

Research Article

Sedimentology and identification of heavy element enrichment factors in shallow deposits of Chabahar coasts

Mohyeddin Ahrari-Roudi *

Assistant Professor, Department of Oceanography, Faculty of Marine Sciences, Chabahar Maritime University.

Keywords: *Shallow sediments, Granulometry, Element enrichment, Chabahar, SE of Iran.*

1- Introduction

The study area is located between latitudes 25° and 14' to 25° and 26' north and longitudes 60° and 21' to 60° and 50' east in the north of the Oman Sea and south of Sistan and Baluchestan province. The study area is one area that, due to particular climatic and geological conditions such as sea-level fluctuations during different geological periods, weathering and erosion processes, and tectonic activities, has unique. The general features of this section are the presence of ophiolite assemblages, sedimentary deposits with flysch facies and the absence of outcrops of rocks older than the Cretaceous (McCall, 2002). Ophiolite complexes of the region, more and more or less continuous strips, are often outcrops along the main longitudinal fault. Normal faulting that occurs along the coast suggests a trench-parallel structural discontinuity that is not well understood (Dolati, 2010). Type of deposits and dynamics of the factors affecting the concentration and fate of the elements in them. In coastal areas with low hydrodynamic energy, the particles tend to sink and accumulate, while in areas with high hydrodynamic energy, particles are washed and moved to the far side of the beach. Therefore, according to previous research in this field, fewer studies have been done. Since the development of Makran beaches is on the government's agenda and the southeastern coast of Iran is considered the most strategic region of the country, it is necessary to have a more accurate scientific situation regarding sedimentation processes in these coasts. Therefore, according to previous research and since the development of Makran beaches is on the Islamic Republic of Iran's agenda and the southeastern coast of Iran is the most strategic region of the country, the need for this research is doubled.

2- Material and methods

Methods in this study included library studies, field operations, laboratory, statistics, interpretation, and conclusions. In library studies, maps, articles, books, reports, and research projects related to the subject were tried to be collected and studied. During field operations, to study the geochemical and sedimentological properties of coastal sediments in seven stations between Gowater and Pozm on the coast of Chabahar were selected. Then 23 sediment samples from these areas were manually collected, and from each harvest, two samples were packed in separate plastic bags and labeling. One package of these samples was grouped for sedimentological studies, and the other package for geochemical analysis. In order to granulometry and statistical calculations of sedimentary texture was used to Sediment Size software. The sample was placed in a series of sieves of the Analysette 30 model, and the different grain sizes were separated from each other in a wet method for 30 minutes (Moussavi Harami, 2014, Rao et al. 2019, Alabdeh et al., 2019), and particles smaller than 63 microns were analyzed by laser particle sizer. The samples were sent to the laboratory complex of Karaj affiliated to Iran's Geological Survey for geochemical analysis (Benmoussa et al., 2019). ICP-OMS and ICP OES performed elemental analyzes. SPSS23

* Corresponding author: m.ahrari@cmu.ac.ir

DOI:10.22055/AAG. 2021.35783.2183

Received 2020-12-06

Accepted 2021-01-24

software was used to determine the origin and classification of elements, calculations related to the correlation coefficient, cluster diagram, and factor test. Finally, the necessary conclusions and interpretations were made.

3- Results and discussions

Based on sedimentological studies and the study of sediment size according to the triangular diagram of Folk (1974) in the sediments of the study area, 12 sediment types were identified as the predominant type of sandstone sediments and are divided into two facies categories (Muddy facies and Sandy facies). The sedimentological studies show that sediment grains are good in sand size, sorting, and rounding and do not have a clay matrix formed in a tidal sedimentary environment. The most crucial detrital sediment particles include clay minerals, quartz, feldspar, rock fragment, and minerals. The most important biochemical (skeletal) sediment components within the study area's sediments are parts and fragments of bivalve oysters, gastropods, echinoderm, bryozoan, and microfossils. Chemical analyses show the abundance of chromium, nickel, zinc, and lead in the seven studied stations. The order of increasing the concentration of heavy metals in the sediments of the study area is $Cd < Cu < Pb < Zn < Ni < Cr$. Among the heavy metals of the studied sediments, chromium, nickel, and lead metals have the highest 96.9, 55.3, and 11.2, respectively. It seems that weathering and dissolution of supermagmatic rocks, especially ophiolites forming the dominant lithology of the Makran region and their transfer by Parak River during rainfall is one of the main factors in enriching sediments in the region with chromium and nickel metals (Ahrari-Roudi, 2017). The analysis performed on these data indicates that the elements are in four main origins [Including geogenic (Extra-basin), biochemical, anthropogenic (Anthropogenic), and chemical (Evaporate)] that are near related to each other.

4- Conclusion

Granulometry analysis of sediment particles in the study area represents twelve sediment types that are the predominant type of sandy sediments. These sedimentary categories were divided into two facies categories, including mud facies and sand facies.

The percentage of sediment particles confirms that particles in clay size are the most abundant sediment components, and particles in gravel, sand, and silt sizes are in the next order, respectively.

Sand-sized sediments extend further along the coastline of Chabahar Bay. Coastal sands have good sorting and rounding, negative skewness, and no matrix, which confirms the texture's maturity and represents a high-energy environment.

The components of sediments are divided into skeletal and non-skeletal components. The most essential skeletal (biochemical) sediment components in sediment samples are fossil fragments such as bivalves, gastropods, shredded crabs, echinoderms, coral fragments, foraminifera, etc., and so the most critical non-skeletal components include organic matter. Evaporative minerals (gypsum and halite), wood parts, mud flocks, quartz, and rock fragments are of sandstone and calcareous type.

A dual sedimentation regime has been prevailing in the coastal study area, which means that carbonate deposition occurs when the sea level rises and clastic deposition stops. When the sea-level falls and clastic particles enter the sedimentary basin, carbonate deposition is stopped, and clastic deposition occurs. The order of increasing the concentration of heavy metals in the sediments of the study area is $Cd < Cu < Pb < Zn < Ni < Cr$. Among the heavy metals of the studied sediments, chromium, nickel and lead metals have the highest concentrations of 96.9, 55.3 and 11.2, respectively. The heavy metals lead and zinc along with copper show a relatively similar trend. The concentration of most heavy metals in the studied sediments is normal and their average concentration in the crust (oceanic and continental) or less.

One of the important findings of the present study is to suggest four sources of element enrichment in Chabahar coastal sediments, including geogenetic, biochemical, anthropogenic and chemical origins.

5- References

Ahrari-Roudi, M., 2017. A Study on Tectonic and Sedimentology in Order to Fault Rupture Potential in Coasts the Makran Sea. Open Journal of Geology 7, 1269-1286. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.79084>

- Alabdeh, D., Karbassi, AR., Omidvar, B., Sarang, A., 2019. Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology* 17, 1411–1424. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02471-8>
- Benmoussa, T., Amrouni, O., Dezileau, L., Mahé, G., Chiarella, D., Abdeljaouad, S., 2019. Recent geochemical and grain size distribution of terrestrial sediment in coastal area from the watershed of Medjerda River, Gulf of Tunis. In: Boughdiri, M., Bádenas, B., Selden, P., Jaillard, E., Bengtson, P., Granier, B., (Eds.), *Paleobiodiversity and Tectono-Sedimentary Records in the Mediterranean Tethys and Related Eastern Areas*. CAJG 2018. *Advances in Science, Technology & Innovation*. Springer, pp. 347- 351. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01452-0_83.
- Dolati, A., 2010. *Stratigraphy, Structure Geology and Low-Temperature Thermochronology across the Makran Accretionary Wedge in Iran*. PhD Thesis, ETH, Zurich, Zurich. p. 309.
- Folk, R.L., 1974. *Petrology of sedimentary Rock*: Hemphill publishing Co., Austin, Texas. P. 182.
- McCall, G.J.H., 2002. A Summary of the Geology of the Iranian Makran. In: Clift, P.D., Kroon, F.D., Gaedecke, C., Craig, J., (Eds.), *The Tectonic and Climatic Evolution of the Arabian Sea Region*, Special Publication 195, Geological Society, London. pp. 147-204.
- Moussavi Harami, R., 2014, *Sedimentology*, Behnashr Publications. p. 476 (in Persian).
- Rao, P.G., Reddy, K.S.N., Sekhar, C.R., Naidu, K.B., Krishna, K.M., Reddy, G.V.R., 2019. Provenance studies of ilmenite from Red Sediments, Bhimunipatnam Coast, East Coast of India. *Journal of the Geological Society of India* 93(1), 101-108. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1128-6>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Ahrari-Roudi, M., 2023. Sedimentology and identification of heavy element enrichment factors in shallow deposits of Chabahar coasts. *Adv. Appl. Geol.* 12(4), 844-865.

DOI: 10.22055/AAG. 2021.35783.2183

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_17941.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

رسوب شناسی و شناسایی عوامل غنی سازی عناصر سنگین در نهشته‌های کم عمق سواحل چابهار

محی الدین احراری رودی

استادیار، گروه اقیانوس شناسی، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار، ایران

m.ahrari@cmu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۶

چکیده

آگاهی از دانه‌بندی رسوبات ساحلی نقش مهمی در انجام مطالعات مربوط به ساماندهی و تحلیل رفتار آبهای ساحلی ایفا می‌کند. هدف از انجام این تحقیق شناسایی ویژگی‌های رسوبی و تعیین منشاء و شناسایی عوامل غنی‌سازی عناصر شیمیایی موجود در رسوبات کم‌عمق سواحل چابهار است. روش پژوهش در این مطالعه شامل مطالعات کتابخانه‌ای، عملیات میدانی، آزمایشگاهی، پردازشی و نتیجه‌گیری بوده است. آنالیزهای عنصری به روش ICP-OES و ICP-OMS انجام شد. به منظور دستیابی به برآورد دقیق از توزیع اندازه ذرات، مراحل دانه‌سنجی، محاسبات آماری و ترسیم نمودارها با نرم افزار رسوب‌شناسی Sediment Size انجام شد. برای دسته‌بندی عناصر، محاسبات مربوط به ضریب همبستگی، نمودار خوشه‌ای و آزمون فاکتوری، از نرم افزار SPSS23 استفاده گردید. در این تحقیق ۱۲ رخساره‌های رسوبی شامل دو گروه رخساره‌های ماسه‌ای و رخساره‌های گلی شناسایی شد. نتایج نشان می‌دهند که در منطقه مورد مطالعه، یک رژیم دوگانه رسوب‌گذاری حاکم می‌باشد به این معنی که در زمان بالا آمدن سطح آب دریا، رسوب‌گذاری کربنات‌ها رخ داده و رسوب‌گذاری تخریبی متوقف می‌شود و در زمان پایین رفتن سطح آب دریا و ورود ذرات تخریبی به حوضه رسوبی، رسوب‌گذاری کربنات متوقف شده و رسوب‌گذاری تخریبی صورت می‌گیرد. هم‌چنین ترتیب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه به صورت $Cd < Cu < Pb < Zn < Ni < Cr$ می‌باشد. کروم، نیکل و سرب با میانگین غلظت‌های ۹۶/۹، ۵۵/۳ و ۱۱/۲ دارای بیشترین غلظت در رسوبات بودند. غنی‌سازی عناصر در رسوبات منطقه مورد مطالعه به چهار منشاء ژئوژنیک (زمینی)، بیوشیمیایی، آنتروپوژنیک (زیست‌محیطی) و شیمیایی (نوع تبخیری) مربوط می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: رسوبات کم‌عمق، دانه‌سنجی، غنی‌سازی عناصر، چابهار، جنوب شرقی ایران.

