



Investigating Changes in the Concentration and Origin of Hydrocarbon Compounds in the Surface Sediments of the Coastal Strip of the Persian Gulf, in the Authority Area of Bushehr Port

Bahman Kiani Shahvandi, Ali Moghimi Kandelous*, Mozhgan Salavati and Saeid Hakimi Asiabar

Department of Geology, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

Ali.moghimi.ks@gmail.com

DOI:10.22078/PR.2023.4981.3223

Received: December/06/2022

Accepted: March/07/2023

Introduction

The increasing development of the industry, although it brings countless benefits, but unfortunately, it leads to certain problems such as environmental pollution. The contamination of aquatic ecosystems with petroleum hydrocarbons is one of the most important topics that has received a lot of attention in recent years. and several studies have been conducted in this field [1-4]. Bushehr province in the south of Iran is one of the important provinces related to the oil industry, which has a water border with the Persian Gulf. Bushehr port located in Bushehr province in the south of Iran (Figure 1) due to its connection with the Persian Gulf and having long beaches is considered one of the prone spots for pollution related to hydrocarbon compounds and heavy metals. The large number of oil fields and installations and industrial activities that end up on the shore of Bushehr port have caused the coastal ecosystem of this port to be at risk of pollution related to hydrocarbon compounds. The purpose of this research is to investigate the concentration of petroleum hydrocarbons in coastal sediments in the area of Bushehr port. Undoubtedly, the results of this research lead to the correct zoning of this beach from the point of view of changes in the concentration of petroleum hydrocarbons and contribute a lot to the environmental management of this ecosystem.

Materials and Methods

Sampling was done systematically on the shore of

Bandar Bushehr. In this method, the number of 27 stations was determined at a distance of 1 km from each other (Figure 1). In some stations, due to the morphology of the coast, this distance is reduced and sometimes increased. Sampling was done in the coastal strip during low tide. Sampling of beach surface sediments (0 to 10 cm) was done [5]. Mass spectrometer analysis was done on these samples.

Results and Discussion

Among the 16 common aromatic compounds, dibenzoanthracene and indopyrene, which are heavy aromatics, were not reported in the studied samples. Based on results, the highest average concentration belongs to naphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, phenanthrene, pyrene, anthracene, fluoranthene, benzo-anthracene, benzopyrene, benzoperylene, benzofluorene, chrysene, and benzofluoranthene. The total amount of aromatic compounds in the coastal sediments of Bushehr port fluctuates between 206 and 1463 ng/g. The main aromatic compounds of these deposits are light aromatics, and the concentration of heavy aromatics in these deposits is low. The largest volume of aromatic compounds is concentrated in the northern part of Sahel. The northern stations of the coastal strip are adjacent to the road and shipping routes; therefore, one of the sources of pollution in these stations is the pollution caused by these activities.

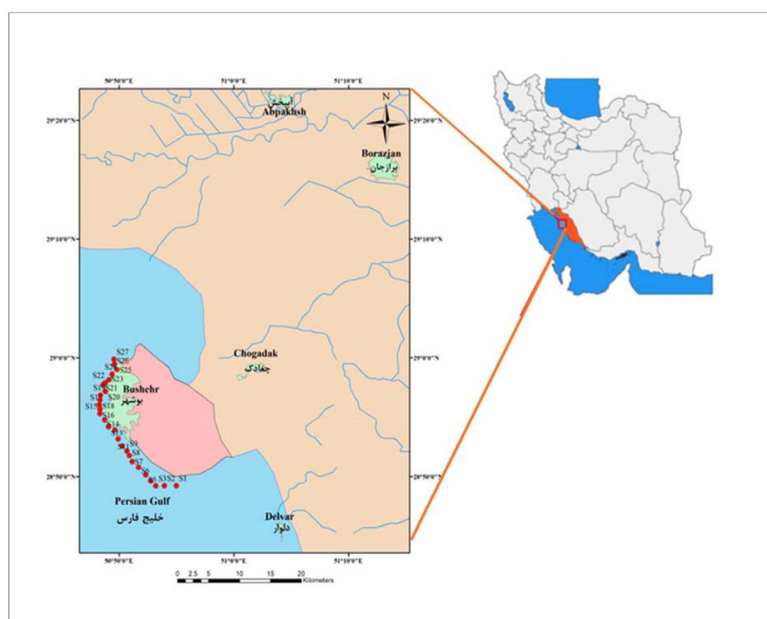


Fig. 1 The location of Bushehr Port and the samples taken from the coastline of Bushehr Port.

The highest concentration of light aromatic compounds are concentrated in the deposits in the south of the coastal strip and in the north of the coastal strip, but the heavy compounds are mainly concentrated in the middle part of the coastal strip, and the concentration of these compounds is low in the north and south of the coast. In the study of cyclic aromatic hydrocarbons, in order to determine the sources of pollution to the environment, the calculation of some PAHs compounds is used in relation to each other, which are known as the molecular ratios of PAHs [6]. The

concentration percentage of hydrocarbons based on the number of rings is presented in Figure 5. 3-ring and 2-ring aromatics have the highest concentration, followed by 4-ring aromatics (Figure 2). On the other hand, 5-ring aromatics have the lowest concentration, and 6-ring aromatics were not present in the deposits. The frequency ratio of 2-3-ring aromatics to 4-6-ring aromatics is used to identify petrogenic and pyrogenic sources. is used [7]. Based on this ratio, the origin of these compounds is generally petroleum.

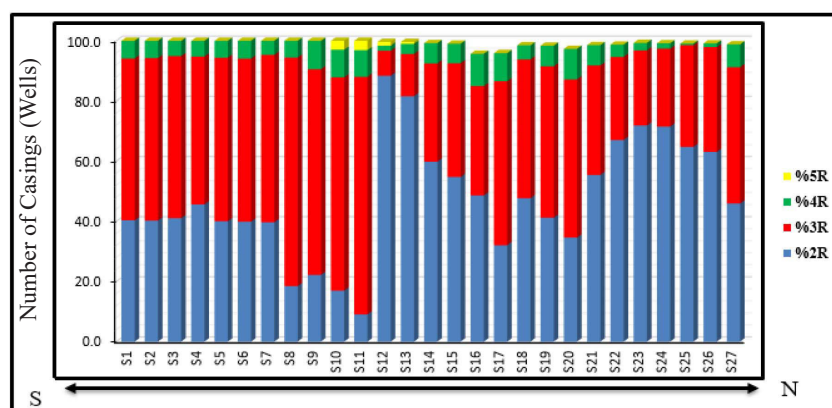


Fig. 2 The percentage of the number of aromatic rings in the studied samples.

Conclusions

The investigation of the concentration of aromatic compounds in the Persian Gulf coast in the area of Bushehr port showed that the highest average concentration belongs to naphthalene, acenaphthene, acenaphthylene, phenanthrene, pyrene, anthracene, fluoranthene, benzo-anthracene, benzopyrene, benzoperylene, benzofluorene, chrysene and

benzofluoranthene respectively. is. The total amount of aromatic compounds in the coastal sediments of Bushehr port fluctuates between 206 and 1463 ng/g, which is within the range of concentrations reported in similar studies on the shores of the Persian Gulf. The main aromatic compounds of this precipitate are light and 2- and 3-ring aromatic compounds. The largest volume of aromatic compounds is

concentrated in the northern part of the coast and the middle part of the coast, and the concentration of compounds is low in the southern part of the coast. The trend of changes in light aromatic compounds is similar to the aforementioned trend, but the trend of changes in heavy aromatics is different and their main concentration is in the middle part of the coast, and the concentration of these compounds decreases towards the north and south of the coast, although the concentration of some of these compounds is below the detection limit in several stations. have been. The northern stations of the coastal strip are adjacent to the road and shipping routes, therefore one of the sources of pollution in these stations is the pollution caused by these activities. On the other hand, these stations are located in the southwest of Khark Island, where sea currents have the ability to transfer pollution caused by the exploitation and transportation of oil products in the offshore fields of the Persian Gulf to the coast, and this is the important source of these aromatic compounds. . In the middle part of the beach, there is also the entry of urban sewage and garbage into this beach, and in this part, the pollution from land and sea transportation and polluted streams from the Golshan gas field are the origin of these compounds. Based on different provenance indices, the origin of these compounds is different and includes pyrogenic and petrogenic. However, more stations show petroleum and petrogenic origin, which is similar to previous studies on Persian Gulf and Bushehr coasts. Based on pollution standards, stations in the middle part of the coastal strip in the north of Bandar Bushehr coastal strip have a high pollution load from the point of view of aromatic compounds, and other stations have an average pollution load. Based on the quantitative and qualitative assessment of soil pollution and soil quality guidelines (SOGS), the concentration indices of all hydrocarbons are in the range of effects with a low range, and only the concentration of Ace compound is in the range of effects with a medium range. Considering the negative effects of these compounds on humans and animals, as well as the continuation of industrial, port and oil activities on the coast of the Persian Gulf, continuous monitoring of this coast and even offshore sediments is essential in order to control the environmental conditions of this ecosystem.

