

Original Research Paper

Application of geochemistry in determining the parent rock of terrigenous sediments: a case study from sediments of south and west of Urmia Lake

Mahmoud Sharafi^{1*}, Mahdi Jafarzadeh², Aram Bayet-Goll³ and , Razieh Lak⁴

¹ Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

² Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³ Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran

⁴ Institute for Earth sciences, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2022 April 04

Accepted: November 22

Available online: 2023 June 22

Keywords:

Urmia Lake

Provenance

Source rock

Alteration index

Major and minor elements

ABSTRACT

The Urmia Lake, which is a tectonic depression in the northwest of Iran, has received a lot of eroded sediments of the geological records of the lake watershed. Because of the constant drought in the recent years, sediments have been subjected to the wind erosion and thus are an important source for local and regional emission during dust storms. In this research the south and west sediments of the Urmia playa lake have studied on the parent rock issue. Bivariate plots such as Th/Co versus La/Sc and TiO₂ versus Al₂O₃ and comparison proportion of the trace elements such as La/Sc, Th/Sc, La/Co, Th/Co and Cr/Th display mainly the felsic and partly basic rocks source for the studied sediments. Major and trace spider plots of the studied sediments display their depletion with respect to Sc, V, Cr, Ni and enrichment with respect to Th and Sr, confirm mainly a felsic and partly mafic and ultramafic source rocks. Geochemistry of the major elements shows the dry climatic conditions during deposition of Urmia Lake sediments, suggested by bivariate plots of SiO₂ against the sum of Al₂O₃, K₂O and Na₂O as well as the amount of chemical index of weathering.

1. Introduction

Geochemistry of the major and trace elements can be used to identify of the parent rock and paleoclimate of the siliciclastic sediments (Mahu et al., 2018; He et al.,

2020; Armstrong-Altrin et al., 2021). Bivariant plots of the Ba, La, Va and Zr imply important information about the siliciclastic sediments (Roser and Korsch, 1986;

* Corresponding author: Mahmoud Sharafi; E-mail: sharafi2262@gmail.com

Citation:

Sharafi, M., Jafarzadeh, M., Bayet-Goll, A., Lak, R., 2023. Application of geochemistry in determining the parent rock of terrigenous sediments: a case study from sediments of south and west of Urmia Lake. Scientific Quarterly Journal, GEOSCIENCES, 33(2), 128, 223-238. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.336034.1989>. E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2022.336034.1989

dor: 20.1001.1.10237429.1402.33.2.7.6



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

Banerjee et al., 2019; Nosrati et al., 2022). Urmia sediments and its surrounding pounds have been exposed and were subjected to wind erosion due to successive droughts in recent years so that their sediments are a major source of the dust in the region. Owing to high importance of the Urmia lake with respect to the source of its sediments, the previous researches in this area were mainly focused on sedimentary facies (Mirzapour et al., 2020) and mineralogy (Alipour et al., 2018) of the Urmia Lake. In the present study, we used the geochemical (major and trace elements) methods to interpret the parent rock and climate condition of the Urmia lake sediments.

2. Research methodology

Fourteen surface samples were selected from west and south of the Urmia lake and its wetlands including Khorkhoreh, Rashakan, Jabal kandy and Anganeh sites. Each sample is composed of a mixed of five samples with 5*5 m distance to achieve nearly homogen sediments in each studied site. Granulometry analysis were done by wet sieve at the Geological survey of Iran. Whole-rock chemical analyses including XRD and ICP-OES were carried out on all samples at the Geological survey of Iran to achieve gross mineralogy and major and trace elements contribution of the studied samples.

3. Results and Discussions

Granulometry analysis of the studied samples of the Urmia lake display a dominant silty sand and partly silty sediment in the studied area (Fig. 3). The major oxides normalized diagram for the studied sediments of the Urmia lake displays enrichment of the MgO, CaO and P₂O₅ and depletion of the TiO₂, Na₂O and K₂O (Fig. 4) that suggests presence of the ferromagnesium minerals such as chloritoid and clinocllore as well as dolomite, improved by XRD analysis (Fig. 5). Depletion of the Al₂O₃ and K₂O suggests low content of the K-feldspars in the studied samples. The trace

elements normalized diagram for the studied sediments of the Urmia lake displays enrichment of the Sr, Th, Nb, U and Cu depletion of the Ba, Co, Ce, Cr, Zn, Sc and in some samples Y with respect to upper continental crust (Fig. 7). Positive trend of cross plot of TiO₂ against Zr suggests presence of the heavy mineral such as zircon (Fig. 8). Positive trend of the cross plot of TiO₂ against V displays presence of the clay minerals and/or Fe-rich minerals such as chloritoids and clinocllore as identified in the studied samples by XRD analysis (Fig. 5). The proportion of the Al₂O₃/TiO₂ in the studied samples is between 19-29, which is suggesting a felsic igneous parent rock for the studied sediments. This is supported by bivariate plot of the TiO₂ vs. Zr and the content of the Th/Co, La/Co and Cr/Th (Table 4). High content of the Th and Sr and low content of the V, Cr, Co, Sc and Ni in the studied sediment can be related to the felsic igneous parent rock in the hinterland. Bivariate plot of the SiO₂ vs. Al₂O₃+K₂O+Na₂O displays arid climate for the studied area (Fig. 11), which is supported by the chemical index of alteration for the studied sediments, which is between 52-63. Arid climate condition for the studied area also suggested by study of the sedimentary facies and clay mineral analysis of the Urmia sediments (Mirzapour et al., 2020, 2021).

4. Conclusion

Major and trace elements analysis of the Urmia lake, which is an important source for local and regional emission during dust storms, display new information about the parent rock of the siliciclastic rocks and climate condition of the studied region. Bivariate plots of Th/Co versus La/Sc and TiO₂ versus Al₂O₃ and comparison proportion of the trace elements such as La/Sc, Th/Sc, La/Co, Th/Co and Cr/Th display mainly the felsic and partly basic rocks source for the studied sediments. Major and trace spider plots of the studied sediments display their depletion with respect to Sc, V, Cr, Ni and enrichment with respect to Th and Sr, confirm mainly a felsic source rocks. Bivariate plot of

the SiO_2 against the sum of Al_2O_3 , K_2O and Na_2O as well as the amount of chemical index of weathering

shows the dry climatic conditions during deposition of Urmia Lake sediments.

کاربرد ترکیب ژئوشیمیایی در تعیین سنگ مادر رسوبات تخریبی: مطالعه موردی از رسوبات جنوب و باختر دریاچه ارومیه

محمود شرفی^{۱*}، مهدی جعفر زاده^۲، نارام بابت گل^۳، راضیه لک^۴

^۱ گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

^۲ دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۳ دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

^۴ پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

چکیده

دریاچه ارومیه که یک فرورفتگی زمین‌ساختی در شمال باختر ایران است، سالانه دریافت کننده مقادیر زیادی رسوبات فرسایش یافته از ساختارهای زمین‌شناسی اطراف این دریاچه است. در نتیجه خشکسالی‌های متوالی سال‌های اخیر، این رسوبات مستعد ایجاد بادرفت در معرض فرسایش بادی قرار گرفته و بنابراین یک منشأ مهم برای انتشار رسوبات در طی توفان‌های گرد و غبار است. در این پژوهش، رسوبات حاشیه جنوبی و باختری دریاچه پلایایی ارومیه از جنبه تعیین سنگ منشأ مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. رسم نمودارهای دوتایی مانند نسبت Th/Co به La/Sc و TiO_2 به Al_2O_3 و مقایسه نسبت عناصر کمیاب مانند Cr/Th و La/Sc ، Th/Sc ، La/Co ، Th/Co بیانگر منشأ سنگ‌های آذرین عمدتاً فلسیک و بعضاً بازیک برای این رسوبات است. رسم نمودارهای عنکبوتی برای عناصر اصلی و کمیاب موجود در رسوبات مورد مطالعه، فقر شدگی آنها نسبت به Ni و V ، Sc ، Cr و غنی شدگی Th و Sr را نشان می‌دهد که وجود سنگ منشأ اسیدی و بعضاً مافیک تا اولترامافیک را تأیید می‌کند. ژئوشیمی عناصر اصلی از طریق قرار دادن مقادیر SiO_2 در برابر مجموع K_2O ، Al_2O_3 و Na_2O و همچنین مقدار اندیس شیمیایی هواز دگی، شرایط آب و هوایی خشک را در زمان رسوب‌گذاری رسوبات دریاچه ارومیه نشان می‌دهد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

دریاچه ارومیه

خاستگاه

سنگ منشأ

اندیس دگرسانی

عناصر اصلی و فرعی

۱- پیش‌نوشتار

بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب رسوبات می‌تواند در تعیین سنگ مادر و شرایط آب و هوایی رسوبات نقش موثری ایفا نماید (Hossain et al., 2014; Mahu et al., 2018; He et al., 2020; Armstrong-Altrin et al., 2021). به عنوان مثال، عناصر کمیاب مانند باریم (Ba)، لانتانیم (La)، واندیم (V)، زیرکیم (Zr) از طریق نمودارهای دوتایی و مثلثی اطلاعات مهمی در ارتباط با سنگ مادر رسوبات به دست می‌دهد (Roser and Korsch, 1986; Fralick et al., 2009; Tripathy et al., 2014; Banerjee et al., 2019; Arienzo et al., 2020; Ramos-Vázquez and Armstrong-Altrin, 2019; Armstrong-Altrin et al., 2021; Nosrati et al., 2022). رسوبات دریاچه ارومیه و تالاب‌های حاشیه آن که در نتیجه خشکسالی‌های متوالی سال‌های اخیر از آب خارج شده و در معرض فرسایش بادی و ایجاد بادرفت قرار گرفته‌اند از جمله نقاط حساس بوده به طوری که مهاجرت مقادیر قابل توجهی از این رسوبات توسط تندبادها و طوفان‌های ماسه‌ای و گرد و غبار به