۱- مقدمه

چرخه فرسایشی خشکی‌ها و حمل رسوبات به دریا و فرایند رسوب‌گذاری از جمله پدیده‌های مهم زمین‌شناسی در محیط‌های رسوبی است که به طور مستمر صورت می‌گیرد. هوازدگی، فرسایش، رسوب‌گذاری و بالاخره دیاژنز یا سخت‌شدگی رسوبات، منجر به تشکیل انواع سنگ‌های رسوبی در دریاها و اقیانوس‌ها می‌گردد. این رسوبات مجدداً در چرخه‌ای نو با انباشتگی و چین‌خوردگی از آب خارج شده و تشکیل سرزمینی جدید می‌دهند و بدین ترتیب این تحولات چرخه‌ای همواره پویا باقی می‌مانند. این پویایی در مناطق حاشیه قاره‌ها به دلیل برهم کنش بین آب دریا و آب‌های جاری، نمود بیشتری پیدا می‌کند. در نوارهای ساحلی از پیشینه رسوب برای مستند کردن تغییرات گوناگون استفاده می‌شود

(Benmossa et al., 2019). رودخانه‌های آب شیرین هنگامی که وارد دریا می‌شوند به دلیل تفاوت‌هایی شیمیایی خاص مانند مقاومت یونی کل، اسیدیته و سختی کل، شوری و سایر موارد که با محیط دریایی دارد، برهم کنش می‌کنند و نتیجه این امر، وقوع فرایندهای ته‌نشینی و یا انحلال است. هم‌چنین محیط‌های حاشیه‌ی دریا مناطقی هستند که در آن‌ها برهم کنش‌های مهم دخالت‌های انسان‌زاد رخ می‌دهد (Rao et al., 2019). بنابراین چنین محیط‌هایی به شدت تحت تنش می‌باشند. از این‌رو، زمین‌شیمی اقیانوس آزاد بسیار یکنواخت‌تر از زمین‌شیمی محیط حاشیه‌ی دریاست (Boussen et al., 2013). عناصر فلزی که به طور طبیعی طی چرخه‌های هوازدگی، فرسایش، حمل و نقل و رسوب‌گذاری بصورت طبیعی یا غیرطبیعی به واسطه فعالیت‌های صنعتی وارد رودخانه‌ها و سپس دریا و اقیانوس می‌گردد، مطالعه آنها موضوعی جذاب و مهم است،

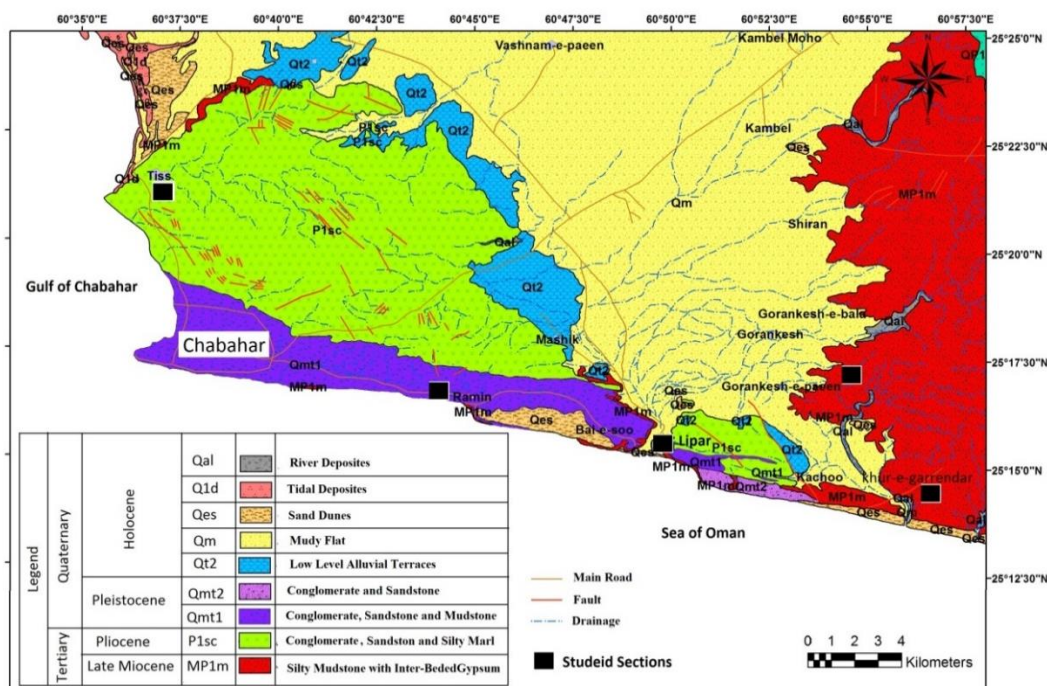
مکران قرار دارد؛ زون مکران از لحاظ ساختاری به دو بخش بیرونی (ساحلی) و درونی تقسیم می‌شود (Roddy, 2010). منطقه مورد مطالعه در بخش بیرونی قرار دارد، البته گستره‌ی پهنه‌ی زمین‌ساختاری مکران ساحلی وسیعتر از منطقه‌ی انتخاب‌شده است (شکل ۱). از ویژگی‌های عمومی این بخش وجود مجموعه‌های افیولیتی، نهشته‌های رسوبی با رخساره فلیش و عدم بروز سنگهای قدیمی‌تر از کرتاسه است (McCall, 2002). مجموعه کمپلکس‌های افیولیتی منطقه، بیشتر به صورت نوارهای باریک و کم و بیش پیوسته‌ای هستند که اغلب در امتداد گسل‌های طولی اصلی رخمون دارند (Aghanbati, 2010). از طرف دیگر، منطقه مورد مطالعه از جمله مناطقی است که به دلیل شرایط خاص اقلیمی و زمین‌شناسی از جمله نوسانات سطح آب دریا در طی زمان‌های مختلف زمین‌شناسی، فرایندهای هوازدگی و فرسایش و نیز فعالیت‌های زمین‌ساختی ناشی از فروانش ورقه اقیانوسی هند و بالا آمدگی ورقه مکران، ساختارهای منحصر به فردی داشته و به طور عمده از سنگ‌های رسوبی آواری تشکیل شده است (Dolati, 2010). واحدهای سنگی مختلف در منطقه‌ی ساحلی و خشکی‌های مشرف به دریا شامل واحدهای مارنی به سن میوسن، واحدهای مارنی و ماسه سنگی میوسن-پلیوسن، لوماشل‌های پلیستوسن، رسوبات ماسه‌ای و سیلتی مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات عهد حاضر حاوی صدف‌های فسیلی می‌باشد.

به طور کلی توالی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه از چهار بخش واحدهای سنگی میوسن، واحدهای سنگی میو-پلیوسن، واحدهای سنگی پلیوسن و واحدهای سنگی کواترنر تشکیل شده است که تحت عنوان واحدهای نئوژن و کواترنری شناخته می‌شوند. نهشته‌های کواترنر در مکران ساحلی، رسوبات پس از پلیوسن هستند که در ستون چینه‌شناسی روی کنگلومرای پلیوسن قرار می‌گیرند، اما در منطقه مورد مطالعه شامل مناطق پست ساحلی می‌باشند. رسوبات آبرفتی هولوسن در سراسر منطقه ساحلی گسترش دارند. بخش مهم دیگری از جمله مهمترین خورهای ساحلی می‌توان به خورهای یزم، کنارک، پارک، شور، تیس، تیاب، رمین، لیپار و گواتر اشاره کرد. بیشترین ساخت‌های رسوبی در نهشته‌ای خورها، ترک‌های گلی، آثار زیست‌آشفته‌گی و فعالیت موجودات حفار می‌باشند.

بنابراین با مطالعات زمین شیمیایی می‌توان حجم ورود این عناصر و میزان تمرکز آنها در رسوبات ساحلی و بستر دریاها تخمین زد (Bertolotto, 2005). از طرفی دیگر، مطالعات دانه‌بندی رسوبات نقش بسیار مهمی در غلظت عناصر در رسوبات ساحلی و دریایی دارد (Ungaro et al., 2008). با این حال Ungaro و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که رابطه بین میزان سیلت و رس در رسوب و غلظت فلزات، گاهی پیچیده بوده و به سادگی نیست. برای مثال در برخی رسوبات دریایی، رس و سیلت بهم چسبیده و تولید ذرات درشت‌تری می‌نمایند که در جذب و یا انحلال عناصر از قانون فوق پیروی نمی‌کنند. نوع رسوبات و مکانیک حرکت آنها نیز از عوامل تأثیرگذار بر روی غلظت و سرنوشت عناصر موجود در آنها می‌باشند. بطور کلی فلزات اغلب در رسوبات ریزدانه (رس و سیلت) متمرکز می‌گردند که دارای قطر کمتر از ۶۳ میکرون می‌باشند. این امر به دلیل خواص جذب‌کنندگی قوی کانی‌های رسی است (Nosrati et al., 2011; Mehdi pour et al., 2015). نواحی ساحلی که دارای انرژی هیدرودینامیک پایینتری هستند، ذرات ریز تمایل به ته‌نشینی و انباشت دارند، در حالیکه در نواحی با انرژی هیدرودینامیکی بالا ذرات ریز شسته می‌شوند و به سمت دور از ساحل حرکت می‌کنند (Ansarian, 2015). بررسی وضعیت توزیع اندازه ذرات و پارامترهای بافت رسوبی ذرات (مانند جورشدگی، گردشدگی، کرویت، کج شدگی و کشیدگی)، تعیین درصد وزنی عناصر سنگین و فلزی، غنی شدگی این عناصر، منشأ یابی و قابلیت آلاینده‌گی رسوبات کم عمق ساحلی چابهار، اهداف مهم این تحقیق می‌باشند. لذا با توجه به تحقیقات انجام شده قبلی و از آنجاییکه توسعه سواحل مکران در دستور کار حاکمیت جمهوری اسلامی ایران قرار گرفته و سواحل جنوب شرق ایران به عنوان استراتژیک ترین منطقه کشور مطرح است، ضرورت این تحقیق را دو چندان می‌نماید.

۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بین عرض‌های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۲۵ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۶۰ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی در شمال دریای عمان و جنوب استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. از دیدگاه زمین‌شناسی این محدوده در زون زمین‌شناسی



شکل ۱- نقشه زمین شناسی سواحل مکران (خلاصه شده بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ چاپهار) (Samadian Jafarian, 1996).

Fig. 1. Geological map of Makran beaches (summarized based on 1: 100,000 Geological map of Chabahar), Samadian and Jafarian, 1996.

۳- مواد و روش ها

در این تحقیق، مطالعات کتابخانه‌ای و اسنادی، عملیات میدانی، آزمایشگاهی، پردازش‌های رایانه‌ای و نتیجه‌گیری به عنوان اصلی‌ترین روش انجام کار بوده است. در مطالعات کتابخانه‌ای ابتدا سعی گردید کتب، مقالات، گزارش‌های پژوهشی، نقشه‌ها و آنچه مرتبط با موضوع بود، جمع‌آوری و مطالعه گردد. در عملیات میدانی و مطالعات صحرایی، بازدیدهای زمین شناسی، عکس برداری از ساختارهای رسوبی و سپس انتخاب محل مغزه‌گیری و انجام آن صورت گرفت. نمونه‌های جمع‌آوری شده از مناطق ساحلی لیپار، تیس، شور، پارک، آب شیرین‌کن، کنارک و پزم در طول نوار ساحلی جنوب کشور برداشت گردید. از روش غربال کردن برای جداسازی بخش ماسه‌ای و دانه‌ریز استفاده شد. در این روش ۵۰۰ گرم از هر نمونه در دو کیسه پلاستیکی جداگانه بسته‌بندی و برچسب زده شد. یک بسته از این نمونه‌ها جهت مطالعات رسوب‌شناسی و بسته دیگر به منظور آنالیزهای زمین شیمی گروه‌بندی شدند. با توجه به اینکه این مناطق محدوده رسوبگذاری فعال بوده و بیشترین گسترش

رسوبی را دارند، نمونه‌برداری کل سواحل منطقه مورد مطالعه را پوشش داده است. برای بررسی خصوصیات زمین‌شیمیایی و رسوب‌شناسی رسوبات ساحلی هفت ایستگاه حد فاصل بین گوآتر و پزم در سواحل چاپهار، تعداد ۲۳ نمونه رسوبی از مناطق کم عمق ساحلی به صورت دستی از هفت ایستگاه در سواحل چاپهار برداشت و هر نمونه در دو کیسه پلاستیکی جداگانه بسته‌بندی کدگذاری شد. یک گروه از این نمونه‌ها جهت مطالعات رسوب‌شناسی و گروه دیگر به منظور آنالیزهای زمین‌شیمی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). این مشخصات شامل نام محل برداشت، طول و عرض جغرافیایی، عمق برداشت و توصیف کلی موقعیت برداشت هر نمونه می باشد. همچنین در شکل ۲ موقعیت جغرافیایی نمونه‌های برداشت شده نشان داده شده است. با توجه به اینکه رسوبات ساحلی مورد مطالعه احتمالاً متأثر از رسوبات حمل شده از دریای عمان و رسوباتی که توسط رودخانه‌های فصلی وارد دریا می‌گردند و نیز ته نشست‌های درون حوضه و رسوبات بادی می باشند، سعی گردید نمونه‌برداری هم از بخش ساحلی و هم دهانه خورهای ساحلی شود.