References

1. Ali Azadi, N., Mansouri, B., Spada, L., Sinkakarimi, M. H., Hamesadeghi, Y., & Mansouri, A. (2018). Contamination of lead (Pb) in the coastal sediments of north and south of Iran: a review study. *Chemistry and Ecology*, 34(9): 884-900.
2. Elsaygh, A., Jalilian, H., & Aslshabestari, M. G. (2021). Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Iran: Mercury pollution and environmental geochemical indices. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112314.
3. Khomarbaghi, Z., Amoozegar, M., Shavandi, M., Dastgheib, S., Tirandaz, H. (2016). Investigation of the Potential of Indigenous Bacteria of Siri Island in Remediation of Petroleum Contaminants. *Journal of Petroleum Research*, 25(85-1), 180-192. doi: 10.22078/pr.2016.589
4. Ghorbannezhad, H., Moghimi, H., Dastgheib, M. (2020). Enhanced Biodegradation of Heavy Hydrocarbons by *Aspergillus Pseudodeflectus* F13 in the Presence of Rhamnolipid. *Journal of Petroleum Research*, 30(99-2), 61-75. doi: 10.22078/pr.2020.3222.2490
5. Gustafson, K.E., Dickhut, R.M. (1997). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Southern Chesapeake Bay surface water: evaluation of three methods for determining freely dissolved water concentrations. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol.16, pp.452-461.
6. Bahrami, S., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2021). Evaluation, source apportionment and health risk assessment of heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and vegetable of Ahvaz metropolis. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27(1), 71-100.
7. Qi, P., Qu, C., Albanese, S., Lima, A., Cicchella, D., Hope, D., ... & De Vivo, B. (2020). Investigation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Caserta provincial territory, southern Italy: Spatial distribution, source apportionment, and risk assessment. *Journal of hazardous materials*, 383, 121158

بررسی غلظت و منشا ترکیبات هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (PAHs) در رسوبات سطحی نوار ساحلی خلیج فارس، در محدوده حاکمیت بندر بوشهر

بهمن کیانی شاهوندی، علی مقیمی کندلوس^{*}، مژگان صلواتی و سعید حکیمی آسبایر

گروه زمین‌شناسی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

چکیده

آلودگی اکوسیستم‌های آبی به هیدروکربن‌های نفتی یکی از مهم‌ترین مباحثی است که در سال‌های اخیر چالش برانگیز شده است. بندر بوشهر واقع در استان بوشهر در جنوب ایران به واسطه ارتباط با خلیج فارس و داشتن سواحل طویل یکی از نقاط مستعد آلودگی‌های مرتبط با ترکیبات هیدروکربنی می‌باشد. به منظور بررسی غلظت ترکیبات آروماتیک رسوبات سطحی ساحل بندر بوشهر تعداد ۲۷ نمونه رسوب برداشت گردیده و مورد آنالیز GC قرار گرفته است. مقدار کل ترکیبات آروماتیک در رسوبات ساحلی بندر بوشهر بین ۲۰۶ تا ۱۴۶۳ ng/g در نوسان می‌باشد. بیشترین حجم ترکیبات آروماتیک در نوار شمالی ساحل و میانه ساحل متمرکز است و در نوار جنوبی ساحل نیز غلظت ترکیبات کم می‌باشد. این ترکیبات دارای منشأ پالئوژنیک و پتروژنیک می‌باشند هرچند سهم منشأ پتروژنیک بیشتر می‌باشد. منشأ ترکیبات احتراق حاصل حمل و نقل دریایی و زمینی، فاضلاب‌های شهری و خانگی و جریان‌های فراساحل حامل ترکیبات نفتی نشأت گرفته از میادین نفتی خلیج فارس می‌باشد. بر مبنای استانداردهای آلودگی قسمت‌های شمالی و میانی نوار ساحلی خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر نسبت به ترکیبات آروماتیک دارای بار آلودگی متوسط و در قسمت‌های جنوبی بار آلودگی کم می‌باشد.

کلمات کلیدی: ترکیبات آروماتیک، رسوب، ساحل خلیج فارس، بوشهر، ایران.

مقدمه

آلودگی محیط زیست را به دنبال دارد. آلودگی اکوسیستم‌های آبی به هیدروکربن‌های نفتی یکی از مهم‌ترین مباحثی است که در سال‌های اخیر به آن توجه زیادی شده است و مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است [۱-۴] زیرا این اکوسیستم‌ها به طور نهایی دریافت

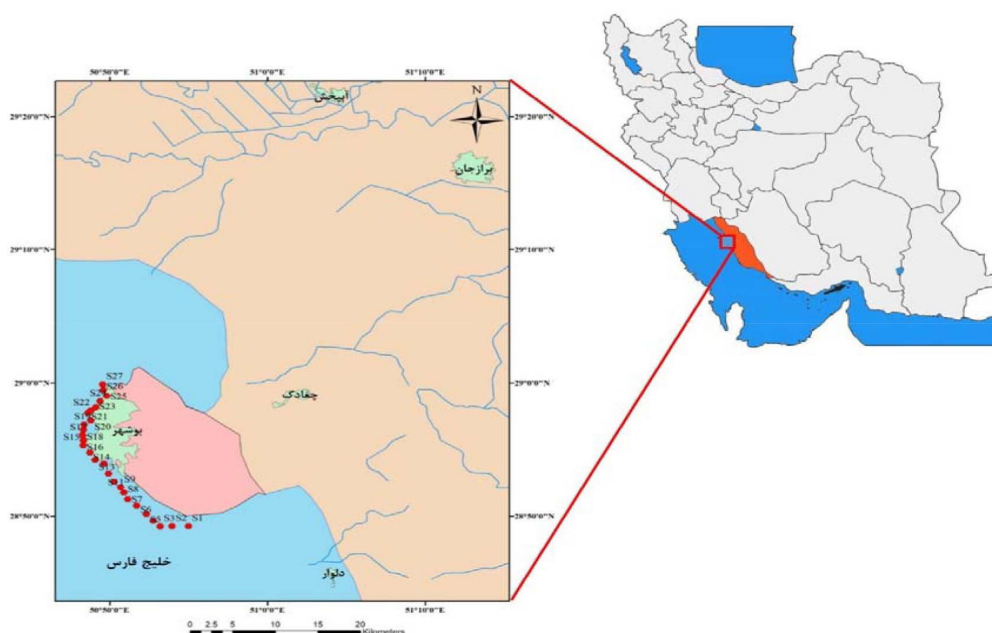
توسعه روز افزون صنعت اگرچه مزایای بی شماری را به همراه دارد ولی متأسفانه مشکلات خاصی همچون

^{*}مسئول مکاتبات
آدرس الکترونیکی: mah.nazari_sarem@iauctb.ac.ir
شناسه دیجیتال: (DOI:10.22078/PR.2023.4981.3223)