زمین‌های کشاورزی اطراف دریاچه و حتی شهرهای اطراف نگرانی مضاعفی را از جهت مسائل آلوده‌کنندگی ایجاد کرده است. از جمله مطالعات صورت گرفته بر روی رسوبات این دریاچه می‌توان به مطالعه علیپور و همکاران (۱۳۹۷) اشاره داشت که با بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی و فرعی و کانی‌شناسی رسوبات دریاچه ارومیه (ژرفای ۱/۵ متری) نشان دادند که کنترل‌کننده اصلی ترکیب کانی‌ساختی رسوبات این دریاچه توسط زمین‌شناسی واحدهای پیرامونی این دریاچه صورت می‌گیرد. میرزاپور و همکاران (۱۳۹۹) نیز با مطالعه رسوب‌شناسی، محیط‌رسوبی و شرایط جغرافیای قدیم رسوبات تالاب‌های جنوب این دریاچه، نشان دادند که از حدود ۲ هزار سال گذشته شرایطی مشابه شرایط امروزی بر این منطقه حکمفرما بوده است. چنان‌که گفته شد، مطالعه صورت گرفته توسط علیپور و همکاران (۱۳۹۷) بر روی نمونه‌های عمقی صورت گرفته و مطالعه بر کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبات متمرکز بوده است، از این رو، در این پژوهش از آنالیز و نتایج حاصل از پراکندگی

* نویسنده مسئول: محمود شرفی؛ E-mail: sharafi2262@gmail.com

ماخذنگاری:

شرفی، م.، جعفرزاده، م.، بابت گل، آ.، لک، ر.، ۱۴۰۲، کاربرد ترکیب ژئوشیمیایی در تعیین سنگ مادر رسوبات تخریبی: مطالعه موردی از رسوبات جنوب و باختر دریاچه ارومیه. فصلنامه علمی علوم زمین، ۳۳(۲)، ۲۲۳-۲۳۸. <https://doi.org/10.22071/gsj.2022.336034.1989>

doi: 10.22071/GSJ.2022.336034.1989



doi: 20.1001.1.10237429.1402.33.2.7.6

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



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

شمال باختری دریاچه ارومیه برداشت شده است. نمونه‌های حاشیه جنوبی از تالاب کانی برازان (۱ نمونه از حوالی روستای خورخوره) و ۱ نمونه از حوالی داشخانه برداشت شد. از حاشیه باختری دریاچه در حوالی روستای جبل کندی و تالاب رشکان (۳ نمونه) برداشت شده‌اند و رسوبات حاشیه شمال باختری دریاچه شامل ۹ نمونه از حوالی روستاهای انگنه و جبل و شهرک صنعتی گرفته شد (شکل‌های ۱ و ۲). نمونه‌ها از سطحی به ژرفای ۳ سانتی‌متر و ابعاد 20×20 سانتی‌متر (پس از کنار زدن ضایعات سطحی احتمالی) برداشت گردید. در هر سایت نمونه‌گیری با ایجاد یک شبکه نمونه‌برداری چهار گوش به ابعاد ۸ در ۸ متر و با برداشت ۵ نمونه و مخلوط کردن آنها صورت گرفت (Moore et al., 2009; Rashki et al., 2015). از مخلوط نمونه‌ها یک نمونه واحد ۵۰۰ گرمی برای آزمایشات برداشت و داخل پاکت زیپ‌دار تا رسیدن به آزمایشگاه قرار داده شد تا حداقل تغییرات در نمونه‌ها طی حمل و نقل و گذشت زمان ایجاد شود. با این شیوه نمونه‌برداری، ترکیب کامل و مناسبی از رسوبات هر سایت به دست می‌آید. میزان تجمع عناصر فلزی سنگین شامل Fe, Al, Cu, Ni, Mn, Co, Ba, Zn, Cr در تمام نمونه‌ها توسط دستگاه ICP-OES مدل JY 70 PLUS در مرکز پژوهش‌های کاربردی زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی کشور تعیین گردید. افزون بر این، جهت تعیین کانی‌شناسی رسوبات، نمونه‌ها توسط دستگاه Siemens XRD diffractometer D5000 در سازمان زمین‌شناسی کشور مورد آنالیز قرار گرفت. اندیس دگرسانی (آلتراسیون) شیمیایی (CIA) نیز (Nesbitt and Young, 1982) اغلب برای تعیین شدت هوازدگی‌های شیمیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (McLennan et al., 1993; Yang et al., 2004; Xiao et al., 2010). مقادیر CIA از حدود ۵۰ یا کمتر (برای بیشتر سنگ‌های آذرین و دگرگونی غیر هوازده) و تا حدود ۱۰۰ (برای باقیمانده‌های آلومینوسیلیکات خالص از قبیل کائولن) تغییر می‌کند. برای محاسبه این اندیس از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$CIA = [Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO * + Na_2O + K_2O)] \times 100$$

۴- داده‌ها و اطلاعات

۴-۱- دانه‌بندی رسوبات

دانه‌بندی نمونه‌های برداشت شده در ناحیه مورد مطالعه با استفاده از روش الک نشان دهنده غالب بودن ذرات ماسه‌ای است به گونه‌ای که این رسوبات بر مبنای طبقه‌بندی فولک (Folk, 1974) در رده سیلت ماسه‌ای و سیلت قرار می‌گیرند (شکل ۳).

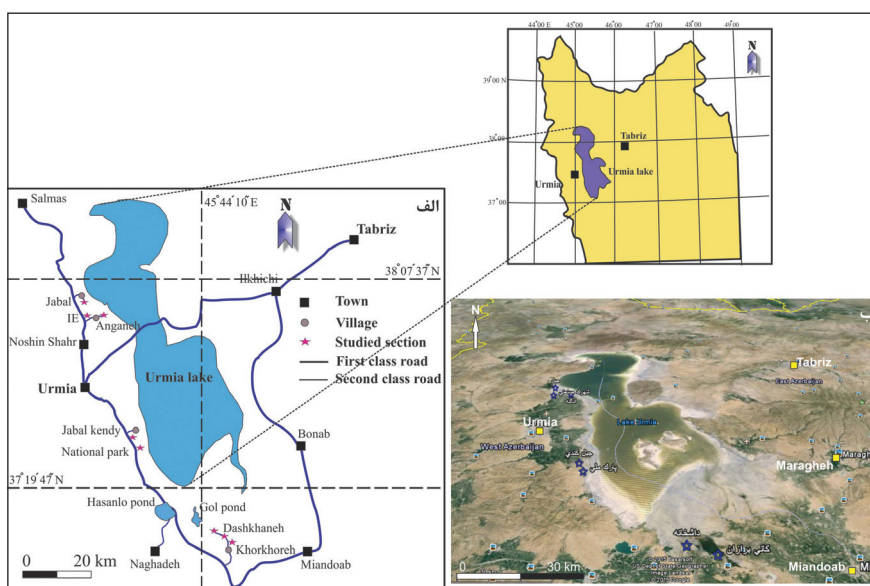
اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب جهت تعیین شرایط آب و هوا و سنگ مادر این رسوبات استفاده شده است و هدف نهایی از این داده‌پردازی‌ها تعیین منشأ احتمالی این عناصر است.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

دریاچه پلایایی ارومیه با یک حوضه آبریز بسته در یک فرو رفتگی طبیعی در ۱۷ کیلومتری خاور ارومیه و ۵۵ کیلومتری باختر شهر تبریز و در مرز استان‌های آذربایجان شرقی و غربی در شمال باختر ایران قرار گرفته است (شکل‌های ۱ و ۲). مختصات جغرافیایی دریاچه بین $37^{\circ} 15' 15''$ و $38^{\circ} 15' 15''$ عرض شمالی و $45^{\circ} 00' 13''$ و $45^{\circ} 55' 20''$ طول خاوری قرار دارد (شکل‌های ۱ و ۲). این دریاچه مساحتی حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع را می‌پوشاند و بیشترین درازا و پهنای آن به ترتیب ۱۴۰ و ۵۰ کیلومتر است. این دریاچه یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های دائمی شور و یکی از دریاچه‌های فوق اشباع از نمک دنیا است (درویشی خاتونی و محمدی، ۱۳۹۰). این دریاچه در منطقه‌ای از زمین‌ساخت فعال و در پهنه برخوردی ریز صفحه‌های ایران و ترکیه (بین صفحات اورازیا و ایران) ایجاد شده است (شهرابی، ۱۳۷۳). این دریاچه از نظر زمین‌شناسی در بین دو سیستم فعال گسل تبریز در شمال و گسل زربینه‌رود در جنوب واقع شده است. به باور پورکرمانی و صدیقی (۱۳۸۲) بالآمدگی قطعه شمالی گسل تبریز با ایجاد مانعی در برابر جریان آب، سبب تجمع آب و تشکیل این دریاچه شده است. مهم‌ترین رودخانه‌های ورودی به این دریاچه در جنوب زربینه‌رود و سیمینه‌رود هستند و در شمال خاور رودخانه آجی‌چای است. بزرگ‌ترین جزیره این دریاچه که امروزه به شکل شبه جزیره دیده می‌شود، جزیره اسلامی است که از لحاظ سنگ‌شناسی شامل توالی‌های لوسیت-تفریت، تفریت، لوسیت-بازانت، برش آتشفشانی و توف می‌باشد (Moayyed et al., 2008). در فاصله زمانی طولانی دوره یخچالی کواترنری، پادگانه‌هایی پدیدار شده‌اند که پایین‌ترین آن، ناشی از آخرین مرحله آب و هوای سرد و خشک بوده است. صالحی‌پور میلانی و همکاران (۱۳۹۹) با استفاده از تعیین سن شش پادگانه دریاچه‌ای ارومیه به روش کربن ۱۴ معتقدند که سن خطوط ساحلی شناسایی شده در این دریاچه مربوط به پلیستوسن پایانی می‌باشد.