جدول ۱- اختصاصات مکانی نمونه‌های جمع آوری شده در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Spatial characteristics of the samples collected in the study area

Place of harvest	Longitude and latitude	Depth of harvest (cm)	Sample No	Description of sample collection location
Lipar	N 25° 15' 28" & E 60° 49' 47"	600	L-1	The sample was taken from the distance between the Lipar lagoon and the coastline (without polluting factors) but it is expected that the waters of the lagoon will affect the geochemistry of the sample.
Tis	N 25° 21' 36" & E 60° 38' 23"	160	T-2	The sample was taken from the northern part of Tis fishing pier. Due to the high traffic of fishing boats in this wharf, the pollution caused by painting and changing the oil and refueling the boats has had a great impact on the pollution of the area. However, the studied sample was taken from the depths and no trace of apparent pollution was observed in it.
Shoor	N 25° 25' 40" & E 60° 36' 16"	634	Sh-3	The Shoor estuary is formed at the mouth of the seasonally salty river, which brings the waters of the surrounding lands into Chabahar Bay during rains. At the place where the river joins the sea, many salt ponds have been created by the natives of the region to extract sea salt. It is possible that the sediment carried by the Salt River and the presence of these salt ponds have a great impact on the sedimentology and geochemistry of the samples collected from this area.
	N 25° 25' 36" & E 60° 38' 23"	200	Sh-4	
	N 25° 25' 33" & E 60° 38' 19"	900	Sh-5	
	N 25° 25' 34" & E 60° 38' 19"	435	Sh-6	
	N 25° 25' 35" & E 60° 38' 20"	515	Sh-7	
	N 25° 24' 32" & E 60° 37' 53"	460	Sh-8	
Parak	N 25° 26' 44" & E 60° 34' 11"	300	P-9	The estuary of the Parak is like Shoor estuary that formed at the entrance of the seasonal river to Chabahar Bay. The Parak's seasonal river, which enters the sea at this place, travels a greater distance than the Shoor River, and before entering the Chabahar Bay, it is blocked by the Parak's earth dam. The samples collected from this area are also likely to be affected by the geochemistry of the seasonal Parak river water and its sediment load. As it is known, the samples collected from this area were taken from a deeper depth to investigate the effect of rainfall in different seasons.
	N 25° 26' 38" & E 60° 34' 14"	650	P-10	
	N 25° 26' 16" & E 60° 33' 48"	250	P-11	
	N 25° 26' 23" & E 60° 33' 50"	360	P-12	
	N 25° 26' 26" & E 60° 33' 47"	415	P-13	
	N 25° 26' 21" & E 60° 33' 51"	500	P-14	
	N 25° 26' 19" & E 60° 33' 47"	120	P-15	
	N 25° 26' 20" & E 60° 33' 46"	160	P-16	
Abshirinkon	N 25° 26' 37" & E 60° 32' 09"	235	A-17	The desalination plant is the largest unit for the production of fresh water from salty sea water in the region, which re-introduces its waste water into the sea water. Although it has been tried so that the collected samples are not affected by the pollution from the factory effluent, there is a possibility of this pollution affecting the geochemistry of the studied samples.
	N 25° 26' 36" & E 60° 31' 29"	105	A-18	
	N 25° 26' 20" & E 60° 29' 21"	580	A-19	
	N 25° 26' 19" & E 60° 29' 20"	505	A-20	
Konarak	N 25° 24' 15" & E 60° 25' 04"	380	K-21	This sample was taken from the shores of Konarak. This area is affected by human activities. Therefore, there is a possibility of contamination of the sample by anthropogenic.
Pozm bay	N 25° 21' 36" & E 60° 20' 18"	645	Z-22	Pozm Bay is another omega-shaped Coasts of the Makran coast that is expanding. The samples collected from this area are very fresh and intact. Probably, the geochemistry of these samples is affected by the waters of the Oman Sea.
	N 25° 21' 34" & E 60° 19' 15"	650	Z-23	



شکل ۲- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه برداری
Fig. 2. Geographical location of sampling stations

ذرات بدست آورد. این روش آنالیزی سریع، نسبتاً ارزان و غیر مخرب برای اندازه‌گیری توزیع اندازه ذرات است (Moussavi-Harami, 2014). از این روش برای اندازه‌گیری ذراتی که- اندازه آنها بیش از ۱۰ میکرومتر است کاربرد دارد. در نهایت رسوب همگن و الک شده (قطر کمتر از ۶۳ میکرون) جهت تجزیه شیمیایی به آزمایشگاه سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور واقع در کرج ارسال گردید. تجزیه شیمیایی نمونه- ها به روش ICP- OMS مدل JY 70 PLUS و ICP- Optical Emission Spectrometer مدل Varian735-ES انجام شده است. سپس داده‌های بدست آمده از مطالعات رسوب شناسی با استفاده از نرم افزار Sediment Size و داده‌های زمین‌شیمی با استفاده از نرم افزار SPSS23 مورد پردازش‌های لازم قرار گرفتند. در این مرحله با استفاده از نرم افزار رسوبی، جداول درصد وزنی رده‌های رسوبی، نمودارهای دانه بندی و نامگذاری آنها صورت گرفت و با استفاده از نرم افزار آماری، محاسبه ضریب همبستگی، دسته بندی خوشه ای (Cluster Analyses) و آزمون فاکتوری (Factor Analyses) انجام شد. در نهایت تجزیه و تحلیل، تفسیر و نتیجه گیری‌های لازم انجام گرفت.

۴- نتایج و بحث

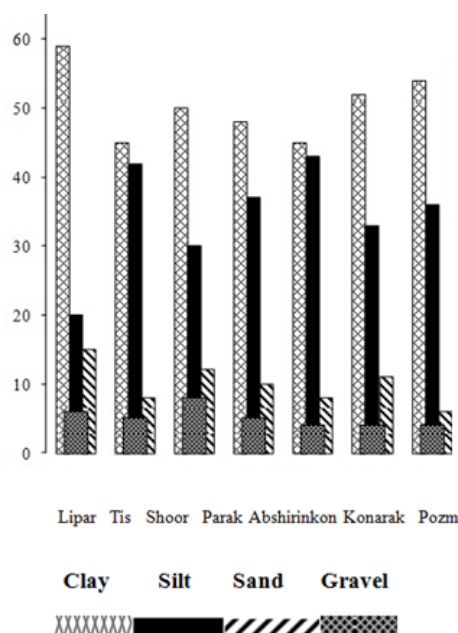
۴-۱- آنالیزهای رسوبی

آنالیز توزیع دانه‌های رسوبی برای مقایسه نمونه‌های مختلف با هم از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا به این روش می‌توان به ویژگی‌های مختلف رسوبات و فرایندهایی که باعث تشکیل آنها گردیدند پی‌برد (Moussavi-Harami, 2014). همچنین

به منظور انجام مطالعات رسوب‌شناسی و بررسی بلوغ بافتی و پارامترهای رسوبی مانند جورشدگی، گردشدگی، کرویت، کج‌شدگی، کشیدگی، میانه و میانگین اندازه ذرات رسوبی، ابتدا با استفاده از الک و شیکر، مراحل دانه‌بندی نمونه‌ها انجام شد. سری غربال استفاده‌شده شامل تعداد شش غربال که از بالا به پایین در اندازه‌های ۲ میلی‌متر، ۱ میلی‌متر، ۵۰۰ میکرون، ۲۵۰ میکرون، ۱۲۵ میکرون و ۶۳ میکرون می‌باشند. سپس ذرات ریز تر از ۲۵۰ میکرون انتخاب و ۲۰۰ گرم از هر نمونه جدا شده و به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر قرار گرفت تا دانه‌های چسبیده از همدیگر جدا گردند. سپس برای جلوگیری از اتصال رس‌ها و نیز عدم خرد شدن پوسته‌های صدفی نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در همزن فراصوتی قرار داده شدند. سپس نمونه‌ها در داخل یک سری غربال مدل Analysette 30 قرار گرفته و به روش تر به مدت ۳۰ دقیق اندازه‌های مختلف دانه‌ها از یکدیگر جدا شدند. این نمونه‌ها پس از خشک شدن در داخل آون با ترازوی دیجیتال توزین شده (Wentworth, 1922; Folk, 1974) و ذرات ریزتر از ۶۳ میکرون در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور مورد آنالیزهای دانه‌بندی لیزری قرار گرفتند. به این معنی که آخرین سینی در الک و شیکر ذرات بسیار دانه ریزند (کمتر از ۶۳ میکرون) از روش لیزی با دستگاه Laser Particle Sizer سازمان مذکور استفاده شد. اندازه ذرات با استفاده از روش پراکندگی استاتیک نور لیزر روبشی براساس الگوی نور پراکنده شده بر روی آشکارساز انجام شد. این الگوی نور پراکنده شده مجموعه‌ای از الگوهای پراکندگی است که توسط هر یک از ذرات ایجاد می‌شود (Tucker, 2001). بوسیله این الگوی پراکندگی، می‌توان اطلاعاتی از اندازه

قطعات خرده های فسیلی در ماسه های ساحلی می تواند علت این موضوع باشد. ذرات آواری از قبیل کوارتز، خرده سنگ های تخریبی و ذرات بیوشیمیایی (قطعات صدف های دوکفه ای، خارپوست، بریوزوآ و گاستروپودها) از دیگر اجزاء تشکیل دهنده رسوبات می باشند. علاوه بر اجزای اسکلتی و غیراسکلتی در نمونه های رسوبی در بخش های مختلف این مغزه ها مواد آلی، کانی های تبخیری (ژیپس و هالیت)، قطعات چوب، لامینه بندی گلی و افق های قرمز رنگ (احتمالاً اکسیداسیون) شناسایی شدند. بر این اساس و با توجه به نمودارهای مثلی طبقه بندی رسوبات دانه درشت و دانه ریز (Folk, 1974) در رسوبات مورد مطالعه، ۱۲ رده رسوبی (شامل گل، ماسه، گل با کمی گراول، ماسه با کمی گراول، ماسه گلی با کمی گراول، گل ماسه ای، ماسه گلی گراولی، گل ماسه ای گراولی، گل ماسه ای، ماسه گلی گراولی، گل ماسه ای گراولی و گل گراولی) شناسایی شدند که تیپ غالب رسوبات گل ماسه ای می باشد. این رده های رسوبی به دو دسته رخساره ای شامل رخساره های گلی (رخساره های گلی، گل با کمی گراول، گل ماسه ای با کمی گراول، گل ماسه ای، گل ماسه ای گراولی، گل ماسه ای گراولی و رخساره های ماسه ای (رخساره های ماسه ای، ماسه با کمی گراول، ماسه گراولی، ماسه گلی، ماسه گلی با کمی گراول و ماسه گلی گراولی) تقسیم بندی شدند.

عوامل محیط رسوبی مانند عمق حوضه، درجه حرارت، درجه شوری، بستر زیست و میزان آشفستگی، پراکندگی و گسترش موجودات در محیط های کربناته را می توان با شناسایی ذرات اسکلتی کنترل نمود (Adabi, 2004). همانگونه که در روش تحقیق بیان شد تمامی نمونه های برداشت شده از ایستگاه های مورد مطالعه آنالیزهای توزین، توزیع و دانه بندی انجام شد و نمودارهای لازم ترسیم گردید. شواهد صحرایی و توپوگرافی رخنمون های سنگی، نشان می دهد که وجود ذرات تخریبی از فرسایش ارتفاعات بالادست حاصل شده و توسط فرایندهای آبی و بادی وارد حوضه رسوبی شده اند. یافته های حاصل از این مطالعات نشان داد که اجزاء رسوبی تخریبی در اندازه های گراول، ماسه، سیلت و رس هستند. آنالیز درصد فراوانی ذرات رسوبی منطقه مورد مطالعه، معرف ذرات در اندازه رس با فراوانترین اجزای رسوبی بوده و ذرات در اندازه های گراول، ماسه و سیلت به ترتیب در مرتبه های بعدی قرار می گیرند (شکل ۳). وجود رس بالا در نمونه ها، موید عدم بلوغ بافتی در رسوبات است. در رسوبات مورد مطالعه با افزایش مقدار جورشدگی در رسوبات، مقدار کج شدگی به حالت تقارن نزدیکتر می شود. آنالیز نمونه های رسوبی برداشت شده نشان می دهد که ماسه های ساحلی منطقه مورد مطالعه دارای جورشدگی خوب و کج شدگی منفی می باشند (جدول ۱) که احتمالاً وجود مقادیر کمی از



شکل ۳- نمودار ستونی فراوانی ذرات متشکله نمونه های رسوبی در ایستگاه های مختلف منطقه مورد مطالعه

Fig. 3. Frequency diagram of particles composed of sediment samples in sampling stations

جدول ۱- مشخصه‌های رسوب‌شناسی در رسوبات ایستگاه‌های مطالعه‌شده

Table 1. Sedimentological characteristics in the sediments of sampling stations

Station name	Mean	Median	Skewness	Kurtosis	Sorting	Facies
Lipar	1.76	2.3	0.86	0.5	0.67	Gravelly Sand
Tis	1.92	2.2	0.36	1.64	0.42	Slightly Gravelly Sand
Shoor	1.40	2	0.15	1.3	0.37	Sand
Parak	0.61	1.5	-0.04	0.65	0.87	Slightly Gravelly Sand
Abshirinkon	0.5	1.25	0.26	0.99	0.76	Sandy Gravel
Konarak	0.81	1.5	0.05	0.97	0.92	Gravelly Sand
Pozm	1.71	2	0.84	1.23	1.04	Slightly Gravelly Sand
Shoor	1.71	2	0.48	1.23	1.04	Slightly Gravelly Sand

ماتریکس رسی می‌باشند، بلوغ بافتی ضعیف است و از آنجایی که میزان بلوغ بافتی رسوبات به میزان انرژی مکانیکی موجود در محیط در آخرین مراحل رسوب‌گذاری وابسته بوده، لذا در محیط‌های جزر و مدی که مقدار انرژی جنبشی زیاد است، رسوبات دارای بلوغ بافتی بهتری هستند و لذا همواره بین بافت و محیط رسوبی انطباق وجود دارد (Aghasi, 2015; Ahrari, 2017). البته به نظر می‌رسد در منطقه ساحلی مورد مطالعه، یک رژیم دوگانه رسوب‌گذاری حاکم بوده باشد به این معنی که در زمان بالا آمدن سطح آب دریا رسوب‌گذاری کربنات‌ها نهشته شده و رسوب‌گذاری تخریبی متوقف می‌شود و در زمان پایین رفتن سطح آب دریا و ورود ذرات آواری به حوضه رسوبی، رسوب‌گذاری کربنات متوقف شده و رسوب‌گذاری تخریبی صورت می‌گیرد. در مناطق شمال شرق چابهار از جمله خورهای شور و پارک به علت بسته شدن دهانه این خورها که با محدود شدن عرصه یورش جریان‌های مدی همراه هستند، رخساره منطقه بالای جزرومدی رشد نموده و با برجای گذاشتن رسوبات، توسعه ساحلی رخ می‌دهد.