طویل یکی از نقاط مستعد آلودگی‌های مرتبط با ترکیبات هیدروکربنی و فلزات سنگین به شمار می‌رود. نوع ساختار رسوبات مکانی مناسب برای تجمع انواع آلاینده‌های آلی، به ویژه هیدروکربن‌های نفتی است [۱۱]. در سال‌های اخیر، مسأله افزایش آلودگی توده‌های آب و نواحی مجاور خط ساحلی به دلیل ریزش نفت مورد توجه بوده است [۱۲]. رتعد زیاد میادین و تأسیسات نفتی و فعالیت‌های صنعتی که به ساحل بندر بوشهر ختم می‌شوند، باعث شده است تا اکوسیستم ساحل این بندر در خطر آلودگی‌های مرتبط با ترکیبات هیدروکربنی قرار بگیرد. لزوم توسعه سواحل از یک سو و برنامه‌ریزی مدون برای تبدیل سواحل ایران به مرکز ژئوتوریسم ساحلی سبب شده است که پایش‌های زیست محیطی سواحل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. از این رو هدف از این تحقیق، بررسی غلظت هیدروکربن‌های نفتی رسوبات ساحلی در محدوده بندر بوشهر می‌باشد. بی شک نتایج این پژوهش منجر به پهنه‌بندی درست این ساحل از منظر تغییرات غلظت هیدروکربن‌های نفتی شده و کمک‌های زیادی به مدیریت زیست محیطی این اکوسیستم می‌نماید.

کننده هیدروکربن‌های نفتی هستند. ترکیبات آلی در نفت با توجه به ماهیت سمی و تجمعی خود می‌توانند تأثیرات بسیار مخربی در حیات و سلامت گونه‌های جانوری و گیاهی دریا داشته باشند [۵]. ترکیبات نفتی با تجمع در بافت‌های چربی و عضلانی بدن آبزیان، سبب آلودگی گونه‌های آبزی مورد استفاده انسان خواهند شد [۶]. ورود ترکیبات نفتی به شبکه غذایی انسان از طریق این آبزیان، انواع مسمومیت‌ها و بیماری‌ها را برای انسان به دنبال خواهد داشت [۷-۸]. هیدروکربن‌های نفتی بعد از ورود به دریا تحت تأثیر تغییرات گسترده فیزیکی و شیمیایی انحلال، انتقال، پخش، تبخیر، هوازدگی، امولسیون، اکسیداسیون، رسوب‌گذاری و فعالیت‌های میکروبی قرار می‌گیرند [۹]. استان بوشهر در جنوب کشور ایران یکی از استان‌های مهم مرتبط با صنعت نفت است که دارای مرز آبی با خلیج فارس می‌باشد. اهمیت و ارزش اصلی خلیج فارس به خاطر وجود منابع سرشار نفت در این منطقه است که روز به روز بر اهمیت این منطقه می‌افزاید [۱۰]. بندر بوشهر واقع در استان بوشهر در جنوب ایران (شکل ۱).

به واسطه ارتباط با خلیج فارس و داشتن سواحل



شکل ۱ موقعیت بندر بوشهر و نمونه‌های برداشت شده از خط ساحلی بندر بوشهر.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری در ساحل بندر بوشهر به صورت سیستماتیک صورت گرفت. در این روش تعداد ۲۷ ایستگاه به فاصله ۱ Km از هم مشخص گردید (شکل ۱). در بعضی ایستگاه‌ها به دلیل ظاهری ساحل این فاصله کم و گاهی زیاد شده است. نمونه‌برداری در نوار ساحلی در هنگام جزر صورت گرفت. عملیات نمونه‌برداری از رسوبات سطحی ساحل (۰ تا ۱۰ cm) انجام گرفت [۱۳-۱۴]. در این عملیات نمونه‌برداری، برای برداشت نمونه، از بیلچه پلاستیکی استفاده شد. در هر ایستگاه نمونه‌برداری، نمونه‌های رسوبات سطحی از ۵ نقطه مجزا به فاصله ۱۰ m از یکدیگر و در چهار رأس و مرکز یک لوزی صورت گرفت. مشابه این روش نمونه‌برداری در پژوهش حسینی بیزکی و همکاران [۱۵]. صورت گرفت. رسوبات پس از نمونه‌برداری در درون ورق آلومینیومی قرار داده شده و پس از بسته‌بندی درون محفظه پر از یخ قرار داده شده است و تا زمان آنالیز در دمای منفی $^{\circ}\text{C} 20$ نگهداری می‌شود [۱۶]. در هر ایستگاه ۵ نمونه برداشت شده بود که قبل از انجام آنالیزها این ۵ نمونه باهم مخلوط شده و یک نمونه از هر ایستگاه برای آنالیز آماده می‌شود. علت این مهم کاهش خطا و افزایش دقت خوانش آنالیزها می‌باشد.

آنالیز ژئوشیمیایی

پس از مخلوط کردن نمونه‌های مربوط به هر ایستگاه، جهت خشک کردن نمونه‌های جمع‌آوری شده، مقدار $g 200$ از نمونه‌ها در دستگاه فریز درایر در دمای منفی $^{\circ}\text{C} 60$ به مدت $h 72$ قرار گرفته و سپس هموژنیزه شدند. پس از آن، نمونه‌های خشک شده توسط پودر چینی پودر شده و از غربال $\mu 63$ عبور داده شدند. مقدار $g 5$ از هر نمونه با $ml 100$ حلال دی کلرومتان مخلوط شدند و جهت استخراج مواد آلی آن به مدت $h 10$ در دستگاه ساکسوله قرار گرفتند. به مواد آلی استخراجی،

جهت گوگردزدایی، $g 3$ مس فعال به ظروف حاوی نمونه‌ها اضافه گردید و از کاغذ فیلتری عبور داده شد تا محتویات گوگرد از ترکیب خارج گردد. حلال‌های آلی استفاده شده در فرایند ساکسوله، توسط دستگاه حلال پران چرخشی و جریان ملایم گاز نیتروژن حذف گردیدند. مواد آلی استخراج شده از نمونه‌ها، طی دو مرحله توسط ستون‌های کروماتوگرافی شیشه‌ای عبور داده شدند. در طول ستون اول، ترکیبات غیرقطبی نظیر آلکان‌ها، آروماتیک‌های چندحلقه‌ای، آلکیل بنزن سولفونیت‌ها و هپان‌ها توسط $m 20$ ترکیب مخلوطی از دی کلرومتان و هگزان، با نسبت ۱ به ۳، جدا شدند. فاز ثابت سیلیکاژل ۵٪ غیرفعال شده با آب بود. نمونه‌ها توسط دستگاه حلال پران چرخشی و همچنین جریان ملایم گاز نیتروژن به $m 2-1$ غلیظ شدند. در نهایت آلکان‌های نرمال با استفاده از سیلیکاژل فعال به عنوان فاز ثابت و $m 4$ هگزان نرمال به عنوان فاز متحرک جداسازی گردید. آلکان نرمال غلیظ شده با جریان ملایم گاز نیتروژن خشک شده و آماده برای تزریق به دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی گردیدند. $\mu l 1$ از آلکان‌های نرمال جدا شده از نمونه‌ها به دستگاه کروماتوگرافی گازی-طیف سنج جرمی تزریق شدند. گاز حامل در ستون دستگاه، نیتروژن با نرخ تزریق $m/min 1/5$ بوده است. دمای اولیه آون $^{\circ}\text{C} 60$ بوده است که برای $min 2$ نیز ثابت نگه داشته شد و پس از آن با نرخ افزایش $^{\circ}\text{C} 8$ در دقیقه تا دمای $^{\circ}\text{C} 300$ افزایش یافت و به مدت $min 20$ هم در این دما نگه داشته شد. این آنالیز در آزمایشگاه نوین شیمیار صورت گرفت.