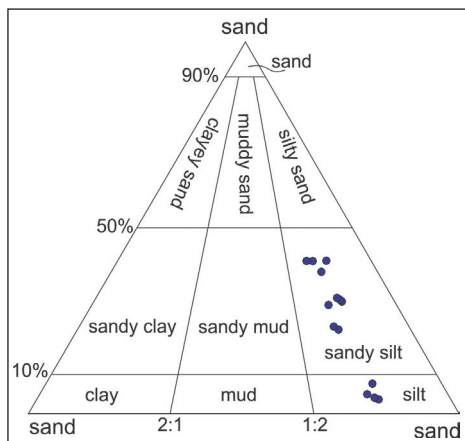
۳- روش پژوهش

تعداد ۱۴ نمونه سطحی از رسوبات سیلت ماسه‌ای و سیلتی حاشیه جنوبی، باختری و



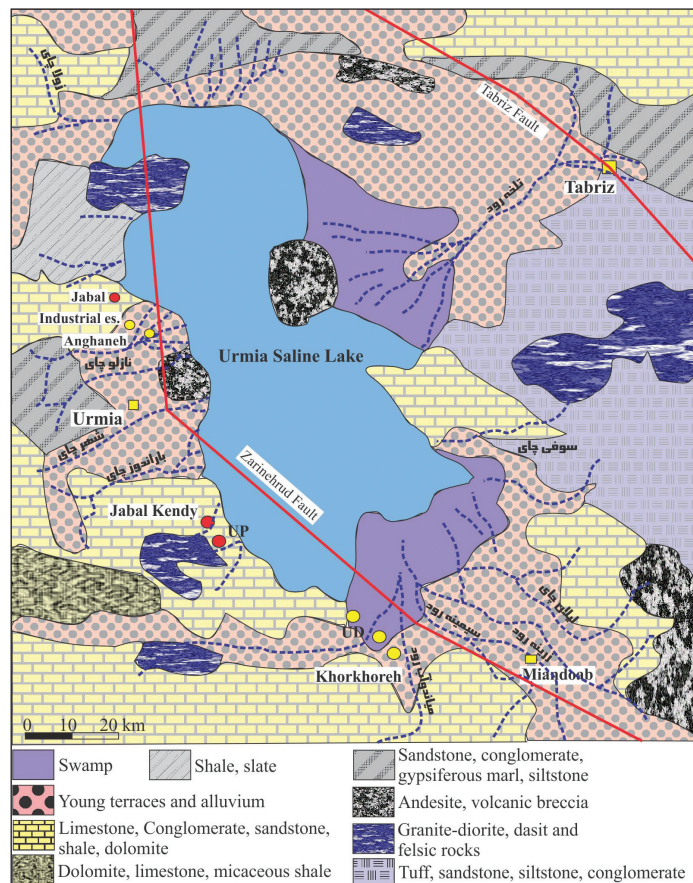
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی سایت‌های مورد مطالعه در حاشیه دریاچه ارومیه.

Figure 1. Geographical map of the sites of the Urmia Lake.



شکل ۳- آنالیز دانه بندی رسوبات مورد مطالعه بر مبنای طبقه بندی فولک (Folk, 1974).

Figure 3. Granulometry of the studied sediments based on Folk (1974).



شکل ۲- نقشه ساده شده زمین شناسی اطراف دریاچه ارومیه (ایستگاه های نمونه برداری با دایره توپر مشخص شده اند) (خان ناظر و سعیدی، ۱۳۹۳).

Figure 2. Simplified geological map of the Urmia Lake region (studied sites marked by circles) (Khannazer and Saidie, 2014).

مختلف نسبت به یکدیگر در رسوبات دریاچه ارومیه ارتباطات خاصی را بین آنها آشکار می کند. همان طور که در نمودارها مشخص شده است، بین اکسیدهای اصلی SiO_2 و TiO_2 ، P_2O_5 ، K_2O ، MnO ، Fe_2O_3 و تا حدودی Al_2O_3 با اکسید آلومینیم (با Al_2O_3) و تا حدودی بین Na_2O با اکسید آلومینیم (Al_2O_3) ارتباط مثبت مشخصی وجود دارد در حالی که بین CaO و Al_2O_3 ارتباط منفی وجود دارد و بین MgO با Al_2O_3 ارتباط خاصی مشاهده نمی شود (شکل ۶). این ارتباط مثبت اکسیدهای اصلی با اکسید آلومینیم بیانگر ارتباط آنها با کانی های میکایی (مسکویت) و رسی (به عنوان مثال در اثر هوازدگی فلدسپات ها) است (Etemad saeed et al., 2011; Das et al., 2006; Etemad saeed et al., 2011; Etemad-Saeed et al., 2011). عدم ارتباط بین MgO و Al_2O_3 نشان می دهد منشأ اکسید منیزیم می تواند از کانی های غیر سیلیکاته مانند دولومیت باشد (Etemad-Saeed et al., 2011). ارتباط منفی CaO و Al_2O_3 و عدم وجود روند خاص در نسبت MgO و Al_2O_3 در عین حال میزان بالای CaO و MgO (غنی شدگی مشخص نسبت به UCC) در نمونه های مورد مطالعه به دلیل حضور کانی های کلسیم و منیزیم دار غیر سیلیکات متعدد مانند کربنات کلسیم (کلسیت و آراگونیت)، ژپس، ترمولیت و دولومیت در آنها است که در مطالعات سنگ نگاری و آنالیز XRD نمونه ها نیز مشاهده شده است (جدول ۲ و شکل ۵). اگر چه یک منشأ دیگر برای Ca و Mg خرده های اسکلتی است که در نمونه های مورد مطالعه شناسایی شده است.

۴-۲- عناصر اصلی (Major elements)

داده های مربوط به اکسیدهای اصلی در جدول ۱ ارائه شده است. توزیع عناصر اصلی می تواند تا حدودی نشان دهنده کانی شناسی نمونه های مورد مطالعه باشد. در این ارتباط و برای بررسی نسبت بین اکسیدهای اصلی، Al_2O_3 به عنوان فاکتور بهنجار کننده (normalizer) انتخاب شده است که دلیل این انتخاب طبیعت غیر متحرک (immobile) این عنصر است. به طوری که در طی فرایندهای هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی تغییر ناچیزی بر روی این عنصر در نمونه ها ایجاد می شود (Bauluz et al., 2000; Etemad Saeed et al., 2011). رسم نمودارهای عنکبوتی (Taylor and McLennan, 1985, 1995) برای رسوبات دریاچه ارومیه بیانگر غنی شدگی MgO ، CaO ، MnO و Fe_2O_3 در مواردی TiO_2 (برای مثال نمونه های UD1 و UCH1، نسبت به UCC (upper continental crust) است در حالی که اکسیدهای Al_2O_3 ، K_2O و Na_2O عمدتاً فقیر شدگی نشان می دهند (شکل ۴). فقیر شدگی اکسیدهای Al_2O_3 و K_2O نسبت به UCC در رسوبات مورد مطالعه می تواند نشان دهنده نسبت پایین تر فلدسپات های پتاسیم و سدیم دار در آنها باشد. غنی شدگی اکسیدهای Fe_2O_3 و MgO به دلیل فراوانی کانی های فرومنیزین مانند کینوکلر، ترمولیت، کلوریتوئید و همچنین دولومیت است که در آنالیز XRD نمونه ها شناسایی شده است (شکل ۵). بررسی روند تغییرات اکسیدهای

جدول ۱- توزیع عناصر اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه دریاچه ارومیه (بر مبنای درصد).

Table 1. Trace elements composition of the studied samples of the Urmia lake (according to percent).

Sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CIA
UKH1	68.647	0.69	16.49	7.233	0.12	4.23	11.55	4.74	2.34	0.26	56.47
UJ	64.905	0.75	14.6	7.735	0.14	7.35	12.85	3.67	2.16	0.23	60.49
UD1	66.951	0.8	15.53	8.619	0.13	5.17	13.32	2.62	2.06	0.17	63.85
UP1	67.721	0.64	14.18	6.703	0.096	4.24	15.85	2.23	2.14	0.19	63.54
UP3	69.607	0.58	13.8	6.613	0.11	4.96	11.39	4.29	2.12	0.17	56.29
UCH1	72.946	0.6	13.8	6.03	0.074	4.3	10.19	3.03	2.5	0.17	59.74
UCH2	69.634	0.41	10.78	4.129	0.067	5.16	16.26	1.96	2.02	0.18	60.06
UCH3	68.588	0.43	11.04	4.167	0.065	5.25	16.76	2.33	2.05	0.16	59.40
UCH4	74.723	0.71	15.72	6.205	0.092	5.18	7.26	2.63	2.77	0.27	63.13
UI1	72.168	0.66	15.42	5.694	0.088	6.24	9.29	2.59	2.85	0.23	60.76
UI2	69.988	0.63	13.16	5.099	0.093	8.12	10.84	2.46	2.34	0.24	62.60
UI3	67.576	0.49	10.84	3.734	0.07	8.63	15.3	1.87	1.9	0.2	58.48
UJA2	50.989	0.26	6.88	2.989	0.052	3.4	39.19	1.43	1.21	0.1	52.16
UJA3	49.317	0.21	6.15	3.803	0.04	2.65	41.34	1.41	0.99	0.12	54.35
Mean	66.6	0.5	13.0	5.9	0.1	5.3	16.3	2.8	2.1	0.2	59.38

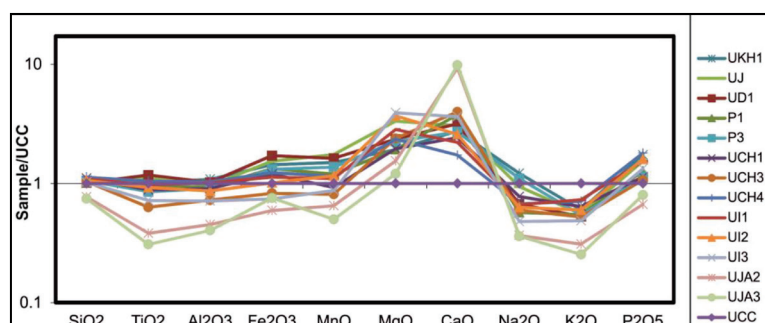
جدول ۲- کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه که توسط آنالیز XRD شناسایی شده است.

