



<http://ui.ac.ir/en>

Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches University of Isfahan
Vol. 35, Issue 1, No. 74, Spring 2019
pp. 73-90
Received: 15.03.2019 Accepted: 18.05.2019

Evaluating the contamination level of total petroleum hydrocarbons (TPHs) and heavy metals in coastal sediments of Tiab Mangroves (Hormozgan Province)

Liela Zahedi Dehuii

Msc in Environmental Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Afshin Qishlaqi *

Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Mohammad Seddiq Mortazawi

Associate Professor, Persian Gulf and Oman Sea Ecological Research Center, Bandar Abbas, Iran

**Corresponding author, e-mail: qishlaqi@shahroodut.ac.ir*

Abstract

In order to evaluate the contamination degree of sediments in Tiab mangroves (Hormozgan province) in terms of Total Petroleum Hydrocarbons (TPH) and heavy metals concentration, 16 sediment samples were collected from the study area. In addition to TPH and metal concentrations, physicochemical properties of sediments such as grain size, pH, total organic matter and organic carbon were measured using the standard methods. The concentrations of heavy metals and concentration of total petroleum hydrocarbons was determined. Petroleum hydrocarbons in sediments narrowly varied from 0.36 to 4.89 ($\mu\text{g/g}$). The highest TPHs concentrations are found in sediments from Tiab and Kolahi berth probably due to inputs from coastal anthropogenic activities. Using sediment quality guidelines and the contamination factor, it was found that there is no adverse biological effect in terms of TPH concentration. It was also revealed that metal concentrations in sediments ranged from 163 mg/kg for Ni to 8 mg/kg for Pb and their mean concentrations are all higher than the corresponding concentrations in the Persian Gulf sediments. Calculated enrichment factor showed that all metals (except for Ni) have low contamination level. However, the overall ecological risk is found to be moderate (78.14) for all studied metals. The results of cluster and correlation analyses showed that most metals (Pb, Zn, Cr) are originated from natural source while total petroleum hydrocarbons alongside Ni and V were most likely derived from anthropogenic sources.

Keywords: Total petroleum hydrocarbons, Heavy metals, Mangrove sediments, Tiab, Hormozgan

Introduction

Mangrove forests are of tidal ecosystems situated in tropical and subtropical coastal regions. Mangrove systems serves habitat and nursery area for many aquatic flora and fauna and play a vital role in protection of coastal lines (Vane et al. 2009). At the same time, these ecosystems are one of the most vulnerable ecosystems in terms of environmental contamination. Because of their fine-grained texture and anaerobic conditions, mangrove sediments can accumulate contaminants at higher levels (Tam et al. 2005). Total petroleum hydrocarbons (TPHs) and heavy metals are of the most hazardous contaminants which may find their pathways into the mangrove ecosystems through a vast variety of anthropogenic or natural sources (Ebrahimi-Sirizi and Riyahi Bakhtiyari 2013; Dadashi et al. 2018).

The Tiab and Kolahi mangrove forests are located in the east of Bandar Abbas and in the north of Hormuz Khors at longitude of 56, 47 E and altitude of 27, 7 N. The data concerning the environmental and ecological status of these mangroves are very limited. The present study was initiated to evaluate the contamination level of TPHs and heavy metals in the bottom sediments of these mangrove ecosystems.

Material and Methods

Sixteen bottom sediment samples (10-20 cm in depth) were randomly collected from Tiab and Kolahi mangroves communities using a PONAR grab sampler. At each station, three replicate samples were taken and then mixed together to obtain a composite sample (MOOPAM 2010). Some major physicochemical properties (total organic matter, organic content, pH and grain size distribution) along with total hydrocarbons and heavy metal concentrations were determined using standard methods. TPHs and heavy metal concentrations (Pb, Zn, Cr, Ni, V) in sediment samples were quantified using Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy (UFS) and Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry (ICP-OES), respectively. To assess the contamination level of TPHs and heavy metals in sediments and their ecological risks, the standard quality guidelines (SQGs), enrichment factor and ecological risk index (RI) were calculated.