بحث و نتایج

در بین آلاینده‌های آلی، هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی به دلیل خواص شیمیایی و اثرات بیولوژیک ویژه، بیش از سایرین مورد توجه محققین قرار گرفته‌اند [۱۷-۱۸]. هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، ترکیبات معطری هستند که دارای دو یا

چند حلقه بنزنی می‌باشند. این ترکیبات در زمان تخریب دمایی، مولکول‌های آلی و ترکیبات مشابه آنها تشکیل می‌شوند [۱۹ و ۲۰]. پارامترهای آماری غلظت ترکیبات آروماتیک نمونه‌ای مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. از بین ۱۶ ترکیب آروماتیک مرسوم ترکیب دی بنزو آنتراسن و ایندیوپایرن که از آروماتیک‌های سنگین می‌باشند در نمونه‌های

مورد مطالعه گزارش نشده‌اند. بر مبنای جدول ۱ بیشترین میانگین غلظت به ترتیب متعلق به نفتالن، آسنفتن، آسنفتیلن، فنانترن، پایرن، آنتراسن، فلورانتن، بنزو-آنتراسن، بنزوپایرن، بنزو پریلن، بنزوفلورانسین، کرایسن و بنزوفلورانتن می‌باشد. مقدار کل ترکیبات آروماتیک در رسوبات ساحلی بندر بوشهر بین ۲۰۶ تا ۱۴۶۳ ng/g در نوسان می‌باشد.

جدول ۱ پارامترهای آماری ترکیبات آروماتیک ($\mu\text{g/g}$) در نمونه‌های رسوبات سطحی خط ساحلی بندر بوشهر.

فلورانتن	آنتراسن	فنانترن	فلورن	آسنفتن	آسنفتیلن	نفتالن	ترکیب
۴	۳	۳	۳	۳	۳	۲	حلقه
۷۶/۱	۵۰/۷	۹۸/۳	۴۱/۱۲	۱۹۳/۶	۱۶۹/۳	۱۲۹۳/۲۵	بیشینه
۲/۶	۵/۳	۳/۰۷	۵/۹۷	۱۶/۸	۱۲/۸۵	۵۲/۶۳	کمینه
۱۵/۶۲	۲۶/۲۳	۴۱	۲۴/۶۷	۱۲۰	۱۰۴/۸	۴۲۵/۹	میانگین
۱۵	۸/۵۳	۲۱/۹	۱۰/۶	۵۳/۵۴	۳۹/۶	۳۱۵/۶	انحراف معیار
۱/۰۴	۳/۰۸	۱/۸۷	۲/۳۲	۲/۴۲	۲/۶۶	۱/۳۵	ضریب تغییرات
۶۰۰	۸۵/۳	۲۴۰	۱۹	۱۶	۴۴	-	حد بحرانی
بنزو (ghi) پریلن	بنزو (a) پایرن	بنزو (k) فلورانتن	بنزو (b) فلورانتن	کرایزن	بنزو (a) آنتراسن	پایرن	ترکیب
۶	۵	۵	۴	۴	۴	۴	حلقه
۱۲/۹۷	۱۰/۳	۸/۶	۹/۲	۱۵/۳	۱۵/۷	۵۵/۶۳۸	بیشینه
۳/۴	۸/۲	۷/۳	۸/۳	۱/۸	۱۳/۲	۳/۳۳	کمینه
۹/۲	۹/۴۵	۷/۹	۸/۸	۸/۰۸	۱۴/۵	۲۸	میانگین
۲/۴	۰/۷۶	۰/۵۳	۳۷	۳/۹	۱/۰۲	۱۲/۴۶	انحراف معیار
۳/۷۴	۱۲/۲۷	۱۴/۹	۲۳/۵	۲/۰۵	۱۴/۱۷	۲/۲۴	ضریب تغییرات
-	۴۳۰	-	-	۳۸۴	۲۶۱	۶۶۵	حد بحرانی

عمده ترکیبات آروماتیک این نهشته‌ها آروماتیک‌های سبک می‌باشند و غلظت آروماتیک‌های سنگین در این نهشته‌ها کم می‌باشد. بیشترین حجم ترکیبات آروماتیک در نوار شمالی ساحل متمرکز است. در ایستگاه‌های ۱۲ S، ۱۳ S و ۱۴ S نیز غلظت این ترکیبات بالا می‌باشد. در نوار جنوبی ساحل نیز غلظت ترکیبات کم می‌باشد (شکل ۲). ایستگاه‌های شمالی نوار ساحلی در همجواری جاده و مسیرهای حمل و نقل قایقرانی می‌باشند. از این رو یکی از منشأهای آلودگی این ایستگاه‌ها، آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها می‌باشد. از سویی دیگر، این

ایستگاه‌ها در جنوب غرب جزیره خارک قرار دارند. در محدوده این ایستگاه‌ها و جزیره خارک میدان نفتی ابوذر واقع شده که دارای ۸۹ حلقه چاه با ظرفیت روزانه تولید ۱۸۵ هزار بشکه نفت می‌باشد و این نفت تولیدی با خط لوله برای تصفیه و صادرات به جزیره منتقل می‌شود [۲۱]. از این رو به نظر می‌رسد در فرآیند بهره‌برداری و انتقال این نفت، غلظت ترکیبات آروماتیک محدوده‌های اطراف دستخوش تغییر گردیده و رسوبات دریا و ساحل خلیج فارس در شمال بندر بوشهر را نیز شامل شده است.

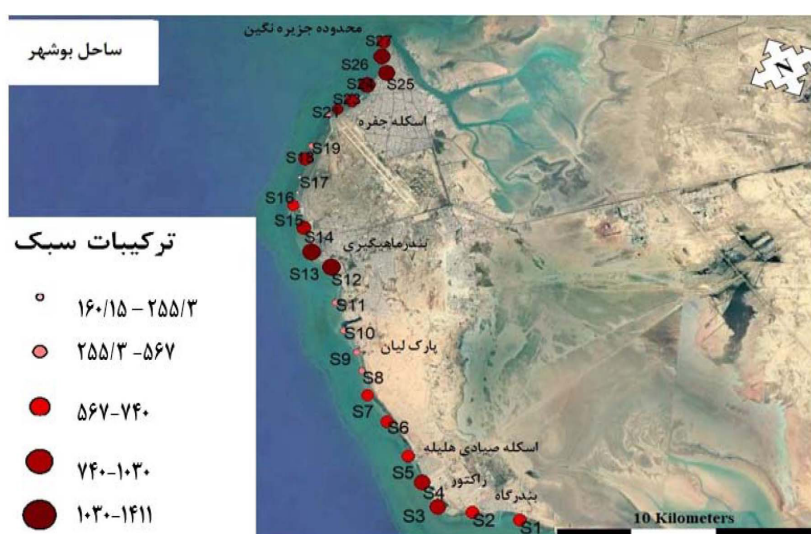


شکل ۲ پراکندگی مجموع ترکیبات آروماتیک ($\mu\text{g/g}$) در رسوبات سطحی ساحل بوشهر.

از این رو آلودگی‌های میادین نفتی فراساحل را به سمت ساحل هدایت می‌کنند.

آروماتیک‌های سبک مجموع PAH‌های با ۲ و ۳ حلقه بنزن است و آروماتیک‌های سنگین مجموع PAH‌های با ۴، ۵ و ۶ حلقه بنزن هستند. بیشترین غلظت ترکیبات آروماتیک سبک در نهشته‌های جنوب نوار ساحلی و شمال نوار ساحلی متمرکز می‌باشند (شکل ۳) اما ترکیبات سنگین عمدتاً دربخش میانی نوار ساحلی متمرکز شده‌اند و در شمال و جنوب ساحل غلظت این ترکیبات کم می‌باشد (شکل ۴).

تأثیر این میدان و فعالیت‌های مرتبط با آن در آلودگی رسوبات ساحل و دور از ساحل استان بوشهر در پژوهش باطنی و همکاران [۲۱]. نیز تأیید شده است. در محدوده میانی نوار ساحلی نیز غلظت ترکیبات آروماتیک بالا می‌باشد. در این قسمت نیز فاضلاب‌های شهری وارد محدوده ساحل می‌شود. همچنین در ۶۵ km نوار ساحلی میدان گازی گلشن وجود دارد که به نظر می‌رسد فعالیت‌های مرتبط با این میدان نیز بر میزان غلظت ترکیبات آروماتیک تأثیر گذاشته است. جریانات عمقی خلیج فارس بیشترین تأثیر را بر رسوبات منطقه دارند و از سمت فراساحل به سمت ساحل در حرکت هستند



شکل ۳ پراکندگی مجموع ترکیبات آروماتیک سبک (ng/g) در رسوبات سطحی ساحل بوشهر.