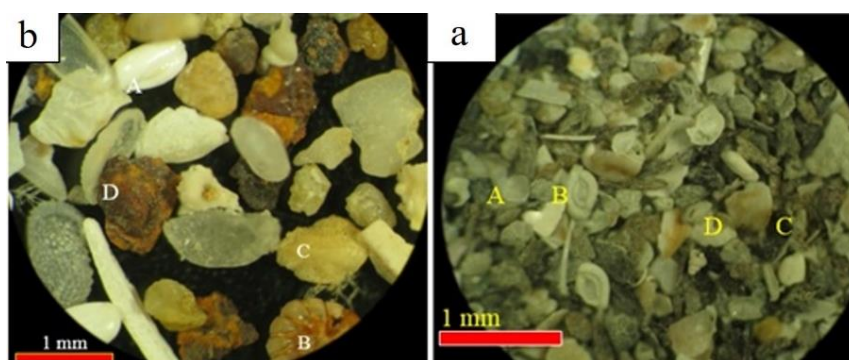
۴-۱-۱- اجزای تشکیل دهنده رسوبات

با توجه به اینکه گونه‌های مختلفی از موجودات در محیط‌های دریایی، لب شور و آب شیرین زندگی می‌کنند (Morovti, 2005) و از طرفی به دلیل شرایط محیطی منطقه مورد مطالعه، ذرات شیمیایی و بیوشیمیایی رسوب می‌کنند و به دلیل وجود کربنات‌های تخریبی، جدایش کامل ذرات کربنات و آواری از یکدیگر انجام نگرفته است، لذا در این تحقیق اجزای تشکیل دهنده رسوبات را به دو اجزای اسکلتی و غیراسکلتی تقسیم بندی شداند (شکل ۴-الف). اندازه ذرات اسکلتی (تخریبی) در ابعاد ماسه، سیلت و رس هستند. این اجزاء دارای کرویت خوبی داشتند ولی دارای قطعات صدف خرد شده درشت دانه با کرویت ضعیف مشاهده شد. مهمترین ذرات رسوبی تخریبی

طبق جدول شماره ۱، مقادیر کج‌شدگی در رسوبات نشان می‌دهند اندازه ذرات رسوبات ساحلی در محدوده ماسه متوسط قرار دارد و در محیط نسبتاً پرانرژی ته‌نشین شده‌اند که با نتایج دانه‌بندی مطابقت دارد (Zarei-Shamili, 2013). در مجموع، رسوبات در حد ماسه بیشتر بخش‌های نوار ساحلی خلیج چابهار را تشکیل می‌دهند. میانگین حجم هریک از طیف‌های اندازه ذرات را می‌توان بر حسب درصد به شکل ۸۵ درصد ماسه، ۱۳ درصد گراول و ۲ درصد گل بیان کرد. بخشی از رسوبات که در محدوده گراول قرار دارند، بیشتر بقایای صدف جانوران و رسوبات سیمانی‌شده‌ای‌اند که در موقع الک کردن در محدوده گراول قرار می‌گیرند؛ همچنین ممکن است به علت عملکرد امواج به‌ویژه در فصل موسمی، فرسایش مکانیکی زیاد صخره‌های ساحلی موجب تولید رسوبات دانه‌درشت در حد گراول شود. از طرفی، امواج و جریان‌های موازی با ساحل توانایی حمل ذرات دانه‌ریز گلی را دارند و به علت عدم حمل ذرات شنی و گراولی، سبب تجمع آنها در ساحل می‌شوند. در منطقه مطالعه شده به علت فاصله کم ساحلی و وجود رخنمون‌های مرتفع در منطقه، منطقه ساحلی گسترش زیادی ندارد و امواج ذرات بزرگ در حد گراول را در خط ساحلی منطقه رسوب می‌شوند که موجب می‌گردد سواحل گراولی عمده‌تاً در بخش‌های جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه بیشتر گسترش یابند. رسوبات منطقه مورد مطالعه، جورشدگی متوسط تا خوب دارند که نشان‌دهنده تأثیر عملکرد امواج و جزرومد است و از نظر کشیدگی متوسط تا کشیده‌اند (جدول ۱). از طرفی شواهد حاصل از آنالیزهای دانه بندی ذرات رسوبی نشان داد که دانه‌های رسوبی دانه درشت در اندازه ماسه و دارای جورشدگی و گردشدگی خوب و فاقد ماتریکس رسی می‌باشند که این موید بلوغ بافتی و معرف یک محیط پرانرژی است. در برخی از رخساره‌هایی که رسوبات از ذرات ریز و درشت با جورشدگی بد تشکیل شده و حاوی

که احتمالاً در نتیجه حمل و نقل توسط فرایندهای آبی و بادی شکل گرفته‌اند. مهمترین اجزاء رسوبی اسکلتی (بیوشیمیایی) در نمونه‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه، قطعات و خرده‌های صدف دوکفه‌ایها، گاستروپودها، قطعات خرد شده خرچنگ‌ها، خارهای خارپوستان، خرده‌های مرجانی، فرامینیفرها و غیره می‌باشند. این گروه‌ها بویژه نرم‌تنان (دوکفه‌ای‌ها و گاستروپودها) هم بصورت خردشده و هم سالم در رسوبات مشاهده می‌شوند که موید میزان انرژی و شرایط حوضه رسوبی است (شکل ۵).

(غیراسکلتی) کانی‌های رسی، کوارتز، کربنات، کانی‌های اپک، خرده سنگ‌های رسوبی از نوع ماسه سنگی و آهکی می‌باشد (شکل ۴-ب). بلورهای کوارتز در اندازه‌های مختلف در حد سیلت تا ماسه درشت و گاه در اندازه گراول می‌باشند. این دانه‌های کوارتزی اغلب ساحلی بوده و دارای گردشگری و کروییت هستند که این امر می‌تواند به دلیل انرژی بالای حوضه رسوبی و در نتیجه سایش مداوم در اثر امواج و جریان‌های جزرومدی است. کربنات‌های تخریبی عمدتاً در حد سیلت تا ماسه دیده می‌شوند و دارای گردشگری تقریباً خوبی هستند



شکل ۴- ذرات تشکیل دهنده رسوبات مورد مطالعه: (a) گاستروپود (A)، روتالیا (B)، خرده سنگ آهکی (C) و خرده سنگ ماسه سنگی (D). (b) خرده‌های صدف دوکفه‌ای (A)، فرامینیفر (B)، کوارتز (C) و خرده سنگ آهکی (D) می‌باشند.

Fig. 4. Particles of sediments study area: a) Gastropod (A), Rotalia (B), limestone rock fragment (C) and sandstone rock fragment (D). b) Bivalves debris (A), foraminifera (B), quartz (C) and limestone rock fragment (D).



شکل ۵- بخشی از نمونه رسوبی شماره ۶، عمق ۳۰ سانتی متر، خرده صدف نرم‌تنان (A)، ایستگاه شور

Fig. 5. Part of sediment sample No. 6, depth 30 cm. Mollusk shell debris (A), Shoor station

ویژگی‌های ژئوشیمیایی رسوبات در سه بخش عناصر اصلی، فلزات سنگین و محاسبات آماری مانند ضریب همبستگی، دسته بندی خوشه ای و آزمون فاکتوری به تفکیک تشریح می‌شوند.

۴-۲-۱- ژئوشیمی عناصر اصلی

در شناخت ژئوشیمی رسوبات نهشته‌های ساحلی کم عمق، میزان غلظت عناصر اصلی و فرعی رسوبات ساحلی منطقه

۴-۲- ژئوشیمی رسوبات

مطالعه ژئوشیمی رسوبات محیط‌های ساحلی، آبی و بستر دریاها گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات و الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست‌محیطی در منطقه است (Adabi, 2004) در این راستا می‌توان از تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای یافتن منشأ عناصر در رسوبات استفاده کرد (Davis, 1973). در ادامه

مطالعه شده به عنوان داده های ورودی برای محاسبه ضرایب همبستگی و رسم نمودار تجزیه و تحلیل خوشه ای استفاده شد. روش اسپیرمن برای تعیین همبستگی بین عناصر (با توجه به غیر نرمال بودن داده ها) به کار رفت. در جدول ۲ میزان غلظت عناصر اصلی و فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه آورده شده است. طبق جدول ۲، حداقل مقدار عنصر کلسیم در رسوبات ایستگاه لیپار به مقدار ۳/۷ درصد و حداکثر آن در ۲۳/۵ درصد در رسوبات مربوط به ایستگاه پارک مشاهده شد. برای منیزم حداقل غلظت در رسوبات ایستگاه تیس به مقدار ۰/۶ درصد و حداکثر آن در ۳/۲۹ درصد در ایستگاه پزم مشاهده شد. حداقل مقدار آلومینیوم در ایستگاه تیس و به مقدار ۱/۳ درصد و حداکثر آن در ۵/۶ درصد در ایستگاه پارک اندازه گیری شد. حداقل مقدار عنصر سدیم در ایستگاه تیس به مقدار ۰/۶ درصد و حداکثر آن در ۲/۹ درصد در ایستگاه پارک مشاهده شد. حداقل مقدار عنصر آهن در ایستگاه پارک به مقدار ۱/۰۷ درصد و حداکثر آن در ۵/۳ درصد در ایستگاه لیپار مشاهده شد. حداقل مقدار عنصر پتاسیم در ایستگاه تیس مقدار ۰/۱۷ درصد و حداکثر آن ۱/۴ درصد در ایستگاه پارک اندازه گیری شد. حداقل مقدار عنصر منگنز در ایستگاه پارک به مقدار ۳۸۸ پی پی ام و حداکثر آن در ۶۳۲ پی پی ام در ایستگاه تیس مشاهده شد. حداقل مقدار عنصر استرانسیوم در ایستگاه پزم به مقدار ۹۵ پی پی ام و حداکثر آن در ۲۱۲۲ پی پی ام در ایستگاه شور مشاهده شد. در بین عناصر اصلی، آلومینیوم و کلسیم بیشترین غلظت را در رسوبات منطقه مورد مطالعه دارند. غلظت آلومینیوم ارتباط نزدیکی با اندازه ذرات دارد و به طور کلی رسوبات دانه ریز دارای آلومینیوم بیشتری نسبت به رسوبات دانه درشت هستند. به نظر می رسد ساختار کانی های رسی و تمرکز این عنصر در کانی های رسی نقش بسزایی در افزایش غلظت آلومینیوم در رسوبات مورد مطالعه داشته باشد. غلظت زیاد کلسیم نیز در رسوبات مورد مطالعه به دلیل فراوانی قطعات اسکلتی نرم تنان و سایر موجودات دریایی امر طبیعی به نظر می رسد. منیزیم و استرانسیوم نیز روندی تقریباً مشابه با کلسیم را نشان می دهند، به نظر می رسد که این عناصر منشاء درون حوضه ای و بیوژنیک دارند و عمدتاً وجود کلسیم، استرانسیوم و منیزیم موجود در پوسته های آهکی و خرده های صدف فسیل های دریایی از جمله نرم تنان و فرامینیفرها و نیز کلسیم، استرانسیوم و منیزیم محلول در رسوبات مارنی و آزاد شدن

