghasemi, A., Haj Hosseini, A., Hosseini, M., 2006. *Geology Map (scale 1: 100000)*, Geological Survey of Iran.
- Jenner, J., Longerich, H., Jackson, S, Freyer, B., 1990. ICP-MS a powerful tool for high precision trace- element analysis in earth sciences; evidence from analysis of selected USGS. Reference samples. *Chemical Geology* 83, 133-148.
- Li, T., Sun, G., Yang Ch., Liang, K., Ma, Sh., Huang, L. Luo, W., 2019. Source apportionment and source-to-sink transport of major and trace elements in coastal sediments: Combining positive matrix factorization and sediment trend analysis. *Science of the Total Environment* 651, 344-356.
- McLennan, S.M., Taylor, S.R., 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution revisited: tectonic setting and secular trends. *Journal of Geology* 99, 1-21.
- Rollinson, H., 1993. *Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific and Technical, 352p.

- Schneider, H.J., Ozgur, N., 1988. Relationship between alteration, rare earth element distribution and mineralization of the Murgul copper deposit, northeastern Turkey, <http://geotherm.Sdu.edu.tr/rayin>.
- Shin, Y., Wook Kim, J., Jin, K., 2019. Suspended sediment source tracing at the Juksan Weir in the Yeongsan River using composite fingerprints. *Quaternary International* 519, 245-254.
- Soder, P.A., 1954. Contribution to the geology of the Isfahan - Gavkhuni area, NIOC.A. Geological Report, No. 110.
- Terakado, Y., Fujitani T., 1998. Behavior of rare earth elements and other trace elements during interactions between acidic hydrothermal solutions and volcanic rocks. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 62(11), 1903 – 1917.
- Wang, Sh., Wang, W., Chen, J., Zhao, L., Zhang., Jiang, X., 2019. Geochemical baseline establishment and pollution source determination of heavy metals in lake sediments: A case study in Lihu Lake, China. *Science of the Total Environment* 657, 978-986.
- Xia, D., Zhang, Ch., Qu, I., Song, Q., J.I., X., Mei, K., Dahlgren, R., Zhang, M., 2019. A comprehensive analysis and source apportionment of metals in riverine sediments of a rural-urban watershed. *Journal of Hazardous Materials*, pp.121230.
- Xu, D., Wang, R., Wang, W., Ge, Q., Hang, W., Chen, L., Chg, F., 2019. Tracing the source of Pb using stable Pb isotope ratios in sediments of eastern Beibu Gulf, South China Sea. *Marine Pollution Bulletin* 141, 127-136.
- Yang Shou, YE., 2003. A review on the provenance discrimination of sediments in the yellow sea. *Earth Science Reviews*, 93-120.
- Yazdi, M., 2002. *Conventional Methods in Geochemical Exploration*. Shahid Beheshti University Publications, 180p.
- Zahedi, M., 1993. Report and geological map of Shahrekord (scale 1: 250,000), Geological Survey of Iran.
- Zhuang, Q., Li, G., Liu, Zh., 2018. Distribution, source and pollution level of heavy metals in river sediments from South China. *Catena* 170, 386-396.