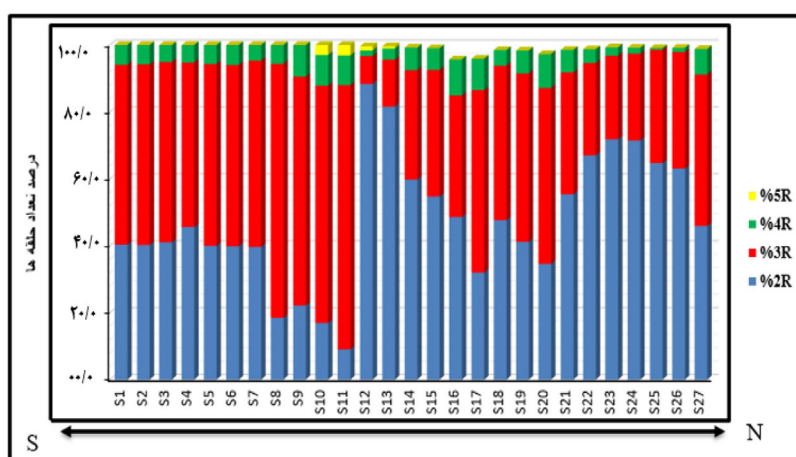
شکل ۴ پراکندگی مجموع ترکیبات آروماتیک سنگین (ng/g) در رسوبات سطحی ساحل بوشهر.

مبنای این طبقه‌بندی ایستگاه‌های S12، S13 و S14 در بخش میانی نوار ساحلی و ایستگاه‌های S23 تا S27 در شمال نوار ساحلی بندر بوشهر از منظر ترکیبات آروماتیک دارای بار آلودگی بالا می‌باشند و سایر ایستگاه‌ها دارای بار آلودگی متوسط می‌باشد. همچنین در بین نمونه‌های مورد مطالعه هیچکدام بار آلودگی پایینی نداشته و این مهم نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده در ساحل بندر بوشهر می‌باشد. مقایسه داده‌های غلظت ترکیبات با استاندارد کیفیت رسوب آمریکا نشان داد که میانگین غلظت ترکیبات آسفنتیلن، آسفنتن، فلورن و فنانترن بیش از این استاندارد است و خطر آلودگی این ترکیبات وجود دارد. سایر ترکیبات دارای غلظتی کمتر از این استاندارد می‌باشند و خطر آلودگی کمی دارند. این ترکیبات نامبرده شده در رده ترکیبات غیرسرطان‌زا می‌باشند. ترکیب آروماتیک فنانترن طبق رده‌بندی آژانس محیط‌زیست آمریکا، جزو آلاینده‌ترین ترکیبات بوده و تماس با آن باعث حساسیت پوست در برابر نور و تا حدی آلرژی می‌شود [۲۴-۲۵]. ترکیب آسفنتن حاصل احتراق و یک جزء از نفت خام می‌باشد [۲۶]. در مطالعه هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی جهت تعیین منابع وارد کننده آلودگی به محیط زیست از محاسبه برخی ترکیبات PAHs نسبت به هم استفاده می‌شود که به عنوان نسبت‌های مولکولی PAHs شناخته می‌شوند [۲۷-۲۸].

بررسی روند تغییرات غلظت ترکیبات آروماتیک در ساحل بوشهر حاکی از وجود منابع آلودگی متفاوت می‌باشد. ایستگاه‌های بخش میانی نوار ساحلی یعنی S12 تا S16 در محدوده مرکز شهر، بندرماهیگیری و پارک‌های شهری قرار دارند. به نظر می‌رسد آلودگی این ایستگاه‌ها به دلیل فعالیت‌های حمل و نقل اسکله‌ها و ورود فاضلاب شهری باشد. ایستگاه‌های مرکزی به شدت تحت تاثیر ورود فاضلاب‌های شهری با بار آلی می‌باشند. از سوی دیگر مواد آلی واسطه حرکت ترکیبات آروماتیک‌ها از آب به رسوب می‌باشند [۲۲-۲۳]، لذا غلظت زیاد ترکیبات در این ایستگاه‌ها تحت تاثیر این بار آلی نیز می‌باشد. بخش زیادی از هیدروکربن‌های سنگین در اثر احتراق سوخت ایجاد می‌شوند [۲۳]. از این رو غلظت این ترکیبات در بخش میانی نوار ساحلی و نزدیک به اسکله‌ها که در همجواری با وسایل نقلیه جاده‌ای می‌باشند زیاد هست و در جنوب ساحل که تراکم مراکز شهری و به تبع آن حمل و نقل کمتر است غلظت این ترکیبات کم می‌باشد. Bumard و همکاران [۱۳] طبقه‌بندی برای رسوبات از نظر میزان ترکیبات آروماتیک و آلودگی ارائه نمودند. بر مبنای این تقسیم‌بندی مناطق با غلظت کل ترکیبات آروماتیک کمتر از ۱۰۰ ng/g به عنوان مناطق دارای آلودگی کم، بین ۱۰۰ ng/g تا ۱۱۰۰ ng/g دارای بار آلودگی متوسط و مناطق با بیش از ۱۱۰۰ ng/g دارای بار آلودگی بالا می‌باشند [۱۳]. بر

داده‌اند و آروماتیک‌های ۶ حلقه‌ای نیز در نهشته‌ها وجود نداشته است. نسبت فراوانی آروماتیک‌های ۳-۲ حلقه‌ای به ۴-۶ حلقه‌ای برای شناسایی منابع پتروژنیک و پیروژنیک مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۹]. بر مبنای این نسبت منشأ این ترکیبات عموماً نفتی می‌باشد.

درصد غلظت هیدروکربن‌ها بر مبنای تعداد حلقه‌ها در شکل ۵ ارائه شده است. آروماتیک‌های ۳ حلقه‌ای و ۲ حلقه‌ای، بیشترین غلظت و بعد از آن آروماتیک‌های ۴ حلقه‌ای بیشترین غلظت را به خود اختصاص داده‌اند. از سویی دیگر کمترین غلظت را آروماتیک‌های ۵ حلقه‌ای به خود اختصاص



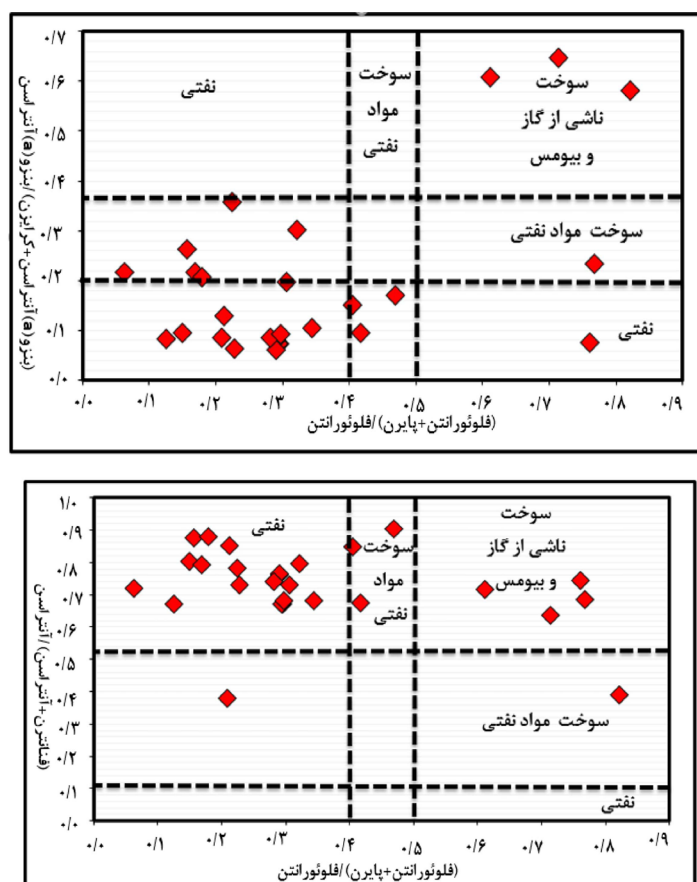
شکل ۵ درصد تعداد حلقه‌های آروماتیک‌ها در نمونه‌های مورد مطالعه.