Discussion of Results & Conclusions

Based on the obtained results, clay and silt contents of sediment samples varied from 14.93 to 56.82 % and 2.80 to 21.73 %, respectively. The proportion of fine grain fractions (silt + clay) were found to increase in the mangrove sediments (stations No. 9, 10, and 11) because of the low energy waves and tree-rooted stands within the mangrove community. Sediment pH showed a narrow range from 8.24 to 8.80, indicating alkaline conditions. The organic carbon content in the sediments varied from 0.22 to 0.85. The distribution pattern of OC content in is similar to that of the fine-grained content. The total organic meter content the studied sediments ranged from 2.82 to 6.84%, with the highest level at the stations (1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11 and 15) where fishing and fetching piers are located.

TPH concentration in the studied sediments varied from 0.36 $\mu\text{g/g}$ at station 9 to 4.89 $\mu\text{g/g}$ at the station 1. The spatial distribution pattern showed that TPH level in the sediments increased at the stations (1, 20, 15, 16) near the pier and fishing facilities along the Kolahi shoreline. This implies that TPH in the sediments is partly derived from the anthropogenic sources. However, comparing with SQGs and based on the calculated contamination factors, the sediments did not pose any adverse effect in terms of TPH concentration.

The average concentration of heavy metals measured in this study as follows: 8.68 mg/kg (Pb), 147.81 mg/kg (Ni), 85.87 mg/kg (V), 58.81 mg/kg (Zn) and 122.56 mg/kg (Cr). Nickel concentration is the highest in stations no. 5, 6 and 7 near the fishery piers and its level at all sampling sites is generally higher than the corresponding concentration in the Persian Gulf sediments (Karbassi 2001). Ni is major component of petroleum-based materials and may enter into the mangrove sediments through discharge of oil from fetching fuel boat and lodges across the mangrove stand (de Mora et al. 2004; Alomary and Belhadj 2007; Usman et al. 2013). Vanadium have a narrow range of concentration, however, its content is shown to be increased at the stations (1, 3, 4, 5, 7, 8 and 14) near the fishery piers. Lead, zinc and chromium in sediments also showed a high level in the mangrove sediments although their concentrations have low variability in comparison with other studied metals. Based on calculated enrichment factors, Ni and V are characterized by low

enrichment, suggesting that these metals were mostly likely derived from anthropogenic sources. According to the results of ecological risk calculations, Tiab mangrove sediments have low ecological risk with respect to Pb, Zn, Cr and V while Ni is found to have a moderate ecological risks in the studied sediments. The overall potential ecological risk is predicated to be moderate in terms of all studied metals in sediments.

The results of Pearson correlation analysis showed that there are significantly positive correlation between TOM content in sediments and percentage of fine grain fractions (silt+ clay). Positive correlation (at significance level of 0.05) were also observed among pairs of Cr-Pb, Ni-V and Pb-Zn, implying that these metals are of the same or similar sources. TPH concentration is significantly correlated with Ni and V and sediment pH does not show any significant correlation with the other variables probably due to its narrow range. To get a better insight on statistical relationships and to apportion the possible sources of contaminants in the sediments, cluster analysis was performed. The dendrogram revealed the two following uncorrelated clusters: Cluster I consists of Pb, Zn, Cr alongside SC (silt + clay), TOM and OC contents, suggesting their variations may be controlled by the same and geogenic source and Cluster II includes V, Ni and TPHs which can be attributed to anthropogenic sources in the study area.

This study concludes that although the contamination and ecological risk of TPHs and heavy metals in the Tiab mangrove sediments are currently low, extensive anthropogenic developments in adjacent coastal area can accelerate the contamination rate of the sediments in coming years. Therefore, it is imperative to take predicative actions such as restriction of fuel fetching activities and preventing discharge of wastewater and effluents from residential settlements, shrimp breeding ponds and fishery piers near the shoreline.