آسان آن از رسوبات مارنی منطقه، افزایش مقدار این عناصر را باعث می شوند. این موضوع با مطالعات دیگر محققان از جمله Beggan و Hamilton (۲۰۱۰)، Bazzi و همکاران (۲۰۱۴)، Mehdi pour و همکاران (۲۰۱۵)، Nafar و همکاران (۲۰۱۵)، Mortazavi و Saberinasab (۲۰۱۶) همخوانی دارد. آهن نیز یکی دیگر از عناصر نسبتاً فراوان در رسوبات مورد مطالعه است. مطالعات رسوب شناسی و کانی شناسی کلی نشان می دهد که غالب ترکیب آهن در رسوبات منطقه احتمالاً از نوع ثانویه و شامل اکسید و هیدروکسیدهای آهن می باشد. کانی های هماتیت و مگنتیت جزو کانی های سنگین محسوب می شوند و در مغزه های رسوبی وجود دارند. همچنین کاهش یا افزایش مقدار آهن، پتاسیم و آلومینیوم احتمالاً در ارتباط با کانی شناسی منطقه بوده و می تواند وابسته به وجود یا عدم سیلیکات های آلومینیوم و کانی های رسی بویژه کانی های ایلیت، ورمیکولیت و مونت مورینیت باشد. بطوریکه در مناطقی که کانی های رسی افزایش پیدا می کنند، غلظت آلومینیوم افزایش پیدا کرده و برعکس از غلظت آهن و پتاسیم در رسوبات کاهش می یابد. میزان غلظت عنصر سدیم از ۰/۶ تا ۲/۹ درصد تغییر می کند و متوسط آن ۱/۷ درصد است، حداقل مقدار این عنصر در محدوده ایستگاه تیس و حداکثر آن در ایستگاه پارک است. مقدار عنصر پتاسیم از ۰/۱۷ تا ۱/۴ درصد متغیر است و میانگین آن ۱ درصد می باشد. کمترین غلظت این عنصر در ایستگاه تیس و بیشترین غلظت آن در ایستگاه پارک می باشد. یکی از دلایل افزایش عناصر سدیم و لیتیم در منطقه مورد مطالعه، می تواند قرار گرفتن منطقه در زون آب و هوایی گرم و خشک با مقدار بارش سالیانه ناچیز و میزان تبخیر بیشتر آب ورودی به رودخانه ها باشد. از طرفی عناصر آهن، آلومینیوم و منگنز به علت ورود رسوبات تخریبی افزایش و مقدار این عناصر در رسوبات کربناته و دریایی کاهش می یابد (Merian et al., 2004; Alabdeh et al., 2019)، لذا افزایش مقادیر این عناصر شاخص غلبه رسوبات تخریبی نسبت به رسوبات کربناته و حاکی از افت سطح آب دریا و است. علت افزایش و کاهش مقدار وزنی عنصر سدیم نیز مربوط به درجه حرارت، تبخیر و میزان رطوبت منطقه است که با کاهش سطح آب دریا، افزایش میزان تبخیر، کاهش مقدار بارندگی و رطوبت در منطقه مورد مطالعه، مقدار این عنصر به شدت افزایش می یابد. بنابراین در نمونه های رسوبی، تغییرات درصد عناصر نشان دهنده تغییرات

سطح نسبی آب دریاست، به گونه‌ای که تغییرات منحنی‌های
 سطح نسبی آب دریا با تغییرات مقدار وزنی عناصر کلسیم،
 استرانسیوم و منیزیم نسبت مستقیم و با مقادیر آهن، سدیم،
 پتاسیم، آلومینیوم و منگنز نسبت معکوس دارد.

جدول ۲- نتایج آنالیز ICP-MS برای نمونه‌های رسوبی [نمونه‌های با پیشوند (L) از ایستگاه لیپار، نمونه‌های با پیشوند (T) از ایستگاه تیس، نمونه‌های با پیشوند (Sh) از ایستگاه شور، نمونه‌های با پیشوند (P) از ایستگاه پارک، نمونه‌های با پیشوند (A) از ایستگاه آب شیرین کن، نمونه‌های با پیشوند (K) از ایستگاه کنارک و نمونه‌های با پیشوند (Z) از ایستگاه پزم جمع آوری شدند].

Table 1. The results of ICP-MS analysis for sediment samples [Samples with prefix (L) from Lipar station, samples with prefix (T) from Tis station, samples with prefix (Sh) from Shoor station, samples with prefix (P) from Parak station, samples with prefix (A) from Abshirinkon, Samples with prefix (K) from Konarak station and samples with prefix (Z) from Pozm station were collected].

Sample No. / Elements	Pb (ppm)	Co (ppm)	Kd (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	Na (%)	Mg (%)	Fe (%)	Ca (%)	K (%)	Al (%)
L*-1	17.4	23.1	< 0.1	27.8	96	121	125	541	1.4	2.4	5.3	3.7	2.3	7.4
T-2	10.5	2.9	< 0.1	3.18	11.1	22.9	47.3	632	0.6	0.6	1.24	21.1	0.4	1.3
Sh-3	10.6	13.4	0.3	14.7	54.1	75.3	120	520	2.6	1.8	3.4	5.3	1.3	5.4
Sh-4	11.4	5.8	0.2	5.3	19	29	89	583	1.1	1.02	1.6	14.9	0.7	2.7
Sh-5	11.5	13.8	0.4	10.4	47	65.2	93.5	515	2.4	1.5	2.9	5.6	1.2	5
Sh-6	11.9	12	0.3	12.1	53.7	64	104	516	2.3	1.5	2.9	5.5	1.1	4.9
Sh-7	9.2	7.8	0.3	8	31	48.6	79	554	2.3	1.2	2.1	6.5	0.9	3.8
Sh-8	10	8.7	0.1	9.4	33.4	52.6	77.7	529	2.4	1.2	2.2	5.8	0.9	3.9
P-9	16	13.8	0.3	18	59.3	75.6	137	571	2.9	2.6	3.7	3.8	1.4	5.6
P-10	14	12.5	0.1	15.2	50.9	69.9	111	580	2.08	1.8	3.4	4.8	1.2	5.3
P-11	15.4	12.2	< 0.1	15	49	65.4	125	578	1.6	1.7	3.3	7.1	1.2	5.2
P-12	11.9	13.6	< 0.1	15.6	50	60.5	1.6	546	1.8	1.6	3.06	5.3	1.1	5.1
P-13	13	15.9	< 0.1	17.7	54	74.1	132	517	1.5	1.6	3.6	4.9	1.3	5.7
P-14	7.1	1.6	< 0.1	3.9	12.7	15	67	388	0.7	0.7	1.07	23.5	0.3	1.3
P-15	10	12.2	< 0.1	14.08	43.6	58	140	510	1.5	1.3	2.9	7.9	1.1	4.6
P-16	6.22	1.76	< 0.1	4.39	15.8	17.8	52.6	472	0.8	0.7	1.1	21.1	0.4	1.5
A-17	10.1	4.4	0.15	4.73	16.2	48.8	64.1	608	1	0.96	1.5	15.7	0.65	2.5
A-18	10.8	8.93	< 0.1	5.41	23.3	64.8	77.2	571	1.14	1.17	1.88	14.7	0.77	3.15
A-19	10.2	6.13	0.23	6	22	64.7	88.1	579	1.17	1.08	1.82	15	0.78	2.93
A-20	9.8	2.8	< 0.1	4.3	13.1	41.4	33.8	559	1.09	0.98	1.33	17.2	0.57	2.11
K-21	8.8	4.4	1.7	7.7	31.4	25	95.6	524	2.2	1.03	1.6	10.4	0.62	2.5
Z-22	11.8	6.4	1.04	10.2	29.2	35.9	106	446	2.2	1.9	1.8	11.2	0.8	2.7
Z-23	7.8	13.1	1.6	13	39.7	61.9	94.2	444	2.7	3.2	2.6	6.3	1.1	4.07
Average	11.2	9.5	0.5	11	37.2	55.3	96.9	534	1.8	1.5	2.5	10.3	1	3.9
Average continental crust**	15	-	0.10	25	65	56	126	716	-	2.2	4.3	-	-	-
Average oceanic crust**	۰/۵	-	۰/۱۳	۸۱	۷۸	۱۴۴	۳۱۷	۱۲۰۰	-	۴/۵	۷	-	-	-

اقیانوسی و قاره‌ای) و یا کمتر از آن است (Aiman et al., 2016). ترتیب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه به صورت $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Cd$ می باشد. در شکل ۶ نمودار فراوانی فلزات کروم، نیکل، روی و سرب در هفت ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شده است. همانطور که در این نمودار مشخص است این فلزات سنگین بیشترین فراوانی را در ایستگاه لیپار به نمایش می گذارند. در بین فلزات سنگین رسوبات مورد مطالعه، فلزات کروم، نیکل و سرب به ترتیب میانگین غلظت‌های ۹۶/۹، ۵۵/۳ و ۱۱/۲ دارای بیشترین غلظت

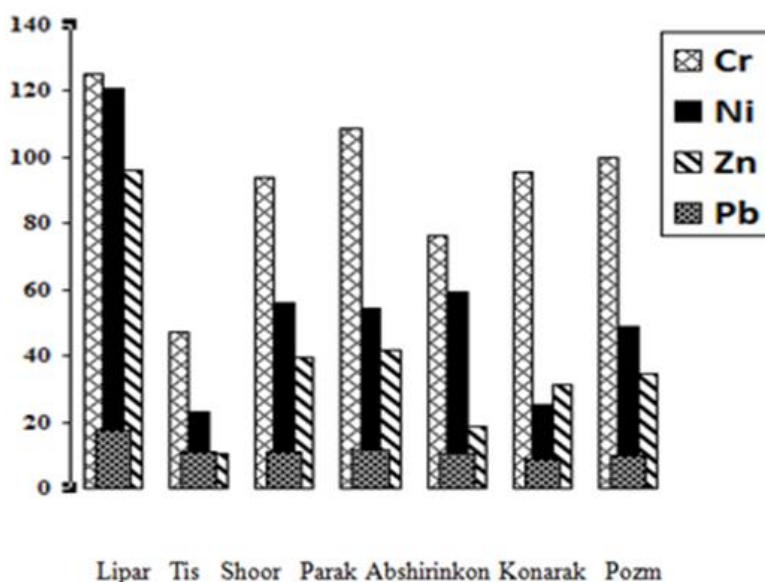
۴-۲-۲- ژئوشیمی عناصر سنگین

فلزات سنگین فلزاتی هستند که دانسیته آنها بیش از ۶ گرم بر سانتیمتر مکعب است یا به عبارت دیگر دارای وزن مخصوص بیش از ۶ برابر وزن مخصوص آب می باشد (Hawkes, 1997). در جدول ۲ علاوه بر غلظت عناصر اصلی، غلظت فلزات سنگین (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn) در رسوبات منطقه مورد مطالعه محاسبه شده است. با توجه به داده‌های جدول مذکور می توان گفت غلظت اکثر فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه به صورت طبیعی و در حد میانگین غلظت آنها در پوسته

می‌دهد که نقش فعالیت‌های انسانی از جمله رنگ آمیزی شناورها و صنایع شیلاتی در افزایش غلظت این فلزات در خلیج چابهار بیشتر از تاثیر عوامل طبیعی است. این موضوع با تحقیقات Pourkhabaz و Khazaee (۲۰۱۱)، Khodakhah و Pishgar (۲۰۱۵)، Gholamdokht. و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد.

آنالیزهای زمین شیمیایی، تعمیم تجمع روی و مس به همراه سرب وجود دارد. به همین دلیل غلظت آن در رسوبات ساحلی درشت دانه زیاد است. هر چند افزایش غلظت این فلزات در رسوبات مجاور اسکله ماهیگیری تیس نشان می‌دهد که دلیل اصلی افزایش آنها، منشاء انسانزاد دارد. بنابراین این تغییرات ناشی از بیشتر بودن میزان آلاینده‌های ورودی به اسکله فوق به دلیل تعداد بیشتر قایق‌های صیادی و لنج‌ها می‌باشد. دلیل این ناهنجاری انتقال ذرات ریز فلزی ساحل توسط امواج غالب منطقه می‌باشد، منشاء این ذرات فلزی ریختن روغن قایق‌ها و لنج‌های این بندر در آب دریاست. این نتیجه با نتایج تحقیقات دیگر محققان از جمله Babaee و همکاران (۲۰۱۳)، Bagheri و همکاران (۲۰۱۳)، Ghadimi (۲۰۱۵) همخوانی دارد.