بر مبنای این نمودارها ۴ منشأ برای این ترکیبات شناسایی شده است هرچند عمده نمونه‌ها منشأ نفتی را برای این ترکیبات نشان می‌دهد. نتایج منشأ یابی از پژوهش با مطالعات پیشین بر روی رسوبات سواحل بوشهر از جمله پژوهش صفاحیه و محمودی [۳۴] و باطنی و همکاران [۲۱] همخوانی دارد. بر مبنای این نتایج آلودگی ناشی از حمل و نقل، سوخت‌های گازی فلزهای نفتی، تولید و بهره‌برداری در میادین نفتی و گازی در ساحل بندر بوشهر منشأ اصلی این ترکیبات آروماتیک می‌باشند. لونگ [۳۵] برای ارزیابی کمی و کیفی آلودگی خاک و برای ارزیابی ریسک سلامت بر اساس دستورالعمل کیفی خاک (SOGS) شاخص‌های اکولوژیکی مانند ERM^۱ (حد متوسط آستانه) و ERL^۲ (حد پایین آستانه) را پیشنهاد کردند.

بر اساس نسبت LMW/HMW اگر این نسبت کمتر از ۱ باشد نشان‌دهنده منشأ پایروژنیک (احتراق) و اگر بیشتر از ۱ باشد نشان‌دهنده منشأ پتروژنیک (نفتی) می‌باشد [۲۷]. بر مبنای این شاخص عموماً منشأ آروماتیک‌های رسوبات ساحل بوشهر نفتی می‌باشند. بر مبنای نسبت (Flu/Flu+Pyr) نیز اگر مقدار این نسبت کمتر از ۰/۴ باشد منشأ پتروژنیک (نفتی) و اگر بیش از ۰/۵ باشد منشأ پایروژنیک (احتراق) را نشان می‌دهد [۳۱-۳۲]. نسبت این ترکیب در نمونه‌ها بین ۰/۱ تا ۰/۷ است و این مهم نشان‌دهنده هر دو منشأ پتروژنیک و پایروژنیک در نمونه‌ها می‌باشد هرچند عمده نمونه‌ها منشأ پتروژنیک دارند. به منظور بررسی دقیق منشأ ترکیبات آروماتیک از نمودارهای متقاطع استفاده شده است (شکل ۶). در این نمودارها محور X ها نسبت (فلوئورانتین+پایرن)/فلوئورانتین و نمودار Y نسبت‌های (بنزو (a) آنتراسن+کرایزن)/بنزو (a) آنتراسن و (فنانترن+آنتراسن)/آنتراسن می‌باشند.

1. Effects Range Medium

2. Effects Range Low



شکل ۶ موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار مقاطع نسبت‌های تشخیصی به منظور منشأیابی ترکیبات آروماتیک بر مبنای حدود آستانه [۳۳].

شوند به صورت بندرت، گاهی اوقات و اغلب موارد. نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت تقریباً تمام PAH ها کمتر از مقادیر ERL و در محدوده تأثیرات با دامنه کم است. غلظت ترکیب Ace بیش از ERL است و این مهم نشان از محدوده تأثیرات با دامنه متوسط برای این ترکیب دارد.

در سال‌های گذشته مطالعات متعددی در باره ترکیبات آروماتیک در ساحل و فراساحل بوشهر انجام شده است از جمله مطالعات Jafarabadi و همکاران [۳۶]، Mirza و همکاران [۳۷] و Akhbarizade و همکاران [۳۸]. اغلب این مطالعات منشأ پتروژنیک و پایروژنیک به صورت مخلوط در رسوبات سواحل استان بوشهر را تشخیص دادند.

معیارهای ERL و ERM با استفاده از صدک‌های th 10 و th 50 از افزایش غلظت در ارتباط با عوارض جانبی بیولوژیکی می‌باشد. غلظت کمتر از مقدار ERL حداقل اثرات زیست محیطی را دارد و بیانگر تأثیراتی است که به ندرت رخ می‌دهد. غلظت‌های مساوی یا بیشتر از ERL و پایین‌تر از ERL نشان‌دهنده محدوده تأثیرات ممکن^۱ است، که گاهی رخ می‌دهند. غلظت‌های برابر یا بالاتر از ERL نشان‌دهنده تأثیرات احتمالی^۲ هستند، اثراتی که اغلب رخ می‌دهند. در این مطالعه، مقادیر محدوده تأثیرات با دامنه کم (ERL) و محدوده تأثیرات با دامنه متوسط (ERL) برای ارزیابی سمیت زیست محیطی گونه‌های PAHs مورد استفاده قرار گرفت و در جدول ۲ ارائه گردید.

این غلظت‌ها تحت عنوان سه محدوده در غلظت‌های شیمیایی که همراه با عوارض جانبی هستند، تعریف

1. Possible-effects
2. Probable-effects

جدول ۲ معیارهای آلودگی استاندارد زیست شناختی اجزای هیدروکربن‌های آروماتیک حلقوی برای نمونه‌های مورد مطالعه [۳۵].

نمونه های مورد مطالعه	شاخص های اکولوژیک دستورالعمل کیفی خاک		ترکیبات
	میانگین (ppb)	حد آستانه متوسط (ppb)	حد آستانه پایین (ppb)
بیشینه (ppb)	۱۶۹/۳	۵۰۰	۱۶
۱۰۴/۸	۵۱۰۰	۶۰۰	آسفیتلین
۱۵/۶	۱۵۰۰	۲۴۰	فلوئورانتن
۴۱	۱۱۰۰	۸۵۳	فنانترن
۱۲۰/۱	۲۶۰۰	۶۶۵	آنتراسن
۲۸	۲۸۰۰	۳۸۴	پایرن
۸/۱	۱۶۰۰	۲۶۱	کرایزن
۱۴/۵	۱۸۸۰	۳۲۰	بنزو (a) آنتراسن
۸/۸			بنزو (k) فلوئورانتن

مطالعات مشابه در بحرین و عربستان می‌باشد. علت اختلاف فاحش غلظت ترکیبات در پژوهش حاضر با مطالعه صفاحیه و محمودی [۳۴] می‌تواند به علت تفاوت ایستگاه‌ها و تمرکز مطالعه آنان بر ورودی فاضلاب‌ها به ساحل بوشهر باشد.

جدول ۳ مقایسه غلظت ترکیبات آروماتیک ساحل بندر بوشهر با مطالعات مشابه را نشان می‌دهد. بر مبنای این جدول غلظت ترکیبات در نمونه‌های مورد مطالعه بیش از ساحل گیلان [۳۹] و کمتر از سایر مطالعات می‌باشد. حد پایین و بالای غلظت این ترکیبات در محدوده مورد مطالعه نزدیک به

جدول ۳ مقایسه غلظت ترکیبات آروماتیک نوار ساحلی بندر بوشهر با مطالعات مشابه.