ارزیابی وضعیت آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در رسوبات ساحلی جنگل‌های حرای منطقه تیاب استان هرمزگان

لیلا زاهدی دهویی، کارشناس ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه

صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

افشین قشلاقی، استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران*

محمد صدیق مرتضوی، دانشیار، پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، بندرعباس، ایران

چکیده

به منظور ارزیابی شدت آلودگی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات جنگل‌های حرای تیاب (در استان هرمزگان)، ۱۶ نمونه رسوب سطحی از این منطقه برداشت شد. علاوه بر غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات (دانه‌بندی، pH، ماده آلی کل و کربن آلی) نیز اندازه‌گیری شدند. بر اساس نتایج، غلظت هیدروکربن‌های نفتی دامنه تغییرات اندکی از ۰/۳۶ تا ۴/۸۹ میکروگرم بر گرم دارد؛ همچنین ارزیابی خطر زیست‌محیطی ناشی از آلودگی هیدروکربن‌های نفتی با استفاده از شاخص‌های کیفیت رسوب نشان داد رسوبات مطالعه‌شده هیچ‌گونه آثار زیستی نامطلوبی ندارند. غلظت فلزات در رسوبات محدوده‌ای بین ۱۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم (برای نیکل) تا ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم (برای سرب) را دربرمی‌گیرد و همه آنها غلظت بیشتری از استاندارد رسوبات خلیج فارس دارند. بیشترین غلظت فلزات در ایستگاه‌های واقع در بنادر تیاب و کلاهی مشاهده می‌شود که احتمالاً به‌علت آلودگی ناشی از فعالیت بنادر و شناورهای صیادی است. محاسبه ضریب غنی‌شدگی برای فلزات نیز نشان داد تمام فلزات (به‌جز نیکل) درجه آلودگی کمی دارند، ولی ریسک اکولوژیکی برای کل فلزات در حد متوسط (۷۸/۱۴) است. درنهایت، نتایج تحلیل خوشه‌ای و همبستگی نشان دادند هر دو منشأ طبیعی و انسان‌زاد در ورود آلاینده‌های فلزی و نفتی به رسوبات نقش داشته‌اند؛ به‌طوری‌که فلزات سرب، روی و کروم منشأ طبیعی و هیدروکربن‌های نفتی به همراه دو فلز نیکل و وانادیم منشأ احتمالاً انسان‌زاد دارند.

واژه‌های کلیدی: هیدروکربن‌های نفتی کل، فلزات سنگین، رسوبات جنگل‌های حرا، تیاب، هرمزگان