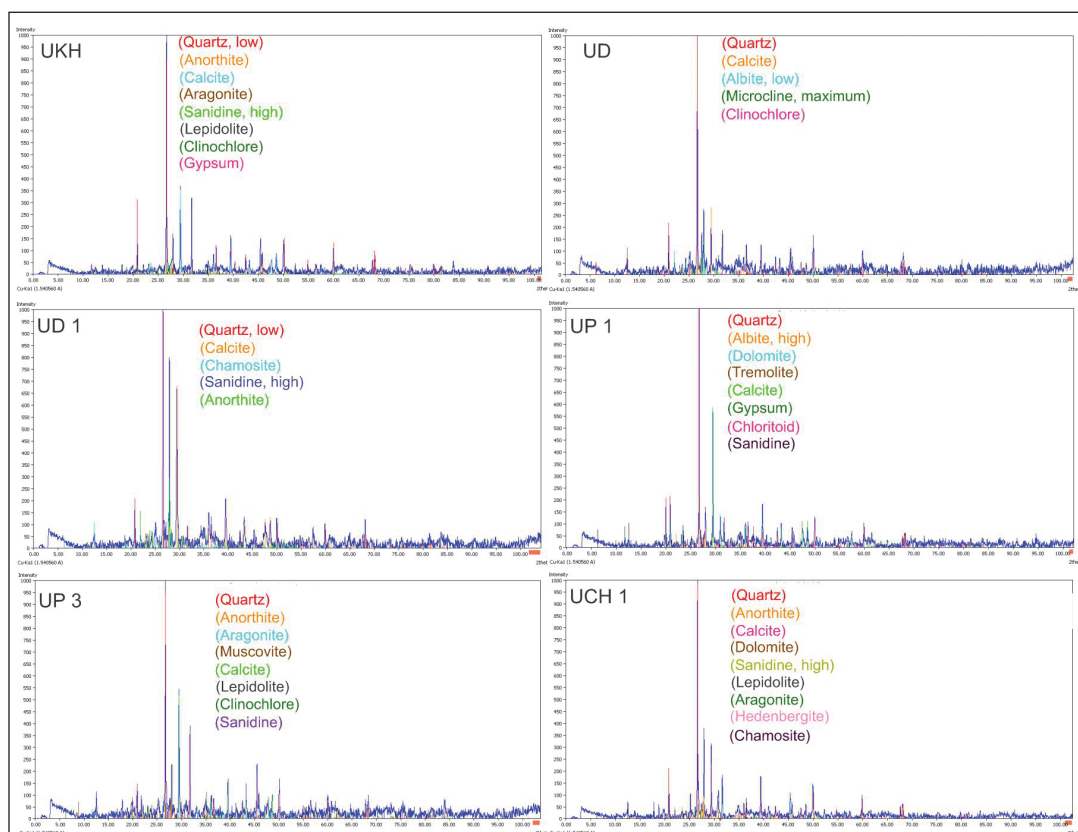
Table 2. Mineralogy of the studied samples analyzed by XRD.

Sample	Minerals
UKH1	Anorthite, calcite, sanidine, lepidolite, clinocllore, aragonite, quartz, gypsum
UJ	Microcline, aragonite, calcite, albite, quartz
UD1	Quartz, chamosite, microcline, calcite, clinocllore, albite, halite
UP1	Chloritoid, calcite, quartz, clinocllore, tremolite, albite, sanidine, dolomite
UP3	Dolomite, albite, calcite, orthoclase, calcite, halite, quartz
UCH1	Anorthite, quartz, chamosite, dolomite, sanidine, calcite, halite, hedenbergite
UCH2	Quartz, calcite, albite, clinocllore, sanidine, dolomite, muscovite, halite
UCH3	Sanidine, albite, muscovite, dolomite, calcite, clinocllore, quartz, halite
UCH4	Quartz, anorthite, calcite, muscovite, clinocllore, halite
UI1	Quartz, anorthite, hedenbergite, dolomite, aragonite, clinocllore, kaolinite
UI2	Dolomite, clinocllore, sanidine, calcite, quartz, albite
UI3	Anorthite, sanidine, calcite, clinocllore, pyrite, quartz, halite
UJA2	Quartz, aragonite, muscovite, calcite, aragonite, albite
UJA3	Aragonite, tremolite, orthoclase, quartz, calcite, albite, enstatite, halite

شکل ۴- نمودار عتکبوتی اکسیدهای اصلی رسوبات دریاچه ارومیه در نواحی مورد مطالعه که با داده‌های UCC بهنجار شده است (Taylor and McLennan, 1985).

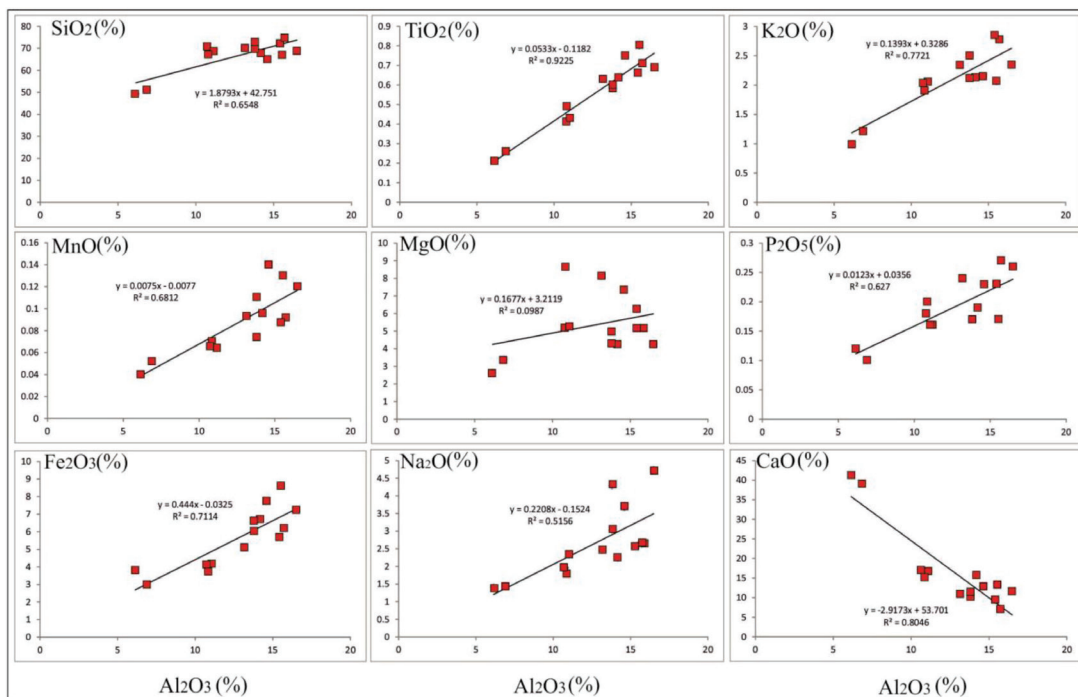
Figure 4. Spider plot of major oxides of the studied sediments of the Urmia lake in the studied area that are normalized to UCC (Taylor and McLennan, 1985).





شکل ۵- آنالیز XRD تعدادی از نمونه رسوبات حاشیه دریاچه ارومیه در سایت های خورخوره (KH)، داشخانه (UD)، رشکان (UP) و انگنه (CH).

Figure 5. XRD analysis of the selected samples of the Urmia lake at the Khorkhoreh (KH), Dashkhaneh (UD), Rashakan (UP) and Anganeh (CH) sites.



شکل ۶- ارتباط بین اکسیدهای اصلی با Al_2O_3 در رسوبات دریاچه ارومیه در نواحی مورد مطالعه.

Figure 6. Bivariate plots of the major oxides vs. Al_2O_3 in the studied samples of the Urmia lake in the studied area.

فلدسپات‌ها ایجاد شده است (Khanehbad et al., 2012; Nowrouzi et al., 2014). افزون بر این، ارتباط مثبت بین K_2O و Ba نشان می‌دهد که توزیع این عناصر توسط کانی‌های رسی پتاسیم‌دار مانند ایلیت کنترل می‌شود (Caracciolo et al., 2011). قابل ذکر است که در آنالیزهای XRD صورت گرفته بر روی نمونه‌های مورد مطالعه وجود کانی‌های رسی (شاموزیت، کلینوکلر، کائولینیت)، فلدسپات پتاسیم دار (ارتوکلار و سانیدین)، فلدسپات سدیم‌دار (آلیت) و کلسیم-دار (آنورتیت) و همچنین کانی‌های فیلسیلیکات (مسکوویت) اثبات شده است (شکل ۵). ارتباط مثبت بین TiO_2 و عنصر Zr نشان می‌دهد که رفتار این عنصر عمدتاً توسط کانی‌های سنگین تخریبی مانند زیرکن کنترل می‌شود. ارتباط مثبت بین TiO_2 و V نیز نشان دهنده جذب این عنصر توسط کانی رسی کائولینیت و یا همراهی با کانی‌های اکسید آهن (مانند کلریتوئید و کلینوکلر که در نمونه‌ها شناسایی شده است) است (Khanehbad et al., 2012).