در رسوبات هستند. هر چند میانگین غلظت این فلزات به مراتب کمتر از میانگین غلظت آنها در رسوبات قاره ای می‌باشد. کروم بیشترین غلظت ۱۴۰ پی پی ام را در ایستگاه پارک به خود اختصاص داده است. نیکل نیز روندی مشابه با کروم را نشان می‌دهد، اما اوج غلظت آن با غلظت ۱۲۱ پی پی ام در رسوبات ایستگاه لیپار اندازه گیری شده است. روند مشابه کروم و نیکل نشان دهنده منشاء مشترک برای این دو عنصر است. چنین به نظر می‌رسد که هوازگی و انحلال سنگ‌های فوق بازیکی و به ویژه افیولیت‌های تشکیل دهنده سنگ شناسی غالب منطقه مکران و انتقال آنها توسط رودخانه پارک در مواقع بارندگی، یکی از عوامل اصلی غنی شدگی رسوبات منطقه نسبت به فلزات کروم و نیکل شده است. هر چند نمودارهای همبستگی بین سایر عناصر فلزات به ویژه فلزات سنگین نیز غنی شدگی را نشان می‌دهند (شکل ۶ و جدول ۳). از طرفی با توجه به وجود خرده سنگ‌های آذرین با منشاء افیولیتی (منشأ اقیانوسی دارند)، درصد فراوانی عناصر کروم و نیکل از افیولیت‌های بالادست نشئت می‌گیرد که با میانگین وزنی موجود در پوسته اقیانوسی قرابت زیادی دارند. فلزات سنگین سرب و روی به همراه مس روند نسبتاً مشابه با یکدیگر به نمایش می‌گذارند. سرب و روی به دلیل آنکه دارای وزن مخصوص زیادی هستند، اکثراً در نواحی ساحلی غلظت آنها افزایش می‌یابد. این موضوع نشان



شکل ۶- نمودار فراوانی فلزات سنگین (Cr, Ni, Pb, Zn) در ایستگاه‌های نمونه برداری

Fig. 6. Graph of abundance of heavy metals (Pb, Cr, Ni, Zn) in sampling stations

تعیین منشاء آنها برخی از پارامترهای آماری مانند ضریب همبستگی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای برای منشأیابی با نرم‌افزار

۴-۲-۳- ضریب همبستگی و پردازش‌های نهایی

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی ارتباط عناصر با یکدیگر و

دو عنصر منفی است. طبق جدول ۳ چهار دسته قابل شناسایی است که با هم همبستگی مناسبی دارند. دسته اول شامل عناصر آهن و آلومینیوم، دسته دوم شامل عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر، دسته سوم شامل سرب و مس و دسته چهارم یعنی لیتیم، نیکل و مس می باشند. از طرفی دیگر برای تعیین ارتباط عناصر با یکدیگر از روش دسته بندی خوشه ای و آنالیز فاکتوری استفاده شده است. آنالیز خوشه ای یک روش آماری چند متغیره است که عناصر را بر اساس شباهت تغییر پذیری بین آنها در قالب دسته ها یا گروه هایی طبقه بندی می کند. در نمودار خوشه ای ترسیم شده برای عناصر مورد مطالعه، داده ها در سه شاخه اصلی مشاهده می شوند (شکل ۷). شاخه اول عناصر اسکاندیوم، آهن، تیتان، منیزیم، پتاسیم، آلومینیوم، وانادیوم، سدیم، کبالت، منگنز، باریوم، سرب، کروم و روی ارتباط نزدیکی با یکدیگر داشته و در یک شاخه قرار می گیرند. در شاخه دوم عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر بیشترین ارتباط را نشان می دهند. در شاخه سوم عناصر لیتیم، نیکل و مس در یک شاخه قرار می گیرند (شکل ۷). در آنالیزهای فاکتوری چهار دسته عناصر شناسایی شدند.

SPSS²³ استفاده شد (Anazawa et al., 2004). نمودار تجزیه و تحلیل خوشه ای برای رسوبات ایستگاه های مورد مطالعه، در شکل ۷ نشان داده شده است. برای محاسبه ی ضریب همبستگی از روش اسپیرمن استفاده شد. علت انتخاب این روش آن است که تعدادی از عناصر توزیع نرمال ندارند و روش اسپیرمن مستقل از چگونگی توزیع عناصر است. ماتریس ضرایب همبستگی بین عناصر مورد مطالعه در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول معنی دار بودن هر یک از ضرایب همبستگی در سطح اعتماد ۹۵ درصد توسط یک ستاره و بسیار معنی دار در سطح اعتماد ۹۹ درصد با دو ستاره مشخص شده است. معمولاً ضریب همبستگی کمتر از ۰/۲ نشانگر همبستگی بسیار ضعیف بین دو متغیر است. همبستگی عناصری که ضرایب آنها بین ۰/۲ تا ۰/۴ است، نشان دهنده ی همبستگی ضعیف بین متغیرها است. به عبارت دیگر هر چه مقدار ضریب همبستگی بالاتر و به یک نزدیک تر باشد، همبستگی دو عنصر بیشتر است و امکان تخمین موفقیت آمیز گروهی (دسته بندی کردن) آنها وجود دارد. ضرایب منفی بدان معنی است که با افزایش یک عنصر، عنصر دیگر کاهش می یابد و همبستگی بین

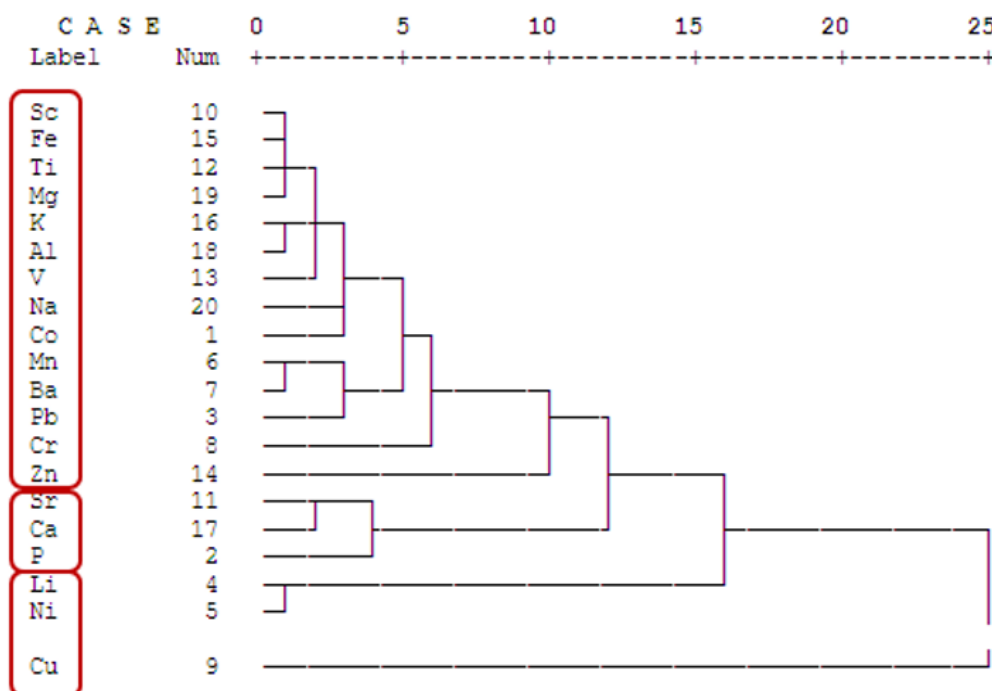
جدول ۳- ضرایب همبستگی بین عناصر مختلف در رسوبات منطقه مورد مطالعه

Table 3. Correlation coefficients between different elements in the sediments of the study area

	Co	P	Pb	Li	Ni	Mn	Ba	Cr	Cu	Sc	Sr	Ti	V	Zn	Fe	K	Ca	Al	Mg	Na
Cu	1																			
P	-.108	1																		
Pb	.151	-.100	1																	
Li	.013	-.459**	-.048	1																
Ni	.047	-.415**	.005	.971**	1															
Mn	-.184	.106	-.305	.005	-.060	1														
Ba	.192	-.142	-.212	.345*	.299	.635**	1													
Cr	.436**	-.099	.193	.188	.263	.002	.256	1												
Cu	.066	-.371*	.090	.466**	.501**	.102	.475**	.315*	1											
Sc	.424**	-.458**	.027	.473**	.504**	-.031	.555**	.289	.572**	1										
Sr	-.182	.647**	.229	-.603**	-.505**	-.238	-.636**	-.108	-.324*	-.614**	1									
Ti	.586**	-.297	.165	.203	.275	-.247	.365*	.517**	.408**	.803**	-.372*	1								
V	.562**	-.322*	.212	.264	.327*	-.249	.315*	.429**	.422**	.867**	-.356*	.928**	1							
Zn	.389*	-.154	.076	.340*	.340*	.093	.387*	.162	.507**	.441**	-.359*	.271	.352*	1						
Fe	.487**	-.404**	.115	.357*	.409**	-.195	.432**	.357*	.593**	.929**	-.498**	.872**	.928**	.488**	1					
K	.319*	-.557**	-.068	.717**	.717**	.006	.589**	.276	.575**	.916**	-.759**	.667**	.716**	.459**	.804**	1				
Ca	-.297	.593**	.113	-.515**	-.449**	-.097	-.634**	-.093	-.347*	-.705**	.925**	-.495**	-.500**	-.395*	-.632**	-.779**	1			
Al	.320*	-.654**	.014	.672**	.652**	-.127	.497**	.213	.500**	.879**	-.824**	.660**	.708**	.425**	.811**	.945**	-.884**	1		
Mg	.472**	-.358*	.382*	.288	.361*	-.544**	-.095	.169	.322*	.666**	-.132	.606**	.756**	.318*	.727**	.525**	-.310	.584**	1	
Na	.376*	-.475**	.008	.472**	.424**	.095	.494**	.050	.273	.565**	-.734**	.278	.371*	.502**	.501**	.650**	-.795**	.700**	.395*	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)



شکل ۷- دسته بندی عناصر (آنالیز خوشه ای) در رسوبات کم عمق ساحلی چابهار

Fig. 7. Classification of elements (cluster analysis) in shallow coastal sediments of Chabahar

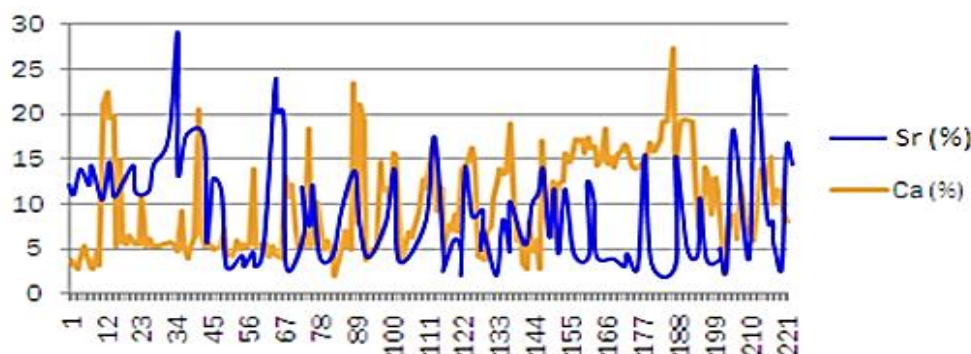
جدول ۴- دسته بندی عناصر (آنالیز فاکتوری) در رسوبات کم عمق ساحلی چابهار (مقادیر رنگ شده به معنی بیشترین تاثیر عناصر هرستون است)

Table 4. Classification of elements (factor analysis) in shallow coastal sediments of Chabahar (Colored numbers mean the most influential elements in each column.)

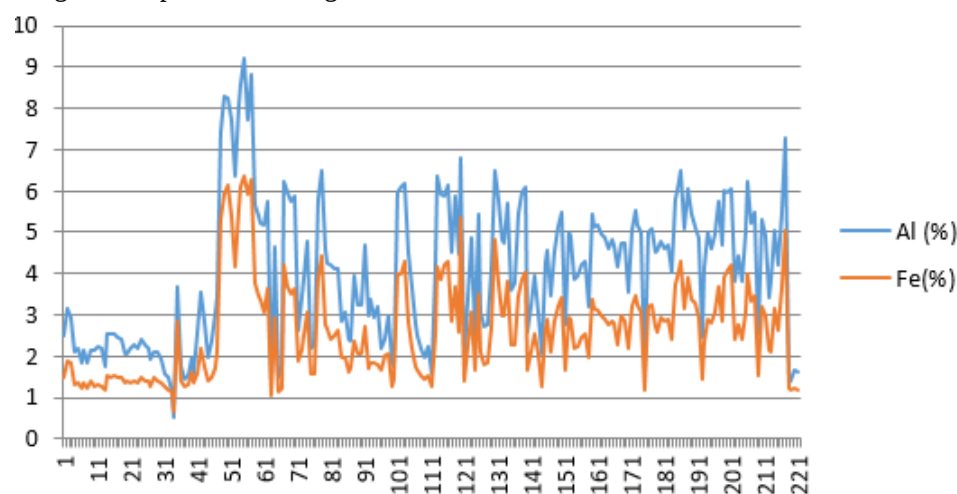
	1	2	3	4
Co	0.698	0.402	-0.080	-0.058
P	-0.410	0.414	-0.145	-0.466
Pb	0.331	0.248	-0.615	0.222
Li	0.601	-0.257	-0.415	0.601
Na	0.672	-0.106	-0.421	0.517
Mn	0.379	-0.589	0.338	-0.361
Ba	0.749	-0.409	0.237	-0.302
Cr	0.470	0.206	0.073	-0.031
Cu	0.056	0.067	0.859	0.512
Sc	0.979	0.087	0.070	-0.109
Sr	-0.696	0.684	0.004	0.040
Ti	0.904	0.062	0.037	-0.077
V	0.904	0.411	0.001	-0.083
Zn	0.376	0.016	0.058	-0.136
Fe	0.938	0.310	0.043	-0.098
K	0.982	-0.028	-0.058	-0.018
Ca	-0.783	0.546	-0.022	0.105
Al	0.950	-0.118	-0.111	0.068
Mg	0.803	0.513	-0.052	0.018
Ni	0.784	0.018	-0.048	-0.104