مقدمه

جنگل‌های حرا یا مانگروها، اکوسیستم‌های جزرومدی‌اند که در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری، در طول خط ساحلی رشد کرده‌اند و با خشکی و دریا مرتبط شده‌اند (Vane et al. 2009)؛ این اکوسیستم‌ها، زیستگاه‌های مناسبی برای انواع موجودات دریایی به شمار می‌آیند، نقش مهمی در حفاظت از سواحل ایفا می‌کنند و یکی از حساس‌ترین محیط‌ها نسبت به انواع آلاینده‌های زیست‌محیطی‌اند. رسوبات نهشته‌شده در مانگروها به علت دانه‌ریز بودن، ویژگی‌های جذبی زیاد و همچنین دور بودن از جریان‌های ساحلی می‌توانند آلاینده‌های آلی و غیرآلی را تا مقادیر بسیار زیاد در خود متمرکز کنند که این امر برای موجودات زنده ساکن این اکوسیستم‌ها خطرآفرین است (Tam et al. 2005). هیدروکربن‌های نفتی کل (Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs))، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی جنگل‌های حرا، عمدتاً از منابع نقطه‌ای (Point sources) یا منابع غیرنقطه‌ای (Non-point sources) مانند نواحی شهری، نشت نفت، تردد شناورهای دریایی و فعالیت‌های دریایی و صنعتی منشأ می‌گیرند و به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم و در حجم‌های کم و زیاد وارد این اکوسیستم‌ها می‌شوند (Ebrahimi-Sirizi and Riyahi Bakhtiyari 2013). شرایط بی‌هوازی بستر این جنگل‌ها باعث می‌شود نفت وارد شده به آنها تا مدت طولانی بدون تغییر بماند و این امر سبب به‌خطر افتادن حیات موجودات زنده ساکن در این اکوسیستم‌ها می‌شود (Dadashi et al. 2018). فلزات سنگین یکی دیگر از آلاینده‌های زیست‌محیطی مهم و از اجزای اصلی محیط‌های آبی‌اند که در نتیجه فعالیت‌های طبیعی (هوازگی و فرسایش سازنده‌های زمین‌شناختی) یا انسان‌زاد (تخلیه پساب‌های صنعتی، پساب صنایع وابسته به کشاورزی، فاضلاب‌های تصفیه‌نشده شهری، مواد شیمیایی و نشت نفت) وارد این محیط‌ها می‌شوند؛ عموماً آلودگی فلزات سنگین در جنگل‌های حرا از فعالیت‌های انسان‌زاد ناشی

می‌شود (Usman et al. 2013) و این آلاینده‌ها می‌توانند با ورود به زنجیره غذایی موجودات دریایی، سلامتی آنها را به خطر اندازند.

جنگل‌های حرا در ایران عمدتاً در شمال خلیج فارس و دریای عمان و در هر سه استان ساحلی جنوب ایران (هرمزگان، بوشهر و سیستان و بلوچستان) گسترش دارند. تخمین زده شده است حدود ۹۳/۳۷ کیلومترمربع از خط ساحلی ایران در خلیج فارس را جنگل‌های حرا پوشانده‌اند (Zahed et al. 2010). استان هرمزگان به‌تنهایی بیش از ۱۱۷۰ هکتار از جنگل‌های حرا را دارد که در مناطق تیاب، سیرک، جاسک، جزیره قشم و بندر خمیر گسترش دارند. گونه غالب گیاهی در این جنگل‌ها *Avicenna marina* است که نقش مهمی در تثبیت رسوبات و کنترل شوری آب دارد. متأسفانه سطح این جنگل‌ها طی سال‌های اخیر به‌شدت کاهش یافته است (Zahed et al. 2010)؛ این اکوسیستم‌های حساس در نقاط مختلف خلیج فارس در معرض انواع آلودگی‌های شیمیایی قرار دارند. تاکنون مطالعه‌های متعددی از نظر آلودگی‌های زیست‌محیطی درباره جنگل‌های حرای منطقه خلیج فارس انجام شده‌اند؛ برای نمونه، قاسمی و همکاران (Ghasemi et al. 2018) با مطالعه رسوبات بستر جنگل‌های حرا در خلیج آذینی (استان هرمزگان) نشان داده‌اند این رسوبات از نظر بیشتر فلزات، ریسک اکولوژیکی متوسط دارند. محبی نوذر و همکاران (Mohebbi-Nozar et al. 2015) نیز با مطالعه غلظت هیدروکربن‌های کل در رسوبات مانگرو شمال خلیج فارس نشان داده‌اند غلظت این آلاینده‌ها در شرایط فعلی کمتر از استانداردهای ریسک اکولوژیکی است؛ هرچند توسعه فعالیت‌های انسان‌زاد می‌تواند سبب افزایش غلظت این آلاینده‌ها در سال‌های آتی شود.