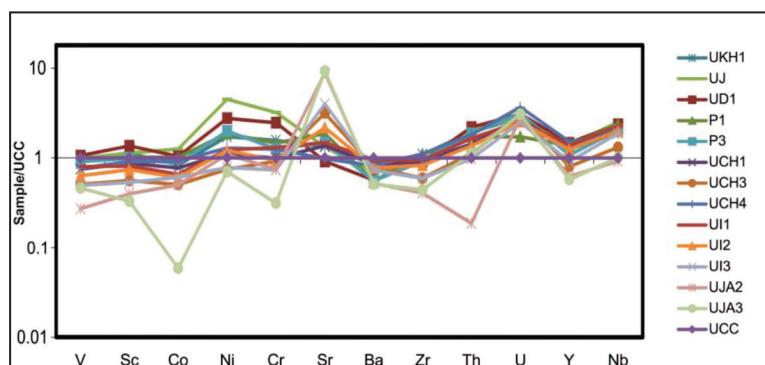
۴-۳- عناصر کمیاب (Trace elements)

داده‌های مربوط به عناصر کمیاب رسوبات دریاچه ارومیه در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شده است. رسم نمودار عنکبوتی (Taylor and McLennan, 1985) برای عناصر کمیاب نشان می‌دهد که عناصر Sr , Th , Nb , U و Cu نسبت به داده‌های پسته قاره‌ای بالایی غنی‌شدگی نشان می‌دهند. البته Cr و Ni نیز در نمونه‌های تالاب‌های جنوبی و حاشیه جنوب باختری دریاچه مانند $UD1$, $P1$ و $UKH1$ و $P3$ غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عناصر Ba , Co , Ce , Cr , Zn و Sc در بعضی نمونه‌ها Y و Cu نسبت به UCC فقیرشدگی نشان می‌دهند (شکل ۷). در مورد عناصر فرعی در این رسوبات نیز ارتباطات خاصی مشاهده شده است برای مثال می‌توان به ارتباط مثبت بین عنصر وانادیم و اکسید TiO_2 ، بین عناصر Ba با K_2O و Ba با Al_2O_3 (شکل ۸) اشاره نمود. ارتباط مثبت بین عنصر باریم و اکسید آلومینیم بیانگر ارتباط فیلسیلیکات‌ها و کانی‌های رسی با این عناصر است که احتمالاً در اثر دگرسانی

جدول ۳- توزیع عناصر کمیاب در نمونه‌های مورد مطالعه دریاچه ارومیه (بر مبنای پی‌پی‌ام).

Table 3. Trace elements contribution of the studied samples of the Urmia lake (ppm).

Sample	V	Sc	Co	Ni	Cr	Sr	Ba	Zr	Th	U	Y	Nb	La
UKH1	99.8	15.3	14.2	76.0	130	469	472	207	20.8	7.84	30.1	25.1	32.5
UJ	106	15.4	21.3	198	266	465	374	180	22.0	7.84	30.5	30.0	30.5
UD1	113	18.5	17.6	122	205	319	311	174	23.5	8.64	32.4	28.3	28.4
UP1	104	13.8	17.2	81.9	122	652	303	209	18.5	4.83	30.1	28.5	24.6
UP3	97.3	13.4	14.7	87.6	105	519	304	177	20.0	8.76	23.7	24.6	26.4
UCH1	80.3	11.8	13.1	49.2	82.2	478	467	172	15.4	7.68	27.4	23.4	18.1
UCH2	50.8	7.89	6.95	34.7	67.6	974	396	127	12.1	8.74	19.9	17.5	21.3
UCH3	54.4	7.59	8.57	32.8	76.0	1106	429	113	12.0	8.40	17.6	15.7	31.3
UCH4	82.2	12.4	15.7	56.7	104	342	449	211	19.4	10.3	33.5	22.7	36.6
UI1	85.5	11.0	11.2	53.9	109	521	522	179	17.6	7.10	30.2	27.5	27.2
UI2	67.8	10.1	10.3	52.9	77.9	763	427	157	14.6	7.11	27.2	23.8	21.2
UI3	52.8	7.23	10.3	34.4	60.9	1399	401	113	10.5	6.96	20.1	22.6	13.8
UJA2	29.0	5.40	8.53	48.2	61.5	3087	284	76.8	2.00	7.93	13.7	11.0	7.9
UJA3	49.2	4.46	1.00	30.9	26.0	3243	281	83.6	12.1	8.61	12.6	12.1	32.5
Mean	80.8	11.6	13.1	73.0	114.1	1007.6	385.6	156.0	16.4	7.9	25.5	23.0	24.6



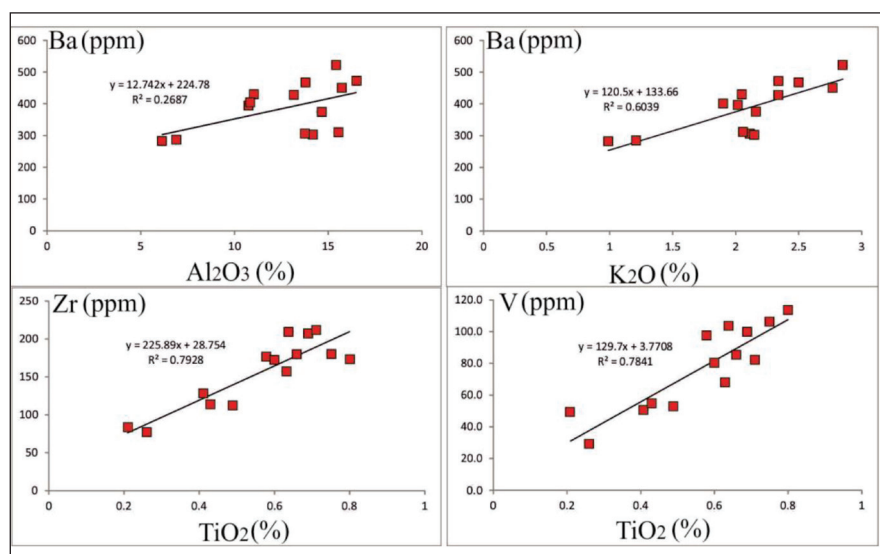
شکل ۷- نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب رسوبات دریاچه ارومیه در نواحی مورد مطالعه که با داده‌های UCC بهنجار شده است (Taylor and McLennan, 1985)

Figure 7. Spider plot of trace elements of the studied sediments of the Urmia lake in the studied area that are normalized to UCC (Taylor and McLennan, 1985).

جدول ۴- محدوده نسبت عناصر در رسوبات دریاچه ارومیه در نواحی مورد مطالعه و مقایسه آنها با نسبت عناصر در رسوبات منتج شده از سنگ‌های آذرین اسیدی، مافیک، UCC و PAAS (Taylor and McLennan, 1985; Cullers et al., 1988; Cullers, 2000).

Table 4. Trace element content of the studied samples compared to felsic and mafic igneous rocks, UCC and PASS (Taylor and McLennan, 1985; Cullers et al., 1988; Cullers, 2000).

Elemental ratio	UCC	PAAS	Range of sediment from mafic sources	Range of sediment from felsic sources	Range of sediment from Urmia lake
La/Sc	2.21	2.4	0.43-0.86	2.50-16.3	1.649 (KH, UD1) 1.95 (UJ, UP) 2.56 (UCH, UI, UJA)
Th/Sc	0.79	0.91	0.05-0.22	0.84-20.5	1.31 (KH, UD1) 1.41 (UJ, UP) 1.68 (UCH, UI, UJA)
La/Co	1.76	1.65	0.14-0.38	1.8-13.8	1.61 (KH, UD1) 1.57 (UJ, UP) 2.19 (UCH, UI, UJA)
Th/Co	0.63	0.63	0.04-1.40	0.67-19.4	1.27 (KH, UD1) 1.15 (UJ, UP) 1.38 (UCH, UI, UJA)
Cr/Th	7.76	7.53	25-500	4-15	7.79 (KH, UD1) 7.97 (UJ, UP) 5.3 (UCH, UI, UJA)



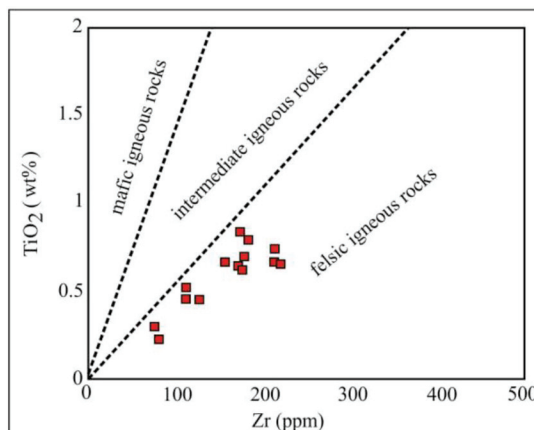
شکل ۸- ارتباط بین TiO_2 و Al_2O_3 با عناصر کمیاب زیرکیم، باریم و وانادیم در رسوبات دریاچه ارومیه در نواحی مورد مطالعه.
Figure 8. Bivariate plots of the TiO_2 and Al_2O_3 vs. Zr, Ba and V of the studied sediments of the Urmia lake.

۵- بحث

۵-۱- سنگ مادر (parent rock)

باشد رسوبات مربوط به سنگ مادرهای فلسیک می‌باشند (Alagarsamy and Zhang, 2010). براساس نظر هایاشی و همکاران (Hayashi et al., 1997) در صورتی که این نسبت بیش از ۲۱ باشد، رسوبات مربوط به سنگ مادرهای فلسیک هستند. این نسبت برای نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۹ تا ۲۹ (میانگین ۲۳) در تغییر است که می‌تواند نشان دهنده سنگ مادر فلسیک برای این نمونه‌ها باشد. رسم نمودار دوتایی نسبت درصد TiO_2 در برابر Zr (Hayashi et al., 1997) و قرار دادن مقادیر حاصل از نمونه‌های مورد مطالعه در این نمودار نیز نشان دهنده ترکیب سنگ مادر آذرین فلسیک برای این رسوبات می‌باشد (شکل ۹).