منبع	مجموع غلظت ترکیبات	منطقه مورد مطالعه
[۳۷]	۱۳-۶۶۰۰	ساحل بحرین
[۳۷]	۱۱۰-۴۰۰۰۰	ساحل عربستان
[۳۸]	۳۴-۱۳۸۷۰	ساحل فرانسه
[۳۰]	۴۷۹۰-۸۴۵	ساحل استان بوشهر
[۳۶]	۱۵/۷-۲۹/۱۴	ساحل گیلان
-	۲۰۶/۵-۱۴۶۳/۱	مطالعه حاضر

گزارش شده در مطالعات مشابه در سواحل خلیج فارس می‌باشد. عمده ترکیبات آروماتیک‌های این رسوبت ترکیبات سبک و ۲ و ۳ حلقه آروماتیک می‌باشند. بیشترین حجم ترکیبات آروماتیک در نوار شمالی ساحل و بخش میانی ساحل متمرکز است و در نوار جنوبی ساحل نیز غلظت ترکیبات کم می‌باشد. روند تغییرات ترکیبات آروماتیک سبک مشابه روند مذکور است اما روند تغییرات آروماتیک‌های سنگین متفاوت و

نتیجه‌گیری

بررسی غلظت ترکیبات آروماتیک در ساحل خلیج فارس در محدوده بندر بوشهر نشان داد که بیشترین میانگین غلظت به ترتیب متعلق به نفتالن، آسفیتن، آسفیتلین، فنانترن، پایرن، آنتراسن، فلوئورانتن، بنزو-آنتراسن، بنزو پایرن، بنزو پرین، بنزوفلورانسین، کرایسن و بنزوفلورانتن می‌باشد. مقدار کل ترکیبات آروماتیک در رسوبات ساحلی بندر بوشهر بین ۲۰۶ ng/g تا ۱۴۶۳ در نوسان می‌باشد که در محدوده غلظت‌های

ترکیبات مختلف و شامل پیلوژنیک و پتروژنیک می‌باشد. هرچند تعداد بیشتری از ایستگاه‌ها منشأ نفتی و پتروژنیک را نشان می‌دهند که با مطالعات قبلی بر روی سواحل خلیج فارس و بوشهر مشابه می‌باشد. بر مبنای استانداردهای آلودگی ایستگاه‌های بخش میانی نوار ساحلی در شمال نوار ساحلی بندر بوشهر از منظر ترکیبات آروماتیک دارای بار آلودگی بالا می‌باشند و سایر ایستگاه‌ها دارای بار آلودگی متوسط می‌باشد. براساس ارزیابی کمی و کیفی آلودگی خاک و دستورالعمل کیفی خاک (SOGS) شاخص‌های غلظت تمامی هیدروکربن‌ها در محدوده تأثیرات با دامنه کم است و تنها غلظت ترکیب Ace در محدوده تأثیرات با دامنه متوسط می‌باشد. با توجه به اثرات منفی این ترکیبات بر انسان و آرایان و همچنین تداوم فعالیت‌های صنعتی، بندرگاهی و نفتی در سواحل خلیج فارس پایش مداوم این ساحل و حتی رسوبات فراساحل امری ضروری در راستای کنترل شرایط زیست محیطی این اکوسیستم می‌باشد.

عمده تمرکز آنان در بخش میانی ساحل است و به سمت شمال و جنوب ساحل تمرکز این ترکیبات کم می‌شود هرچند غلظت بعضی از این ترکیبات در چندین ایستگاه زیر حد تشخیص بوده است. ایستگاه‌های شمالی نوار ساحلی در همجواری جاده و مسیرهای حمل و نقل قایقرانی می‌باشند از این رو یکی از منشأ آلودگی این ایستگاه‌ها، آلودگی‌های ناشی از این فعالیت‌ها می‌باشد. از سویی دیگر این ایستگاه‌ها در جنوب غرب جزیره خارک قرار دارند و جایی که جریان‌های دریایی توانایی انتقال آلودگی‌های ناشی از بهره‌برداری و انتقال فرآورده‌های نفتی در میادین فراساحل خلیج فارس به ساحل را دارند و این مهم منبع این ترکیبات آروماتیک می‌باشد. در بخش میانی ساحل نیز ورود فاضلاب‌های شهری و زباله به این ساحل وجود دارد که در این قسمت نیز آلودگی حاصل از حمل و نقل زمینی و دریایی و جریان‌های دارای آلودگی از میدان گازی گلشن منشأ این ترکیبات می‌باشند. بر مبنای شاخص‌های مختلف منشأیابی، منشأ این

مراجع

- [1]. Naji, A., & Sohrabi, T. (2015). Distribution and contamination pattern of heavy metals from surface sediments in the southern part of Caspian Sea, Iran, Chemical Speciation and Bioavailability, 27(1): 29-43, doi.org/10.1080/09542299.2015.1023089.
- [2]. Li Azadi, N., Mansouri, B., Spada, L., Sinkakarimi, M.H., Hamesadeghi, Y. and Mansouri, A., (2018). Contamination of lead (Pb) in the coastal sediments of north and south of Iran: a review study, Chemistry and Ecology, 34, 9: 884-900, doi.org/10.1080/02757540.2018.1508462.
- [3]. Elshagh, A., Jalilian, H., & Aslshabestari, M. G., (2021). Evaluation of heavy metal pollution in coastal sediments of Bandar Abbas, the Persian Gulf, Iran: Mercury pollution and environmental geochemical indices, Marine Pollution Bulletin, 167, 112314, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112314.
- [4]. Lin, F., Han, B., Ding, Y., Li, Q., Gao, W., & Zheng, L., (2018), Distribution characteristics, sources, and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Qinhuangdao coastal wetland, China, Marine Pollution Bulletin, 127: 788-793, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.09.054.
- [5]. Loyeh, E. N., & Mohsenpour, R., (2020). Investigation of oil pollution on aquatic animals and methods of its prevention, Journal of Aquaculture and Marine Biology, 9(5), 160-165, doi: 10.15406/jamb.2020.09.00291.
- [6]. Jisr, N., Younes, G., El Omari, K., Hamze, M., Sukhn, C., & El-Dakdouki, M. H. (2020). Levels of heavy metals, total petroleum hydrocarbons, and microbial load in commercially valuable fish from the marine area of Tripoli, Lebanon, Environmental Monitoring and Assessment, 192, 11: 1-13.
- [7]. خمار باقی، ز، آموزگار، م، شومندی، م، دستغیب، م، تیرانداز، ح. (۱۳۹۴) بررسی توانایی باکتری‌های بومی خاک جزیره سیری در پاک‌سازی آلودگی‌های نفتی، پژوهش نفت، ۲۵(۸۵-۱): ۱۹۲-۱۸۰.
- [۸]. قربان‌نژاد، ح، مقیمی، ح، دستغیب، م. (۱۳۹۹). افزایش تجزیه زیستی هیدروکربن‌های سنگین توسط آسپرژیلوس سودودفلکتوس F13 در حضور رامنولیپید، پژوهش نفت، ۳۰، ۲-۹۹، ۷۵-۶۱.
- [9]. Ossai, I. C., Ahmed, A., Hassan, A. & Hamid, F. S., (2020). Remediation of soil and water contaminated with

petroleum hydrocarbon: A review, *Environmental Technology and Innovation*, 17: 100526, doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526.

[۱۰]. ماشینچیان مرادی، ع.، ممهد هروی، م.، عبدی اسکویی، ح.، محمودی، ا.، اسکندری، م.، (۱۳۹۲). بررسی هیدروکربن‌های آلیفاتیک در ترکیب نفت خام سکوه‌های نفتی خلیج فارس، پژوهش نفت، ۲۳(۷۴): ۱۵۰-۱۴۴. [۱۱]. سلطانی، م.، قاسمی، ص.، کامرانی، ا. (۱۴۰۲). ارزیابی وضعیت آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات پیرامونی اکوسیستم‌های مرجانی) مطالعه موردی: تالاب بین‌المللی شیدور، پژوهش نفت، ۳۳: ۱۲۹، تحت چاپ، doi:10.22078 /PR.2023.5000.3230.

[۱۲]. حبیبی واحد زنجانی، ش. (۱۳۹۳). پیش‌بینی کیفی و کمی بررسی فرایندهای مؤثر بر سطح لکه نفت و میعانات گازی حاصل از ریزش اتفاقی در سواحل شمالی خلیج فارس، پژوهش نفت، ۲۴(۷۷): ۱۴۷-۱۳۵. [13]. Baumard, P., Budzinski. H/, Garrigues. P/, Sorbe. J. C., Burgeot, T., Bellocq, J., (1998). Concentration of PAH in various marine organisms in relation to those in sediments to throphic level, *Marin Pollution Bulletin*, 36: 951-960, doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00088-5. [14]. Guitart, C., García-Flor, N., Bayona, J.M. and Albaigés, J., (2007). Occurrence and fate of polycyclic aromatic hydrocarbons in the coastal surface microlayer, *Marine Pollution Bulletin*, 54: 186-194, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.10.008.