منطقه حفاظت‌شده حرای تیاب در غرب دهستان تیاب و شرق شهر بندرعباس قرار دارد و حدود ۴۵۰۰۰ هکتار از این منطقه در سال ۱۳۵۴ (۱۹۷۵ میلادی) در کنوانسیون رامسر

آنها برای تجزیه و تحلیل هیدروکربن‌های نفتی کل و بخشی دیگر برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و تعیین شاخص‌های کیفی رسوب در نظر گرفته شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

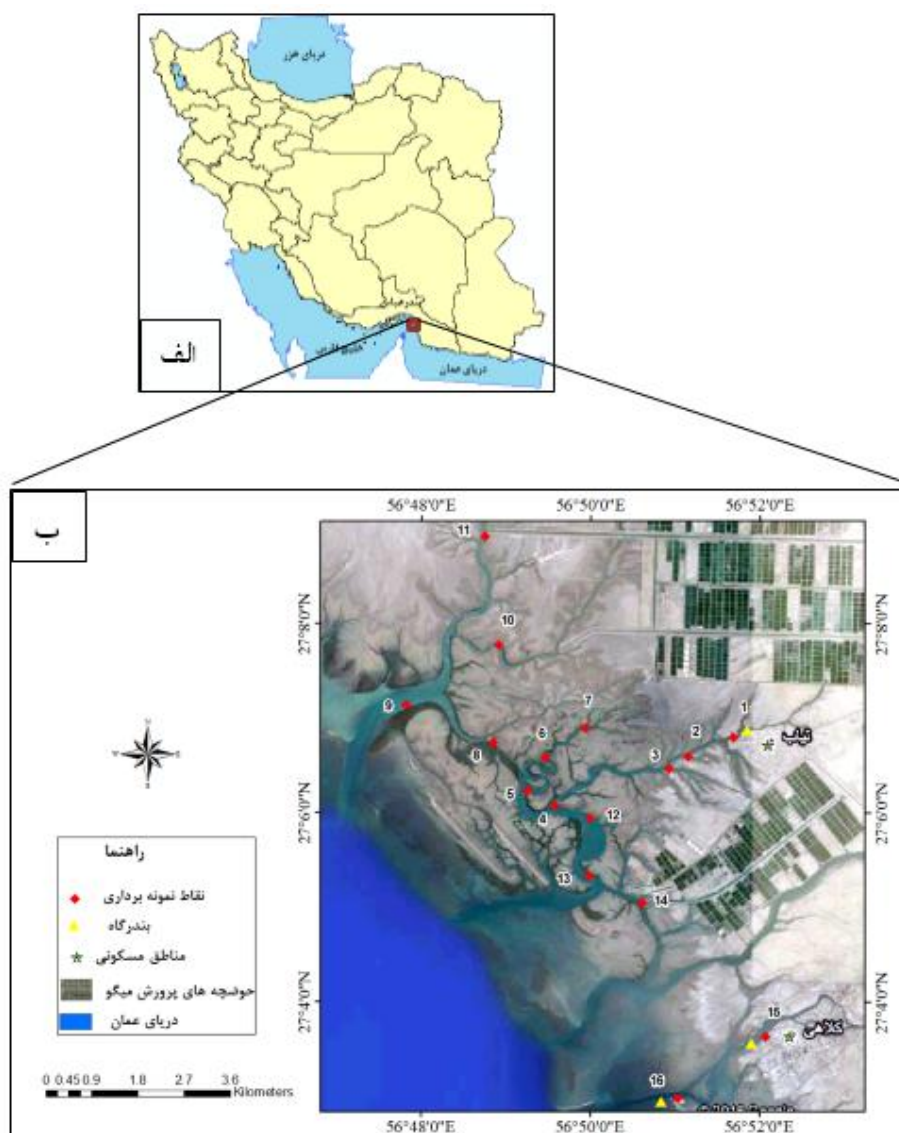
در پژوهش حاضر، برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات از جمله دانه‌بندی، میزان کربن آلی (Organic Carbon (OC)، میزان ماده آلی کل (Total Organic Matter (TOM)) و pH نمونه‌ها با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند (جدول ۱). pH نمونه‌ها طبق استاندارد D 9045 سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا در نسبت ۲/۱ (آب به رسوب) و با دستگاه pH متر کالیبره‌شده اندازه‌گیری شد (USEPA 2004). به منظور دانه‌بندی نمونه‌های رسوب از روش هیدرومتری (برای ذرات در حد سیلت و رس) و روش الک (برای جداکردن ذرات در حد ماسه) استفاده شد. درصد مواد آلی نمونه‌های رسوب نیز به روش احتراق مرطوب بر مبنای اکسیداسیون مواد آلی به کمک دی‌کرومات پتاسیم ($K_2Cr_2O_7$) در محیط کاملاً اسیدی (H_2SO_4) تعیین شد. میزان کربن آلی رسوب نیز با تعیین میزان دی‌کرومات مصرف‌نشده در محلول محاسبه شد (MOOPAM 2010).