بررسی ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب در رسوبات سیلیسی آواری، اطلاعات بسیار مفیدی را در مشخص نمودن سنگ مادر رسوبات به دست می‌دهند (McLennan et al. 1993; Cullers, 2000, Alagarsamy and Zhang, 2010;) بر این اساس، نسبت Al_2O_3/TiO_2 از نسبت‌های مهم در تشخیص نوع سنگ مادر رسوبات سیلیسی آواری می‌باشد. در صورتی که این نسبت در رسوبات کمتر از ۱۴ باشد، از سنگ مادرهای مافیک مشتق شده‌اند اما در حالتی که این نسبت حدود ۱۹ تا ۲۸



شکل ۹- نمودار نسبت TiO_2 به Zr (Hayashi et al., 1997) برای رسوبات دریاچه ارومیه که نشان دهنده منشأ سنگ های آذرین اسیدی برای آنها است.

Figure 9. Bivariant plot of the TiO_2 vs. Zr (Hayashi et al., 1997) of the studied samples of the Urmia lake suggesting the felsic igneous rock parent rock.

منشأ فرعی سنگ های مافیک و اولترامافیک برای آنها باشد که با توجه به وجود این نوع سنگ ها در محدوده حوضه آبریز دریاچه تأمین بخشی از رسوبات توسط این سنگ ها محتمل است. با توجه به این مطلب که تغییرات در میزان این عناصر ممکن است در اثر تغییر در حالت اکسیدی باشد و بنابراین نشان دهنده منشأ آنها نیست، تفاسیر می بایست با احتیاط صورت گیرد (Bauluz et al., 2000). افزون بر این، در سیستم های رسوبی که رسوبات غنی از کربنات هستند مانند پلایاها معمولاً تمرکز بالاتری از Ni و Mg نسبت به سایر بسترهای رسوبی را نشان می دهند (Reheis et al., 2009). مجموعه سنگ های گرانیت و گنیس در سواحل باختری و جنوبی (مانند گرانیت دوران در جنوب) و سنگ های تخریبی کنگلومرایی، ماسه سنگ، سیلتستون و شیل (سازندهای سلطانیه و لالون) و آندزیت در سواحل باختری دریاچه ارومیه منشأ اصلی رسوبات مورد مطالعه هستند.

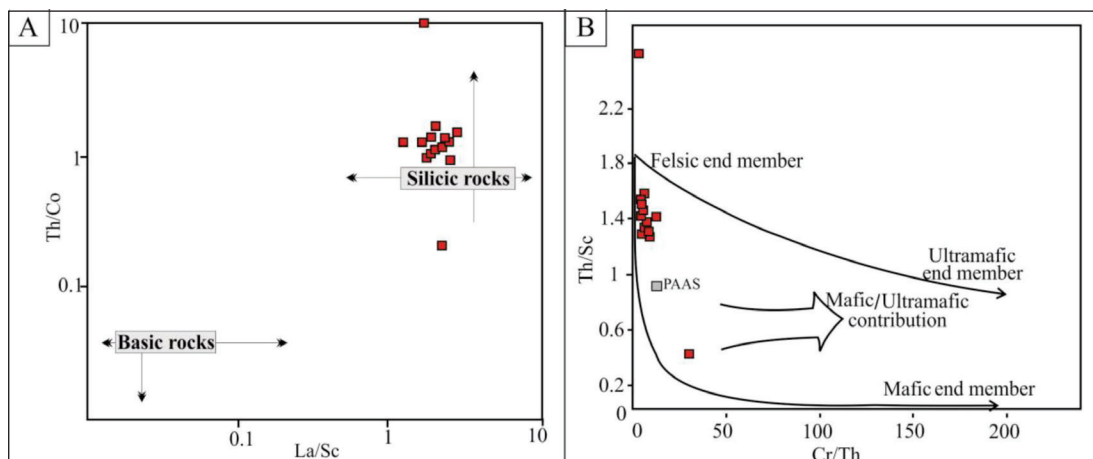
۵-۲- هوازگی منطقه منشأ

آب و هوای منطقه منشأ عموماً تأثیر بسیار زیادی بر روی ترکیب نهایی رسوبات و پیرو آن، بر روی تعبیر و تفسیر مرتبط با خاستگاه می گذارد (Suttner and Dutta, 1986). ساتنر و دوتا (Suttner and Dutta, 1986) با استفاده از ژئوشیمی اکسیدهای اصلی و قرار دادن مقادیر SiO_2 در برابر مجموع K_2O ، Al_2O_3 و Na_2O شرایط آب و هوایی در منطقه منشأ را مورد بررسی قرار داده اند که بر اساس آن (شکل ۱۱) نمونه های مورد مطالعه دریاچه ارومیه تماماً در محدوده آب و هوای خشک قرار گرفته اند. میزان CIA برای نمونه های رسوب مورد مطالعه از ۵۲/۱۶ تا ۶۳/۸۵ (میانگین ۵۹/۳۸) تغییر می کند (جدول ۱). این اعداد میزان هوازگی متوسط را برای رسوبات مورد مطالعه نشان می دهند. بر این اساس، می توان آب و هوای خشک را برای منطقه منشأ این رسوبات پیشنهاد نمود (Nesbitt and Young, 1982). این مورد با مقادیر بالاتر کانی های رسی گروه کلریت (کلینوکلور) و میکا (لیپدولیت) و عدم وجود کانی های رسی کائولینیت و ورمیکولیت (Das et al., 2006) و حضور کانی های ناپایدار مانند هدرنبرژیت و ترمولیت در نمونه های مورد مطالعه همخوانی دارد (شکل ۵). بر اساس مطالعات کانی شناسی رس ها (عرفان و همکاران، ۱۳۹۹؛ Mirzapour et al., 2021) و مطالعات رخساره های در تالاب های جنوبی و باختری حوضه دریاچه ارومیه

برای تعیین سنگ مادر رسوبات استفاده از نسبت عناصر کمیاب مانند Cr، Ni، La، Sc و Th فاکتور بسیار مناسب و دقیقی است به این دلیل که این عناصر در طی سیکل های رسوبی مختلف، حداقل تغییر را نشان می دهند (Cullers et al., 1988؛ McLennan et al., 1993؛ Alagarsamy and Zhang, 2010؛ Ding et al., 2021). این ارتباط سنگ های اسیدی و مافیک نسبت های کاملاً متفاوتی را از میزان La/Sc، Th/Sc، La/Co، Th/Co و Cr/Th نشان می دهند و از این رو اطلاعات بسیار مفیدی را برای سنگ مادر رسوبات به دست می دهند (Cullers et al., 1988؛ Cullers, 2000؛ Khanehbad et al., 2012؛ Taheri et al., 2018؛ Ding et al., 2021). در این مطالعه، مقایسه نسبت این عناصر نشان دهنده قرابت آنها با مقادیر مربوط به رسوبات منتج شده از منشأ سنگ های آذرین اسیدی و بعضاً مافیک (نسبت Th/Co) است (جدول ۴) که منشأ اصلی اسیدی و منشأ فرعی مافیک را برای رسوبات ناحیه مورد مطالعه دریاچه ارومیه اثبات می کند. افزون بر این، رسم نمودارهای دوتایی Th/Co به La/Sc (Al-Juboury and AL-Hadidy, 2009؛ Etemad-Saeed et al., 2011؛ Cullers, 2002؛ Taheri et al., 2018؛ Hashemi-Azizi et al., 2018) منشأ اسیدی تا حد واسطه را برای رسوبات مورد مطالعه تأیید می کند (شکل ۱۰-A). قرار گرفتن نمونه های رسوبات مورد مطالعه در نمودار متقابل Th/Sc در برابر Cr/Th (Wronkiewicz and Condie, 1987) (شکل ۱۰-B) نیز تأییدی بر سنگ مادر فلسیک تا گرانیتی برای این رسوبات است. عناصر Zr، Y، Nb و Th به دلیل عدم تأثیر پذیری از فرایندهای مختلف محیطی مانند هوازگی و دیاژنز شاخص های مناسبی برای ترکیب سنگ مادر هستند (Nowrouzi et al., 2014؛ Jafarzadeh et al., 2014). میزان بالای Th و U در رسوبات مورد مطالعه و غنی شدگی آنها نسبت به پوسته قاره ای بالایی (شکل ۷)، می تواند به دلیل حضور کانی های رسی در آنها باشد چرا که این عناصر معمولاً به صورت کاتیون هایی در کانی های فیلسیلیکات تجمع می یابند (Caracciolo et al., 2011). میزان بالای Th و Sr و میزان پایین V، Cr، Co، Sc و Ni در این رسوبات (شکل ۷) می تواند منشأ سنگ های آذرین اسیدی را برای آنها نشان دهد (Humphreys et al., 1995). در عین حال، غنی شدگی تعدادی از نمونه ها از Ni، Cr (مانند UKH، UJ، Up)، Co (مانند UKH، UJ)، V (مانند UKH، UJ) و Sc (مانند UKH، UJ) ممکن است نشان دهنده

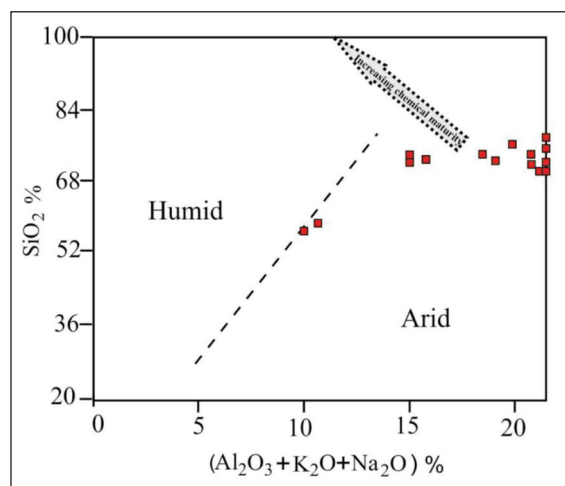
این حوضه چیره بوده و کانی‌های رسی موجود در دریاچه ارومیه اغلب آواری هستند و از طریق حمل و نقل وارد حوضه شده‌اند.