به منظور پردازش نهایی و تعیین ارتباط بین عناصر و همبستگی عناصر، براساس جدول ماتریس ترکیب به روش چرخشی، دسته‌بندی خوشه‌ای و آنالیزهای فاکتوری، تعیین منشاء رسوبات صورت گرفته است. جدول ۴ تعداد فاکتورهای مختلف را نشان می‌دهد که عناصر در ۴ فاکتور یا عامل اصلی قرار می‌گیرند. عناصری که در هر فاکتور بیشترین تاثیر را دارند، به صورت رنگی در جدول ۶-۳ (Rotated Component Matrix) مشخص شدند. تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی این داده‌ها بیانگر آن است که عناصر در ۴ دسته اصلی قرار می‌گیرند که با یکدیگر ارتباط نزدیکی دارند. به بیان دیگر غنی‌شدگی عناصر در رسوبات سواحل چابهار به ۴ منشاء مربوط می‌باشند. دسته اول شامل عناصر اسکاندیوم، آهن، تیتانیوم، منیزیم، پتاسیم، آلومینیوم، وانادیوم، سدیم، کبالت، منگنز، باریم، سرب، کرم و روی با بیشترین همبستگی، دارای منشاء زمینی (ژئوژنیک) هستند. وجود رودخانه‌های فصلی در بالادست حوضه آبریز منطقه و نیز بادهای شمالی موجب فرسایش سنگهای قدیمی‌تر و حمل و رسوب‌گذاری آنها به داخل حوضه رسوبی دریای عمان شدند. با توجه به وفور سنگ‌های بازیگ و فوق بازیگ در منطقه زمین ساختی مکران غنی‌شدگی رسوبات این منطقه از عناصر فوق دور از انتظار نیست. دسته دوم شامل عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر است که مربوط به رسوبات با منشاء زیستی (بیوژنیک) می‌باشند، داده‌های ژئوشیمیایی موجود جدول شماره ۳ مربوط به همبستگی و آنالیزهای خوشه‌ای (شکل ۷) نیز این موضوع را تایید می‌نمایند. همانطور که در بخش بررسی تغییرات عناصر اصلی نیز اشاره شد جایگزینی عناصری مانند کلسیم و استرانسیوم در پوسته‌های صدفی و سایر بقایای اسکلت جانوران دریایی امری معمولی است. در دسته سوم عناصر سرب و مس به همراه کادمیوم قرار می‌گیرند که با منشاء آنتروپوژنیک و احتمالاً متأثر از آلودگیهای زیست محیطی انسانی و ناشی از شناورهای دریایی وارد حوضه رسوبی دریای عمان شدند و نشان می‌دهد که این عناصر به صورت محلول در آب، تمایل به پیوند با کربناتها داشته و جذب کربناتها می‌گردند و رسوب می‌کنند. فاضلاب ناشی از تعمیر، رنگ آمیزی، سوخت‌گیری و تعویض روغن قایق‌های ماهیگیری

از دیگر عوامل موثر در افزایش غلظت این عناصر در رسوبات به خصوص نمونه‌های نزدیک به بنادر ماهیگیری به شمار می‌رود. در نهایت دسته چهارم عناصر شامل لیتیم و سدیم که ارتباط تنگاتنگی با رسوبات تبخیری در منطقه دارند و بنابراین دارای منشاء شیمیایی هستند. بیشترین غنی‌شدگی این دسته از عناصر در نمونه‌های رسوبی خور شور اندازه‌گیری گردید. در این منطقه حوضه‌های متعددی توسط بومیان چابهار برای استحصال نمک از آب دریا احداث شده است. بنابراین افزایش غلظت عناصر لیتیم و سدیم ناشی از آلودگی رسوبات منطقه به این نمک‌ها می‌تواند باشد. نتایج این تحقیق با نتایج دیگر محققان از جمله Hassanzadeh و همکاران (۲۰۰۹)، Haji-Hossini و همکاران (۲۰۱۳)، Ghadimi و Ghomi (۲۰۱۶)، Taghipour و Khadivar (۲۰۱۹) همخوانی دارد. مطالعات زمین‌شیمیایی رسوبات ساحلی در در بخش عناصر اصلی و عناصر سنگین نشان داد که درصد آلودگی رسوبات مورد مطالعه به فلزات سنگین ناچیز است و غلظت اکثر فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه به صورت طبیعی و در حد میانگین غلظت آنها در پوسته (اقیانوسی و قاره‌ای) و یا کمتر از آن است و تنها غنی‌شدگی اینگونه فلزات در افزایش غلظت کروم و نیکل مشاهده گردید که آن نیز منشاء طبیعی دارد. تغییرات درصد عناصر با تغییرات سطح نسبی آب دریا تا حدود زیادی همخوانی دارند، به گونه‌ای که تغییرات سطح نسبی آب دریا با مقادیر کلسیم و استرانسیوم مرتبط با پوسته‌های فسیلی، نسبت مستقیم و با مقادیر آهن و آلومینیوم که شاخص رسوبات تخریبی هستند، نسبت معکوس دارد. در مناطقی از ساحل که تحت فرایندهای پیشروی آب دریا هستند، مقادیر عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر افزایش می‌یابند که می‌تواند در ارتباط با پوسته‌ها و خرده فسیل‌های دریایی از جمله نرم‌تنان و فرامینیفرها باشند (شکل ۹). در مناطقی از ساحل که تحت فرایندهای پسروی آب دریا هستند، مقادیر آهن و آلومینیوم که شاخص رسوبات تخریبی هستند، نسبت معکوس داشته و مقادیر آنها کاهش می‌یابند که می‌تواند به فرایندهای فرسایشی و ورود رسوبات تخریبی توسط آب یا باد به حوضه رسوبی مرتبط باشد (شکل ۱۰).



شکل ۹- مقایسه تغییرات عناصر استرانسیوم و کلسیم در رسوبات کم عمق ساحلی چابهار
Fig. 9. Comparison of changes in Sr and Ca in shallow coastal sediments of Chabahar



شکل ۱۰- مقایسه تغییرات عناصر آلومینیوم و آهن در کم عمق ساحلی چابهار
Fig. 10 - Comparison of changes in Al and Fe elements in the shallow coast of Chabahar

آنها گردیده است، پی برد. همچنین عوامل محیط رسوبی مانند عمق حوضه، درجه حرارت، درجه شوری، بستر زیست و میزان آشفستگی، پراکندگی و گسترش موجودات در محیطهای کربناته را می توان با شناسایی ذرات اسکلتی کنترل نمود. از طرفی مطالعه ژئوشیمی رسوبات محیطهای ساحلی، آبی و بستر دریاها گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات و الگوی پراکنش عناصر ارزیابی زیست محیطی در منطقه است. بر همین اساس، موارد زیر از مهمترین نتایج حاصل این تحقیق است.

آنالیزهای دانه سنجی ذرات رسوبی منطقه مورد مطالعه، معرف دوازده تیپ رسوبی می باشد که تیپ غالب رسوبات گل ماسه ای می باشد. این رده های رسوبی به دو دسته رخساره های شامل رخساره های گلی و رخساره های ماسه ای تقسیم بندی شدند.

درصد فراوانی ذرات رسوبی موید این است که ذرات در اندازه رس فراوان ترین اجزای رسوبی بوده و ذرات در اندازه های

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با استانداردهای مرتبط و همچنین سایر تحقیقات مشابه در سطح منطقه ای و بین المللی از جمله Heidari Chaharlang و همکاران (۲۰۱۱) و Boussem و همکاران (۲۰۱۳) حاکی از آن است غلظت آلاینده های فلزات سنگین در تمامی موارد بطور قابل ملاحظه ای کمتر از تمام استانداردها و مقادیر راهنمای مرتبط می باشد و همچنین در مقایسه با سایر تحقیقات در جهان نیز نتایج کنونی کمتر از نتایج سایر تحقیقات بوده است که کمتر بودن این نتایج نیز با توجه به اینکه نیکل یکی از شاخص های آلودگی نفتی می باشد، احتمال انتشار آلاینده های نفتی در منطقه مطالعاتی را بسیار اندک می داند.

۵- نتیجه گیری

آنالیز توزیع دانه های رسوبی برای مقایسه نمونه های مختلف با هم از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا به این روش می توان به اختصاصات مختلف رسوبات و فرایندهایی که باعث تشکیل

روند مشابه کروم و نیکل نشان‌دهنده منشاء مشترک برای این دو عنصر است. چنین به نظر می‌رسد که هوازگی و انحلال سنگ‌های فوق بازیک و به ویژه افیولیت‌های تشکیل دهنده سنگ‌شناسی غالب منطقه مکران و انتقال آنها توسط رودخانه پارک در مواقع بارندگی، یکی از عوامل اصلی غنی‌شدگی رسوبات منطقه نسبت به فلزات کروم و نیکل شده است. فلزات سنگین سرب و روی به همراه مس روند نسبتاً مشابه با یکدیگر به نمایش می‌گذارند.

براساس آنالیز فاکتوری و ضرایب همبستگی عناصر، چهار دسته قابل شناسایی است که با هم همبستگی مناسبی دارند. دسته اول شامل عناصر آهن و آلومینیوم، دسته دوم شامل عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر، دسته سوم شامل سرب و مس و دسته چهارم یعنی لیتیم، نیکل و مس می‌باشند. بر اساس نمودار خوشه‌ای عناصر در سه شاخه اصلی قرار گرفتند. شاخه اول عناصر اسکاندیوم، آهن، تیتان، منیزیم، پتاسیم، آلومینیوم، وانادیوم، سدیم، کبالت، منگنز، باریم، سرب، کروم و روی ارتباط نزدیکی با یکدیگر داشته و در یک شاخه قرار می‌گیرند. در شاخه دوم عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر بیشترین ارتباط را نشان می‌دهند. در شاخه سوم عناصر لیتیم، نیکل و مس در یک شاخه قرار می‌گیرند.

تلفیق آنالیزهای فاکتوری و خوشه‌ای، برای غنی‌شدگی عناصر در رسوبات سواحل چابهار، ۴ منشاء پیشنهاد می‌گردد: دسته اول عناصر شامل اسکاندیوم، آهن، تیتانیم، منیزیم، پتاسیم، آلومینیوم، وانادیوم، سدیم، کبالت، منگنز، باریم، سرب، کرم و روی با بیشترین همبستگی، دارای منشاء زمینی (ژئوژنیک) هستند. دسته دوم شامل عناصر استرانسیوم، کلسیم و فسفر است که مربوط به رسوبات با منشاء زیستی (بیوژنیک) می‌باشند. دسته سوم عناصر سرب و مس به همراه کادمیوم قرار می‌گیرند که با منشاء آنتروپوژنیک و احتمالاً متأثر از آلودگی‌های زیست‌محیطی انسانی و ناشی از شناورهای دریایی وارد حوضه رسوبی دریای عمان شدند و در نهایت دسته چهارم عناصر شامل لیتیم و سدیم که ارتباط تنگاتنگی با رسوبات تبخیری در منطقه دارند، دارای منشاء شیمیایی هستند.

درصد آلودگی رسوبات مورد مطالعه به فلزات سنگین زیاد نیست و غلظت اکثر فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه به صورت طبیعی و در حد میانگین غلظت آنها در پوسته (اقیانوسی و قاره‌ای) و یا کمتر از آن است و تنها غنی‌شدگی در افزایش

گراول، ماسه و سیلت به ترتیب در مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند.

رسوبات در حد ماسه بیشتر بخش‌های نوار ساحلی خلیج چابهار را تشکیل می‌دهند. ماسه‌های ساحلی دارای جورشدگی و گردشدگی خوب، کج‌شدگی منفی و فاقد ماتریکس می‌باشند که این موید بلوغ بافتی می‌باشند و معرف یک محیط پراترزی است.

اجزای تشکیل دهنده رسوبات را به دو اجزای اسکلتی و غیراسکلتی تقسیم‌بندی شده‌اند. مهمترین اجزاء رسوبی اسکلتی (بیوشیمیایی) در نمونه‌های رسوبی، خرده‌های فسیلی مانند دوکفه‌ای‌ها، گاستروپودها، قطعات خرد شده خرچنگ‌ها، خارهای خارپوستان، خرده‌های مرجانی، فرامینیفرها و غیره می‌باشند و مهمترین اجزای غیراسکلتی شامل مواد آلی، کانی‌های تبخیری (ژپیس و هالیت)، قطعات چوب، فلوکه‌های گلی، کوارتز و خرده سنگ‌های رسوبی از نوع ماسه سنگی و آهکی می‌باشند.