به‌عنوان تالاب بین‌المللی ثبت شد. این منطقه از نظر جغرافیایی در موقعیت ۲۷ درجه و ۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۶ درجه و ۴۷ دقیقه طول شرقی و در ساحل شمالی خورهای هرمز قرار دارد. این جنگل‌ها به‌علت نزدیکی به مناطق مسکونی، اسکله‌های صیادی، مجتمع‌های پرورش میگو، بارانداز برای تخلیه و بارگیری لنج‌ها و همچنین تردد زیاد قایق‌های صیادی و حمل سوخت در معرض آلودگی‌های مختلف از جمله آلودگی‌های نفتی و فلزی قرار دارند. تاکنون مطالعه‌ای درباره‌ی میزان آلودگی رسوبات جنگل‌های حرای این منطقه انجام نشده است؛ از این رو هدف پژوهش حاضر، بررسی وضعیت رسوبات جنگل‌های حرای منطقه تیاب از نظر آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین و همچنین تخمین خطر اکولوژیکی ناشی از حضور این آلاینده‌ها در رسوبات است.

روش پژوهش

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌های رسوب

نمونه‌برداری از رسوبات منطقه مطالعه‌شده در ۱۶ ایستگاه، در خور تیاب و کلاهی و رویشگاه‌های حرا به‌طور تصادفی و باتوجه به نزدیکی به منابع آلودگی احتمالی انجام شد. نمونه‌ها با کمک گرابی از جنس فولاد ضدزنگ (مدل پونار Ponar) و از اعماق ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متری برداشت شدند. در هر ایستگاه، نمونه‌برداری در سه تکرار انجام شد؛ سپس نمونه‌ها باهم ترکیب شدند تا یک نمونه معرف به دست آمد. موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از برداشت، تمام نمونه‌ها در جعبه‌های حاوی یخ نگهداری و برای انجام مراحل بعدی به آزمایشگاه پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان بندرعباس منتقل شدند. پس از انتقال به آزمایشگاه، نمونه‌ها به‌مدت سه شبانه‌روز در محیط آزمایشگاه با دمای حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و پس از همگن‌شدن به کمک هاون چینی، بخشی از



شکل ۱- الف. موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان، ب. موقعیت محدوده مطالعه شده و نقاط نمونه‌برداری از رسوب

۳۱۰ نانومتر و طول موج انتشار ۶۰ نانومتر) تعیین شد (جدول ۲). غلظت فلزات سنگین (وانادیم، نیکل، کروم، سرب و روی) در نمونه‌های رسوب، پس از عبور دادن نمونه‌ها از الک شماره ۲۳۰ مش (۶۳ میکرون) به کمک دستگاه (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission ICP-OES) در آزمایشگاه شرکت زرآما اندازه‌گیری شد. در روش تجزیه به کمک دستگاه ICP-OES، ابتدا نمونه‌های رسوب در مخلوطی از سه اسید غلیظ (2ml HCl+4ml HNO₃+2ml HF) هضم شدند و سپس نمونه هضم شده همراه با محلول‌های استاندارد

تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

تعیین غلظت هیدروکربن‌های نفتی طبق روش موپام (MOOPAM 2010) و طی دو مرحله استخراج و اندازه‌گیری انجام شد. در مرحله استخراج از دستگاه مایکروویو، حلال‌های هگزان و دی‌کلرومتان به نسبت (۵۰/۵۰) و ۲۰ گرم از وزن خشک نمونه استفاده شد. در مرحله اندازه‌گیری نیز غلظت TPHs با استفاده از دستگاه فلورسانس اشعه ماورای بنفش (Ultraviolet Fluorescence Spectroscopy) (با طول موج

به داخل دستگاه تزریق شد. نتایج اندازه‌گیری شاخص‌های فلزات سنگین به ترتیب در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ آورده شده‌اند. کیفی رسوب، هیدروکربن‌های نفتی کل و همچنین غلظت

جدول ۱- مقادیر میانگین (± درصد خطا) شاخص‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

Stations	pH	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	OC (%)	TOM (%)
۱	۸/۱۵±۰/۰۴	۳/۸۲±۴۷/۲۰	۴۶/۶۷±۱/۰۳	۶/۱۳±۰/۰۵۱	۰/۰۳±۰/۰۵۵	۰/۷۲±۰/۰۶۷
۲	۰/۰۱±۸/۱۳	۲/۲۹±۳۶/۰۰	۵۶/۸۰±۰/۰۴۶	۷/۲۰±۰/۰۴۵	۰/۲۱±۰/۰۵۸	۰/۷۲±۶/۰۱
۳	۰/۰۱±۸/۱۶	۰/۰۰±۵۷/۲۰	۳۸/۰۰±۰/۰۰	۴/۸۰±۰/۰۰	۰/۲۰±۰/۰۵۳	۰/۴۷±۴/۰۹۷
۴	۰/۰۱±۸/۱۱	۱/۹۱±۵۳/۲۰	۳۴/۶۷±۰/۰۵۱	۱۲/۱۳±۰/۰۵۱	۰/۱۲±۰/۰۷۰	۰/۴۳±۶/۰۴۲
۵	۰/۰۲±۸/۱۵	۵/۱۰±۴۶/۰۵۳	۳۴/۶۷±۱/۰۲۸	۱۸/۸۰±۰/۰۷۷	۰/۱۸±۰/۰۶۵	۰/۵۷±۶/۰۳۵
۶	۰/۰۴±۸/۰۸	۲/۵۵±۷۴/۰۶۷	۱۴/۹۳±۱/۰۳	۱۰/۴۰±۰/۰۰	۰/۳۳±۰/۰۲۲	۰/۴۶±۴/۰۲۰
۷	۰/۰۵±۸/۱۷	۶/۳۷±۵۶/۰۶۷	۳۷/۶۰±۳/۰۸	۵/۷۳±۱/۰۳	۰/۱۴±۰/۰۶۲	۰/۱۸±۳/۰۵۶
۸	۰/۰۵±۸/۱۰	۱/۲۷±۴۸/۰۶۷	۳۶/۲۷±۱/۰۳	۱۵/۰۷±۰/۰۵۱	۰/۲۵±۰/۰۵۲	۰/۶۰±۵/۰۲
۹	۰/۰۸±۸/۲۱	۲/۵۵±۳۱/۰۳۳	۴۶/۹۳±۱/۰۲۸	۲۱/۷۳±۰/۰۵۱	۰/۲۷±۰/۰۴۲	۰/۶۹±۵/۰۴۰
۱۰	۰/۱۰±۸/۲۴	۱/۴۰±۲۶/۰۶۷	۶۲/۵۳±۱/۰۳۳	۱۰/۸۰±۰/۰۷۷	۰/۱۹±۰/۰۵۳	۰/۱۱±۶/۰۰۹
۱۱	۰/۱۱±۸/۱۴	۱/۹۱±۲۱/۰۲۰	۶۶/۰۰±۰/۰۰	۱۲/۸۰±۰/۰۷۷	۰/۰۸±۰/۰۵۳	۱/۰۰±۶/۰۲۳
۱۲	۰/۰۵±۸/۲۰	۳/۱۹±۶۲/۰۵۳	۲۶/۰۰±۰/۰۷۷	۱۱/۷۴±۰/۰۵۱	۰/۰۲±۰/۰۴۲	۰/۶۶±۵/۰۴۰
۱۳	۰/۱۴±۸/۲۱	۱/۲۷±۵۶/۰۵۳	۳۲/۶۷±۰/۰۵۱	۱۰/۸۰±۰/۰۰	۰/۰۹±۰/۰۵۰	۱/۰۶±۴/۰۷۶
۱۴	۰/۱۰±۸/۲۱	۱/۲۷±۶۸/۰۵۳	۲۰/۶۷±۰/۰۵۱	۱۰/۸۰±۰/۰۰	۰/۱۱±۰/۰۴۴	۱/۳۶±۲/۰۸۲
۱۵	۰/۰۵±۸/۱۵	۱/۷۲±۳۴/۰۸۰	۵۵/۷۳±۰/۰۴۴	۹/۴۷±۰/۰۵۱	۰/۳۱±۰/۰۸۵	۰/۵۱±۵/۰۳۹
۱۶	۰/۰۳±۸/۱۸	۲/۱۰±۷۰/۰۸۰	۲۶/۴۰±۰/۰۸۵	۲/۸۰±۰/۰۰	۰/۰۵±۰/۰۲۰	۰/۳۹±۳/۰۵۵
میانگین	۸/۱۶	۴۹/۵۳	۳۹/۷۸	۱۰/۶۸	۰/۵۲	۵/۱۱