(Mirzapour et al., 2020) اقلیم خشک تا نیمه خشک منطقه، مانع از هوازدگی شیمیایی در منطقه شده است و بنابراین هوازدگی فیزیکی و فرسایش مکانیکی در



شکل ۱۰- A) نمودار دوتایی Cr/Th در برابر Th/Sc (Wronkiewicz and Condie, 1987) که بیشتر نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های آذرین اسیدی قرار می‌گیرند. B) نمودار نسبت La/Sc به Th/Co (Cullers, 2000) برای رسوبات دریاچه ارومیه که نشان دهنده منشأ سنگ‌های آذرین اسیدی برای آنها است.

Figure 10- A) Bivariate plot of the Cr/Th vs. Th/Sc (Wronkiewicz and Condie, 1987) of the studied samples displays the felsic igneous rock parent rock. B) Bivariate plot of the Th/Co vs. La/Sc (Cullers, 2000) of the studied samples displays the felsic igneous rock parent rock.



شکل ۱۱- نمودار SiO₂ در برابر مجموع Al₂O₃، K₂O و Na₂O (Suttner and Dutta, 1986) برای تعیین شرایط آب و هوایی رسوبات دریاچه ارومیه.

Figure 11. Bivariate plot of the SiO₂ vs. Al₂O₃+K₂O+Na₂O (Suttner and Dutta, 1986) displays arid climate for the studied area.

۶- نتیجه گیری

مانند نسبت Th/Co به La/Sc، TiO₂ به Al₂O₃ و مقایسه نسبت عناصر کمیاب مانند Cr/Th، La/Sc، Th/Sc، La/Co، Th/Co با نسبت این عناصر در سنگ‌های آذرین اسیدی و بازیک، شیل‌های آرکئن و ترکیب پوسته بالایی زمین (UCC) بیانگر نشأت

در این پژوهش، رسوبات حاشیه جنوبی و باختری دریاچه پلایایی ارومیه از جنبه‌های شناسایی سنگ والد و میزان غنی‌شدگی عناصر سنگین فلزی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بررسی نسبت اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب در نمودارهای دوتایی

دوران در جنوب) و سنگ‌های تخریبی کنگلومرای، ماسه سنگ، سیلتستون و شیل (سازندهای سلطانی و لالون) و آندزیت در سواحل باختری دریاچه ارومیه منشأ اصلی این رسوبات هستند. بر اساس ژئوشیمی عناصر اصلی و اندیس شیمیایی هوازدگی، میزان هوازدگی پایین تا متوسط در منطقه منشأ وجود آب و هوای خشک در هنگام رسوب گذاری این رسوبات مشخص می‌گردد که با نتایج انجام شده در مطالعات پیشین و بررسی کانی‌شناسی رس‌ها در رسوبات دریاچه ارومیه همخوانی دارد.

گرفتن رسوبات مورد مطالعه از فرسایش سنگ‌های آذرین اسیدی به عنوان منشأ اصلی و بازیک به عنوان منشأ فرعی است. افزون بر این، رسم نمودارهای عنکبوتی برای عناصر اصلی و کمیاب بهنجار شده با ترکیب پوسته زمین بیانگر غنی‌شدگی Sr و Th و فقیر شدگی V, Sc, Cr و Ni در بیشتر نمونه‌ها بوده که وجود سنگ منشأ اسیدی و بعضاً مافیک تا اولترامافیک برای رسوبات مورد مطالعه را تأیید می‌کند. مجموعه سنگ‌های گرانیت و گنیس در سواحل باختری و جنوبی (مانند گرانیت

کتابنگاری

- پور کرمانی، م. و صدیق، ح.، ۱۳۸۲، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی گسل تبریز. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۲، ص ۳۷-۴۴.
- خان ناظر، ن.ح. و سعیدی، ع.، ۱۳۹۳، نقشه زمین‌شناسی دریاچه ارومیه، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویشی خاتونی، ج. و محمدی، ع.، ۱۳۹۰، گزارش لیمنولوژی و پالئولیمنولوژی دریاچه ارومیه، فاز: III: پالئوکلیماتولوژی، پالئوآکولوژی و پالئوژئوگرافی، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۰ ص.
- شهرابی، م.، ۱۳۷۳، شرح زمین‌شناسی چهارگوش ارومیه، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- صالحی‌پور میلانی، پ.، لک، ر. و یمانی، م.، ۱۳۹۹، تاریخچه نوسانات سطح آب دریاچه ارومیه در پلیوستوسن پایانی. مجله آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۱۰، شماره ۳۸، ص ۲۳-۳۸. 10.30488/GPS.2021.120857.2738
- علیپور، ص.، موسوی، خ.، حسینی، ا.، اصلان پور، ش. و حاصلی، ز.، ۱۳۹۷، مطالعه ژئوشیمی عناصر اصلی، جزئی و خاکی کمیاب در رسوبات بستر دریاچه ارومیه. خرداد ۱۳۹۷، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، ص ۵۱-۶۲. GSJ.2018.63758/10.22071
- عرفان، ش.، رضایی، خ.، لک، ر. و آل علی، م.، ۱۳۹۹، تغییرات اقلیم گذشته بر اساس کانی‌شناسی رس‌ها در بخش جنوبی دریاچه ارومیه. دوره ۲۹، شماره ۱۱۵، ص ۱۲۳-۱۳۶. 10.22071/GSJ.2020.108300
- میرزاپور، ب.، لک، ر.، آل علی، م.، جمالی، م. و شهیازی، ر.، ۱۳۹۹، رسوب‌شناسی و محیط‌های رسوبی تالاب‌های جنوب و جنوب غرب دریاچه ارومیه. علوم زمین، دوره ۲۹، شماره ۱۱۶، ص ۲۵۳-۲۶۴. GSJ.2020.114221/10.22071

References

- Absar, N., 2021. Mineralogy and geochemistry of siliciclastic Miocene Cuddalore Formation, Cauvery Basin, South India: Implications for provenance and paleoclimate. *Journal of Palaeogeography*, 10(4), 602-630. <https://doi.org/10.1016/j.jop.2021.11.006>.
- Alagarsamy, R., and Zhang, J., 2010. Geochemical characterization of major and trace elements in the coastal sediments of India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 161(1), 161-176. DOI: 10.1007/s10661-008-0735-2.
- Alipour, S., Mosavi-ovenlegi, Kh., Hosseini, E., Aslanpour, Sh., and Haseli, Z., 2018. *Geochemistry of major, trace and rare earth elements in bed-sediments of Urmia lake. Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 27, 107, 51-62. 10.22071/GSJ.2018.63758.(In Persian).
- Al-Juboury, A.I., and AL-Hadidy, A.H., 2009. Petrology and depositional evolution of the Paleozoic rocks of Iraq: Marine and Petroleum Geology 26(2), 208-231. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2007.11.001>.
- Arienzo, M., Ferrara, L., Toscanesi, M., Giarra, A., Donadio, C., and Trifuoggi, M., 2020. Sediment contamination by heavy metals and ecological risk assessment: The case of Gulf of Pozzuoli, Naples, Italy. *Marine Pollution Bulletin*, 155, 111149. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111149>.
- Armstrong-Altrin, J. S., Madhavaraju, J., Vega-Bautista, F., Ramos-Vázquez, M. A., Pérez-Alvarado, B. Y., Kasper-Zubillaga, J. J., and Bessa, A.Z.E., 2021. Mineralogy and geochemistry of Tecolutla and Coatzacoalcos beach sediments, SW Gulf of Mexico. *Applied Geochemistry*, 134, 105103. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2021.105103>.
- Banerjee, B., Ahmad, S. M., Babu, E. V. S. S. K., Padmakumari, V. M., Beja, S. K., Satyanarayanan, M., and Krishna, A.K., 2019. Geochemistry and isotopic study of southern Bay of Bengal sediments: Implications for provenance and paleoenvironment during the middle Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 514, 156-167. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2018.10.022>.
- Bauluz, B., Mayayo, M.J., Fernandez-Nieto, C., and Gonzalez-Lopez, J.M., 2000. Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering, sorting, provenance, and tectonic setting. *Chemical Geology*, 168, 135-150. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(00\)00192-3](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00192-3).
- Caracciolo, L., Le Pera, E., Muto, F., and Perri, F., 2011. Sandstone petrology and mudstone geochemistry of the Peruc-Korycany formation (bohemian cretaceous basin, Czech Republic). *International Geology Review*, 53(9), 1003-1031. DOI:10.1080/00206810903429011.