در منطقه ساحلی مورد مطالعه، یک رژیم دوگانه رسوب-گذاری حاکم بوده باشد به این معنی که در زمان بالاآمدن سطح آب دریا رسوب‌گذاری کربنات‌ها نهشته شده و رسوب‌گذاری تخریبی متوقف می‌شود و در زمان پایین رفتن سطح آب دریا و ورود ذرات آواری به حوضه رسوبی، رسوب‌گذاری کربنات‌ها متوقف شده و رسوب‌گذاری تخریبی صورت می‌گیرد. در مناطق شمال شرق چابهار از جمله خورهای شور و پارک به علت بسته شدن دهانه این خورها که با محدود شدن عرصه یورش جریان‌های مدی همراه هستند، رخساره منطقه بالای جزرومدی رشد نموده و با برجای گذاشتن رسوبات، توسعه ساحلی رخ می‌دهد.

در بین عناصر اصلی، آلومینیوم و کلسیم بیشترین غلظت را در رسوبات منطقه مورد مطالعه دارند. منیزیم و استرانسیوم نیز روندی تقریباً مشابه با کلسیم را نشان می‌دهند.

ترتیب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات منطقه مورد مطالعه به صورت $Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Cd$ می‌باشد. غلظت اکثر فلزات سنگین در رسوبات مورد مطالعه به صورت طبیعی و در حد میانگین غلظت آنها در پوسته (اقیانوسی و قاره‌ای) و یا کمتر از آن است. در بین فلزات سنگین رسوبات مورد مطالعه، فلزات کروم، نیکل و سرب به ترتیب میانگین غلظت‌های ۹۶/۹، ۵۵/۳ و ۱۱/۲ دارای بیشترین غلظت در رسوبات هستند.

قدردانی

نویسنده از حمایت‌های مالی دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار برای انجام این پژوهش تشکر می‌نماید. همچنین بر خود لازم می‌داند از سردبیر و داوران محترم مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته به خاطر راهنمایی‌های علمی ارزنده که منجر به غنای بیشتر مقاله حاضر گردیده است، کمال تشکر را داشته باشد.

غلظت کروم و نیکل است. همچنین در مقایسه با سایر تحقیقات در جهان نیز نتایج کنونی کمتر از نتایج سایر تحقیقات بوده است که کمتر بودن این نتایج نیز با توجه به اینکه نیکل یکی از شاخص‌های آلودگی نفتی می‌باشد، احتمال انتشار آلاینده‌های نفتی در منطقه مطالعاتی را بسیار اندک می‌داند. یافته‌های پژوهش حاضر می‌تواند کمک شایانی به تدوین و اجرای پروژه‌های عمرانی، بندری و اقتصادی با محوریت فرایندهای زمین‌شیمیایی سواحل جنوب شرق ایران نماید.

مراجع

- Aghanbati, A., 2010. Geology of Iran, Publications of the Geological Survey of Iran. Third edition. p.586
- Adabi M., 2004. Sedimentary Geochemistry. Arian Zaman Publications. p. 448.
- Ahrari-Roudi, M., 2017. A Study on Tectonic and Sedimentology in Order to Fault Rupture Potential in Coasts the Makran Sea. Ahrari-Roudi, M., 2017. A Study on Tectonic and Sedimentology in Order to Fault Rupture Potential in Coasts the Makran Sea, Open Journal of Geology 7, 1269-1286. <https://doi.org/10.4236/ojg.2017.79084>.
- Aghasi, B., Jalalian, A., Khadami, H., 2015. Evaluation of heavy metal contamination in sediments of international Gvkhuni wetland, Second Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran University (in Persian with English abstract).
- Anazawa, K., Kaida, Y., Shinomura, Y., Tomiasu, T., Sakamoto, H., 2004. Heavy metal distribution in river waters and sediments around a Fire Fly Village. Shikoku, Japan: Application of Multivariate Analysis. Journal Analytical Science 20, 79-84. <https://doi.org/10.2116/analsci.20.79>
- Alabdeh, D., Karbassi, A.R., Omidvar, B., Sarang, A., 2019. Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran, International Journal of Environmental Science and Technology. 17, 1411-1424. <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-019-02471-8>
- Aiman, U., Mahmood, A., Waheed, S., Malik, R.N., 2016. Enrichment, geo-accumulation and risk surveillance of toxic metals for different environmental compartments from Mehmood Booti dumping site, Lahore city, Pakistan. Chemosphere Journal 144, 2229-2239. <https://10.1016/j.chemosphere.2015.10.077>
- Ansarian, F., 2015. Measurement of heavy metal surface sediments in mighan wetland to investigate the effects of arak wastewater treatment plant, Second Conference on New Findings in the Environment and Agricultural Ecosystems, Tehran University (in Persian with English abstract).
- Babae, H., Khadaprast, S., Shavandasht, J., 2013. The impact of industrial, agricultural and urban wastewater on mineral pollutants in Anzali international wetland, First National Iranian Wetlands Conference, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran (in Persian with English abstract).
- Baghari, S.M., Mahdian, M.H., Karimkhani, A., Pazira, E., 2013. Integration of fuzzy logic and geostatistical methods in copper and cobalt zoning in Anzali wetland, First Iranian Conference on Conservation of Wetlands and Aquatic Ecosystems. Tomorrow's Environment Co-thinkers, Iran (in Persian with English abstract).
- Bazzi, A., Boomeri, M., Rezaei, H., 2014. Sedimentary and Geochemical Characterization of the Sediments of the Coast and Bed of Govatr Gulf, southeastern Iran, Journal of Oceanography 5, 99-110
- Beggan, C., Hamilton, C.W., 2010. New image processing software for analyzing object size frequency distributions, geometry, orientation, and spatial distribution. Computers and Geosciences 36, 539-549. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2009.09.003>
- Benmoussa, T., Amrouni, O., Dezileau, L., Mahé, G., Chiarella, D., Abdeljaouad, S., 2019. Recent geochemical and grain size distribution of terrestrial sediment in coastal area from the watershed of Medjerda River, Gulf of Tunis. In: Boughdiri, M., Bádenas, B., Selden, P., Jaillard, E., Bengtson, P., Granier, B., (Eds.), Paleobiodiversity and Tectono-Sedimentary Records in the Mediterranean Tethys and

- Related Eastern Areas. CAJG 2018. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham. pp. 347- 351. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01452-0_83.
- Bertolotto, R.M., 2005. Heavy metals in coastal sediments of the Ligurian Sea off vado ligure. Journal de physique 107, 159-162. <https://10.1051/jp4:20020267>
- Boussen, S., Soubrand, M., Bril, H., Ouerfelli, K., Abdeljaouad, S., 2013. Transfer of lead, zinc and cadmium from mine tailings to wheat (*Triticumaestivum*) in carbonated Mediterranean (Northern Tunisia) soils, Geoderma 192, 227-236. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.08.029>
- Davis, J. C., 1973. Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley International, New York, p. 656.
- Dolati, A., 2010. Stratigraphy, Structure Geology and Low-Temperature Thermochronology across the Makran Accretionary Wedge in Iran. PhD Thesis, ETH, Zurich, Zurich. p. 309.
- Folk, R.L., 1974. Petrology of sedimentary Rock: Hemphill publishing Co., Austin, Texas. p. 182.
- Ghadimi, F., 2015. Prediction of heavy metals contamination in the groundwater of Arak region using artificial neural network and multiple linear regression, Journal of Tethys 3, 203-215.
- Ghadimi, F., Ghomi, M., 2016. Statistical analysis of exploration geochemical data using function in statistica environment, Print: Arak University of Technology Publications 288 (in Persian with English abstract).
- Haji-Hossini, M., Varvani, J., Abdi, N., 2013. Investigation and comparison of annual concentration of heavy metals in anzali wetland sediments, Second National Conference on Environmental Protection and Planning, Hamedan (in Persian with English abstract).
- Gholamdokht, Bandari, M., Rezaie, P., 2015. Study of some heavy metal pollutions in the Hormoz Islands coastal sediments and their origin. Journal of Oceanography 6, 97-106.
- Hassanzadeh-Hosseiniabadi, H., Shirdel-Shahmiri, F., Ahmadi, O., Mehdinia, M., 2009. Investigation of heavy metals release in water and sediments of Miankaleh international wetland and comparison with Tajan and Seyahrood rivers in Mazandaran Province, First National Iranian Wetlands Conference, Islamic Azad University of Ahvaz, Iran (in Persian with English abstract).
- Hawkes, K., O'connell, J.F., Blurton jones, N.G., Alvarez, H., Charnov, E.L., 1997. Grandmothering, menopause, and the evolution of human life histories. MS, Department of Anthropology, University of Utah.
- Heidari Chaharlang, B., Riahi Bakhtiari, A., Yavari, V., 2011. Investigation of heavy metal concentrations (Pb,Zn,Cd and Cu) in surface sediments off the coast of Lengeh port, Fifth Specialized Conference on Environmental Engineering.
- Khazaee, T., Pourkhabaz, A. R., 2011. Investigation of heavy metals cocentration in different size of sediments (Anzali wetland), Echobiology Wetland 3, 47-56 (in Persian with English abstract).
- Khadivar, Sh., Taghipour, B., 2019. Geochemistry, origin and behavior of trace elements in nickel lathe Chah Gheyb, Ghaderabad, Fars province, Journal of Advanced Applied Geology 120-132. <https://doi.org/10.22055/AAG.2019.26568.1876>
- Khodakhah, M., Pishgar, F., 2015. Investigation of heavy metal production industries in Anzali wetland basin and appropriate filtration management to reduce their pollution, Second National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Koma-e-Ali Afaran Danesh Scientific Research Institute, Babol, Iran (in Persian with English abstract).
- McCall, G.J.H., 2002, A Summary of the Geology of the Iranian Makran. In: Clift, P.D., Kroon, F.D., Gaedecke, C., Craig, J., (Eds.), The Tectonic and Climatic Evolution of the Arabian Sea Region, Special Publication 195, Geological Society, London. pp. 147-204.
- Mehdipour, N., Moradi-Nasab, A., Saeidpour, B., 2015. Evaluation of hazards of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn, Hg) on watersheds and sediments in Anzali wetland, Second International Conference on Wetland Management and Engineering, Environment and Health Tehran University, Karaj (in Persian with English abstract).
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M., 2004. Elements and their compounds in the environment, John Wiley. p. 1170.
- Mortazavi, S., Saberi -Nasab, F., 2016. Survey of copper and nickel heavy metals pollution in surface sediments of Mighan Arak wetland using pollution and sediment quality indices, International Conference on Civil, Architecture, Urban Management and Environment in the Third Millennium, Rasht (in Persian with English abstract).

- Morovti, H., 2005. Fundamentals of Coastal Hydraulics, Daryasar Publications. p. 270 (in Persian).
- Moussavi Harami, R., 2014. Sedimentology, Behnashr Publications. p. 476 (in Persian).
- Nafar, R.A., Zamani, A., Paryzanganeh, A., Shokrzadeh, M., 2015. Evaluation of concentration of some heavy metals in water of Alagol international wetlands, Almaglooaji Golder, Golestan Province, 4th International Conference on Environmental Planning and Management, Faculty of Environment, University of Tehran, Iran (in Persian with English abstract).
- Nosrati, K., Ahmadi, H., Sharifi, F., 2011, Investigation of sediment sources: the relationship between soil enzymatic activities and sediment. Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources 60, 227-237. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(11\)60082-6](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60082-6)
- Rao, P. G., Reddy, K.S.N., Sekhar, C.R., Naidu, K.B., Krishna, K.M., Reddy, G.V.R., 2019. Provenance studies of ilmenite from Red Sediments, Bhimunipatnam Coast, East Coast of India. Journal of the Geological Society of India 93(1), 101-108. <https://doi.org/10.1007/s12594-019-1128-6>
- Roddy, B. P., 2010. The use of the sediment fingerprinting technique to quantify the different sediment sources entering the Whangapoua Estuary, North Island, in New Zealand. Ph.D. Thesis, University of Waikato. New Zealand.
- Samadian, M.R., Jafarian, M.B., 1996. Geological map of Chabahar, scale 1:100000. Geological Survey of Iran, Persian.
- Tucker, M.E., 2001. Sedimentary Petrology: an Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks, Third edition, Blackwell Science, Oxford. p. 260.
- Ungaro, F., Ragazzi, F., Cappellin, R., Giandon, P., 2008. Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): Mapping the probability of exceeding contamination thresholds, Journal of Geochemistry Exploration 96, 117-131. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2007.03.006>
- Wentworth, C. K., 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. Journal of Geology 30, 377-392.
- Zarei-Shamili, S., 2013. Physical sedimentology of coastal deposits of Hormoz Island. MSc. Thesis in Geology, University of Hormozgan.