[۱۵]. حسینی بیزکی، ر.، ربانی، ا.، ریاحی بختیاری، ع. ر. چ. (۱۳۹۹) بررسی روند تغییرات آلودگی‌های نفتی موجود در رسوبات سطحی دریای خزر (سواحل استان مازندران)، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۵۲(۲): ۴۳۶-۴۲۷، doi: 10.22060/CEEJ.2018.14404.5647.

[16]. Cortazar, E., Bartolomé, L., Arrasate, S., Usobiaga, A., Raposo, J.C., Zuloaga, O. and Etxebarria, N., (2008). Distribution and bioaccumulation of PAHs in the UNESCO protected natural reserve of Urdaibai, Bay of Biscay, *Chemosphere*, 72: 1467-1474, doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.05.006.

[17]. Liang Y, Tse M F, Young L and Wong M H (2007) Distribution patterns of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the sediments and fish at Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong, *Water Research*, 41, 6: 1303-1311, doi.org/10.1016/j.watres.2006.11.048.

[18]. Sun, K., Song, Y., He, F., Jing, M., Tang, J. & Liu, R., (2021). A review of human and animals exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Health risk and adverse effects, photo-induced toxicity and regulating effect of microplastics, *Science of The Total Environment*, 773: 145403, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145403.

[19]. Pardo, M., Qiu, X., Zimmermann, R., & Rudich, Y., (2020). Particulate matter toxicity is Nrf2 and mitochondria dependent: the roles of metals and polycyclic aromatic hydrocarbons, *Chemical research in toxicology*, 33, 5: 1110-1120, doi.org/10.1021/acs.chemrestox.0c00007.

[20]. Mazarji, M., Minkina, T., Sushkova, S., Mandzhieva, S., Bidhendi, G. N., Barakhov, A., & Bhatnagar, A. (2021) Effect of nanomaterials on remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons-contaminated soils: A review, *Journal of environmental management*, 284: 112023, doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112023.

[۲۱]. باطنی، ف.، مهدی‌نیا، ع.، سید هشت‌رودی، م. (۱۳۹۸). هیدروکربن‌های آروماتیک چندقطه‌ای رسوبات سطحی فراساحل در شمال خلیج فارس، استان بوشهر، نشریه علمی-پژوهشی اقیانوس‌شناسی، ۳۷(۱۰): ۷۳-۶۵.

[22]. Gustafson, K. E., & Dickhut, R. M. (1997). Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in Southern Chesapeake bay surface water: evaluation of three methods for determining freely dissolved water concentrations, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16: 452-461, doi.org/10.1002/etc.5620160310.

[23]. Hung, C. M., Huang, C. P., Chen, C. W., & Dong, C. D. (2021). Degradation of organic contaminants in marine sediments by peroxymonosulfate over LaFeO₃ nanoparticles supported on water caltrop shell-derived biochar and the associated microbial community responses, *Journal of Hazardous Materials*, 420, 126553, doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126553.

[24]. Jin, J., Sun, K., Liu, W., Li, S., Peng, X., Yang, Y., & Wang, X. (2018). Isolation and characterization of biochar-derived organic matter fractions and their phenanthrene sorption, *Environmental Pollution*, 236: 745-753, doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.015.

[25]. Qiao, Z., Hu, S., Wu, Y., Sun, R., Liu, X., & Chan, J. (2021) Changes in the fluorescence intensity, degradability, and aromaticity of organic carbon in ammonium and phenanthrene-polluted aquatic ecosystems, *RSC advances*, 11, 2: 1066-1076, doi: 10.1039/D0RA08655J.

- [26]. Soni, V., Singh, P., Shree, V., & Goel, V. (2018), Effects of VOCs on human health, In Air pollution and control 119-142, Springer, Singapore.
- [27]. Kumpiene, J., Larsson, M. O., Carabante, I., & Arp, H. P. H. (2021). Roads with underlying tar asphalt-spreading, bioavailability and toxicity of their polycyclic aromatic hydrocarbons, *Environmental Pollution*, 289: 117828, doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117828.
- [28]. Bahrami, S., Moore, F., & Keshavarzi, B. (2021). Evaluation, source apportionment and health risk assessment of heavy metal and polycyclic aromatic hydrocarbons in soil and vegetable of Ahvaz metropolis, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 27(1): 71-100, /doi.org/10.1080/10807039.2019.1692300.
- [29]. Qi, P., Qu, C., Albanese, S., Lima, A., Cicchella, D., Hope, D., & De Vivo, B. (2020). Investigation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils from Caserta provincial territory, southern Italy: Spatial distribution, source apportionment, and risk assessment, *Journal of hazardous materials*, 383, 121158, doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121158.
- [30]. Chokor, A. A. (2022). Distribution, source fingerprinting and ecotoxic potential evaluation of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments of the River Niger at Okpu and Iyiowa-Odekpe axes in South-Eastern, Nigeria, *World Scientific News*, 172, 296-316.
- [31]. Dos Santos, P. R. S., Moreira, L. F. F., Moraes, E. P., de Farias, M. F., Domingos, Y. S. (2021). Traffic-related polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) occurrence in a tropical environment, *Environmental Geochemistry and Health*, 43(11): 4577-4587.
- [32]. El-Naggar, M., Hanafy, S., Younis, A. M., Ghandour, M. A., & El-Sayed, A. A. Y. (2021). Seasonal and Temporal Influence on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Red Sea Coastal Water, Egypt, *Sustainability*, 13, 21: 11906, doi.org/10.3390/su132111906.
- [33]. Brewster, C. S., Sharma, V. K., Cizmas, L., McDonald, T. J. (2018). Occurrence, distribution and composition of aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment cores from the Lower Fox River, Wisconsin, US. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(5), 4974-4988.
- [۳۴]. صفاهیه، ع.، محمودی، م. (۱۳۹۳). غلظت هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در رسوبات ساحلی بوشهر، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۳، ۱۶: ۳۳-۲۵.
- [35]. Yuan, Z., He, B., Wu, X., Simonich, S. L. M., Liu, H., Fu, J., & Wang, Q. (2021). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban stream sediments of Suzhou Industrial Park, an emerging eco-industrial park in China: Occurrence, sources and potential risk, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 214: 112095, doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112095.
- [36]. Jafarabadi, A. R., Bakhtiari, A. R., & Toosi, A. S. (2017). Comprehensive and comparative ecotoxicological and human risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in reef surface sediments and coastal seawaters of Iranian Coral Islands, Persian Gulf. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 145: 640-652, doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.08.016.
- [37]. Mirzaei, M., Arbabi, M., Mohammadi Bardkashki, B. (2018). Source identification and ecological risk Hydrocarbon. InTech. London, United Kingdom, 117.
- [38]. Akhbarizadeh, R., Moore, F., Keshavarzi, B., & Moeinpour, A. (2016). Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons risk assessment in coastal water and sediments of Khark Island, SW Iran, *Marine Pollution Bulletin*, 108, 1-2: 33-45, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.004.
- [۳۹]. محمدی گلنگش، م.، ابراهیمی سیریزی، ز. (۱۳۹۶). منشأیابی و ارزیابی خطر هیدروکربنهای چند حلقه‌ای آروماتیک (PAHs) در رسوبات ساحلی دریای خزر، استان گیلان. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۷(۱۵۵): ۱۲۸-۱۴۰.
- [40]. Tolosa, I., Mora, S. I., Fowler, S. W., Villeneuve, J. P., Bartocci, J., & Cattini, C. (2005). Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman, *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1619-1633, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.029.
- [41]. Mille, G., Asia, L., Guiliano, M., Malleret, L., & Doumenq, P. (2007). Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean Sea (Gulf of Fos area, France), *Marine Pollution Bulletin*, 54: 566-575, doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.12.009.