- Cullers, R. L., 2000. The Geochemistry of Shales, Siltstones and Sandstones of Pennsylvanian–Permian Age, Colorado, USA: Implications for Provenance and Metamorphic Studies, *Lithos* 51, 181–203. [https://doi.org/10.1016/S0024-4937\(99\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0024-4937(99)00063-8).
- Cullers, R.L., 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology*, 191(4), 305–327. [https://doi.org/10.1016/S0009-2541\(02\)00133-X](https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X).
- Cullers, R.L., Basu, A., and Suttner, L.J., 1988. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, USA. *Chemical Geology*, 70(4), 335–348. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90123-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90123-4).
- Darvishi Khatouni, J., Mohamadi, A., and Shahrabi, M., 2011. *Limnology and Paleolimnology of the Urmia Lake, part III: Paleoclimatology, Paleoeology and Paleogeography, Geological Survey of Iran, 120p. (In Persian)*.
- Das, B.K., AL-Mikhlaifi, A.S., and Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. *Journal of Asian Earth Sciences*, 26, 649–668. [10.1016/j.jseae.2005.01.005](https://doi.org/10.1016/j.jseae.2005.01.005).
- Ding, J., Wu, Y., Tan, L., Fu, T., Du, S., Wen, Y., and Li, D., 2021. Trace and rare earth element evidence for the provenances of aeolian sands in the Mu Us Desert, NW China. *Aeolian Research*, 50, 100683. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2021.100683>.
- Erfan, Sh., Rezaei, K., Lak, R., and Aleali, S.M., 2020. Evaluation of past climate change in lake Urmia, according to clay minerals. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29, 115, 123–136. [10.22071/GSJ.2020.108300](https://doi.org/10.22071/GSJ.2020.108300). (In Persian).
- Etemad-Saeed, N., Hosseini-Barzi, M., and Armstrong-Altrin, J.S., 2011. Petrography and geochemistry of clastic sedimentary rocks as evidences for provenance of the Lower Cambrian Lalun Formation, Posht-e-badam block, Central Iran. *Journal of African Earth Sciences*, 61, 142–159. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2011.06.003>.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill pres, Texas, 182 p.
- Fralick, P. W., Hollings, P., Metsaranta, R., and Heaman, L. M. 2009. Using sediment geochemistry and detrital zircon geochronology to categorize eroded igneous units: An example from the Mesoarchean Birch-Uchi Greenstone Belt, Superior Province. *Precambrian Research*, 168(1-2), 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2008.05.009>.
- Hashemi Azizi, S.H., Rezaee, P., Moussavi Harami, S.R., Jafarzadeh, M., and Masoodi, M., 2018. provenance of siliciclastic Baqoroq Formation, Central Iran, based on petrography and geochemistry: Implication for the evolution of active margin of south Eurasia. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*, 33(2), 18–40. [10.22108/JSSR.2017.21621](https://doi.org/10.22108/JSSR.2017.21621).
- Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., and Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et cosmochimica acta*, 61(19), 4115–4137. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7).
- He, J., Garzanti, E., Dinis, P., Yang, S., and Wang, H., 2020. Provenance versus weathering control on sediment composition in tropical monsoonal climate (South China)-I. Geochemistry and clay mineralogy. *Chemical Geology*, 558, 119860. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119860>.
- Hossain, I., Roy, K. K., Biswas, P. K., Alam, M., Moniruzzaman, M., and Deeba, F., 2014. Geochemical characteristics of Holocene sediments from Chuadanga district, Bangladesh: implications for weathering, climate, redox conditions, provenance and tectonic setting. *Chinese Journal of Geochemistry*, 33(4), 336–350. DOI:10.1007/s11631-014-0696-9.
- Humphreys, B., Morton, A.C., Hallsworth, C.R., Gatliff, W.R., and Riding, J., 1995. An integrated approach to provenance studies: A case example from the Upper Jurassic of the Central Graben, North Sea, In: developments in sedimentary provenance studies (eds. Morton A.C., Todd S.P., Haughton, P.D.W.), published by the Geological Society of London, 230–251. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1991.057.01.19>.
- Jafarzadeh, M., Harami, R.M., Amini, A., Mahboubi, A., and Farzaneh, F., 2014. Geochemical constraints on the provenance of Oligocene–Miocene siliciclastic deposits (Zivah Formation) of NW Iran: implications for the tectonic evolution of the Caucasus. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(10), 4245–4263. DOI:10.1007/s12517-013-1018-y.
- Khanehbad, M., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Nadjafi, M., and Mahmudi Gharaie, M.H.M., 2012. Geochemistry of Carboniferous Sandstone (Sardar Formation), East-Central Iran: Implication for Provenance and Tectonic setting, *Acta Geologica Sinica*, 86, 1200–1210. DOI:10.1111/j.1755-6724.2012.00741.x.
- Khannazer, N.H., Saidie, A., 2014. *Geological map of Urmia Lake, 1:100000, Geological Survey of Iran (In Persian)*.
- Mahu, E., Asiedu, D. K., Nyarko, E., Hulme, S., Coale, K. H., and Anani, C. Y., 2018. Provenance, paleo-weathering and-redox signatures of estuarine sediments from Ghana, Gulf of Guinea. *Quaternary International*, 493, 176–186. <http://ugspace.ug.edu.gh/handle/123456789/30920>.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniell, D.K., and Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Special Papers-Geological Society of America*, 21–21. <https://doi.org/10.1130/SPE284-p21>.

- Mirzapour, B., Lak, R., Aleali, M., Djamali, M., and Shahbazi, R., 2020. Mineralogical reconstruction of Late Pleistocene – Holocene climate and environmental changes in southern wetlands of Lake Urmia, Geopersia, 11 (1), 205-218. 10.22059/GEOPE.2020.306217.648565.
- Mirzapour, B., Lak, R., Aleali, M., Djamali, M., and Shahbazi, R., 2021. Identifying the effects of climate changes on sedimentary environments and determining the sedimentation rate of south wetlands of Lake Urmia during Late Pleistocene – Holocene. Pollution, 7 (1), 113-127. 10.22059/POLL.2020.309171.891.
- Mirzapour, B., Lak, R., Aleali, M., Djamali, M., and Shahbazi, R., 2020. *Sedimentology and sedimentary environments of South and southwestern wetlands of Lake Urmia. Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 29, 116, 253-264. 10.22071/GSJ.2020.114221. (In Persian).
- Moayyed, M., Moazzen, M., Calagari, A. A., Jahangiri, A., and Modjarrad, M., 2008. Geochemistry and petrogenesis of lamprophyric dykes and the associated rocks from Eslamy peninsula, NW Iran: Implications for deep-mantle metasomatism. *Chemie der erde*, 68, 141-154. <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2006.04.002>.
- Moore, F., Forghani, G., and Qishlaqi, A., 2009. Assessment of heavy metal contamination in water and surface sediments of the Maharlu Saline Lake, sw Iran. *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction*, 33, 43-55.
- Nesbitt, H., and Young, G.M., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *nature*, 299(5885), 715-717. DOI:10.1038/299715a0.
- Nosrati, K., Moradian, H., Dolatkordestani, M., Mol, L., and Collins, A.L., 2022. The efficiency of elemental geochemistry and weathering indices as tracers in aeolian sediment provenance fingerprinting. *Catena*, 210, 105932. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105932>.
- Nowrouzi, Z., Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Mahmudy Gharaie, M.H., and Ghaemi, F., 2014. Petrography and geochemistry of Silurian Niur sandstones, Derenjal Mountains, East Central Iran: implications for tectonic setting, provenance and weathering. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(7), 2793-2813. DOI:10.1007/s12517-013-0912-7.
- Pourkermani, M., and Seddigh, H., 2003. *Geomorphological features of Tabriz Fault. Geography and Development*, 2, 37-44. (In Persian).
- Ramos-Vázquez, M.A., and Armstrong-Altrin, J.S., 2019. Sediment chemistry and detrital zircon record in the Bosque and Paseo del Mar coastal areas from the southwestern Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 110, 650-675. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.07.032>.
- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Francois, P., Kosmopoulos, P.G., and Legrand, M., 2015. Dust storm dynamics over sistian region, Iran: Seasonality, transport characteristics and affected areas. *Aeolian Research*, 16, 3548. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.10.003>.
- Reheis, M.C., Budahn, J.R., Lamothe, P.J., and Reynolds, R.L., 2009. Compositions of modern dust and surface sediments in the Desert Southwest, United States. *Journal of Geophysical Research*, 114, 1-20. <https://doi.org/10.1029/2008JF001009>.
- Roser, B.P., and Korsch, R.J., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone–mudstone suites using SiO₂ and K₂O/Na₂O ratio: *Journal of Geology*, 94, 635–650. <https://doi.org/10.1086/629071>.
- Salehipour Millani, A., Lak, R., and Yamani, M., 2021. *The Urmia Lake Level Fluctuations History in Late Pleistocene Gographical Planning of Space Quaterly Journal*, 10, 38, 23-38. 10.30488/GPS.2021.120857.2738. (In Persian).
- Shahrabi, M., 1994. *Geological description of Urmia sheet, 1:250000, Geological Survey of Iran. (In Persian)*.
- Suttner, L.J., and Dutta, P.K., 1986. Alluvial sandstone composition and paleoclimate; I, Framework mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 56(3), 329-345. <https://doi.org/10.1306/212F8909-2B24-11D7-8648000102C1865D>.
- Taheri, A., Jafarzadeh, M., Armstrong-Altrin, J., and Mirbagheri, S.R., 2018. Geochemistry of siliciclastic rocks from the Shemshak Group (Upper Triassic–Middle Jurassic), northeastern Alborz, northern Iran: implications for palaeoweathering, provenance, and tectonic setting. *Geological Quarterly*, 62(3), 522-535. DOI: <https://doi.org/10.7306/gq.1433>.
- Taylor S.R., and McLennan S.M., 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. Blackwell Scientific Publication, Carlton, 312 p.
- Taylor, S.R., and McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. *Review Journal of Geophysics*, 33, 165-241. <https://doi.org/10.1029/95RG00262>.
- Tripathy, G.R., Singh, S.K., and Ramaswamy, V., 2014. Major and trace element geochemistry of Bay of Bengal sediments: Implications to provenances and their controlling factors. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 397, 20-30. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2013.04.012>.
- Wronkiewicz, D.J., and Condie, K.C., 1987. Geochemistry of Archean Shales from the Witwatersrand Supergroup, South Africa: 421. Source Area Weathering and Provenance. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 51, 2401-2416. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(87\)90293-6](https://doi.org/10.1016/0016-7037(87)90293-6).
- Xiao, S., Liu, W., Li, A., Yang, S., and Lai, Z., 2010. Pervasive autocorrelation of the chemical index of alteration in sedimentary profiles and its palaeoenvironmental implications. *Sedimentology*, 57(2), 670-676. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2009.01113.x>.

- Yang, S.Y., Lim, D.I., Jung, H.S., and Oh, B.C., 2004. Geochemical composition and provenance discrimination of coastal sediments around Cheju Island in the southeastern Yellow Sea. *Marine Geology*, 206(1-4), 41-53. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2004.01.005>.
- Zand-Moghadam, H., Moussavi Harami, R., Mahboubi, A., and Rahimi, B., 2013. Petrography and geochemistry of the Early- Middle Devonian sandstone of the Padeha Formation in the north of Kerman, SE Iran. Implication for provenance. *Boletín del Instituto de Fisiografía y Geología*, 83, 1-14.