جدول ۲- مقادیر میانگین و درصد خطای TPH در نمونه‌های رسوب

Stations	TPH (µg/g)	Stations	TPH (µg/g)
۱	۰/۶۹±۴/۰۸۹	۹	۰/۲۳±۰/۰۳۶
۲	۰/۱۸±۳/۰۰	۱۰	۰/۲۲±۱/۰۴۷
۳	۰/۰۸±۱/۰۷۸	۱۱	۰/۰۵±۱/۰۰۳
۴	۰/۲۹±۱/۰۲۵	۱۲	۰/۱۰±۲/۰۷۹
۵	۰/۱۷±۱/۰۲۱	۱۳	۰/۰۶±۲/۰۰
۶	۰/۱۴±۱/۰۶۹	۱۴	۰/۱۷±۱/۰۵۷
۷	۰/۰۶±۱/۰۰۱	۱۵	۰/۴۱±۳/۰۱۱
۸	۰/۰۳±۱/۰۷۱	۱۶	۰/۵۲±۲/۰۷۸
میانگین		۱/۹۸±۰/۰۲۱	

جدول ۳- غلظت فلزات سنگین \pm انحراف معیار به همراه اسکاندیم (عنصر مرجع) در رسوبات مطالعه‌شده و مقایسه آنها با غلظت فلزات سنگین در رسوبات جهانی و رسوبات خلیج فارس (تمام مقادیر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Stations	Ni	V	Pb	Zn	Cr	Sc
۱	۰/۴۵±۱۴۶	۰/۰۳±۸۱	۰/۰۸±۹	۰/۵۵±۶۱	۱/۱۴±۱۱۸	۱۱/۷۰±۰/۰۱
۲	۲/۴۵±۱۳۸	۱/۷۲±۷۴	۰/۱۷±۸	۱/۷۰±۵۲	۲/۶۴±۱۱۲	۱۱/۰۰±۰/۱۷
۳	۳/۷۰±۱۳۳	۰/۲۸±۸۲	۰/۱۷±۸	۱/۹۵±۵۱	۰/۸۹±۱۱۹	۱۰/۸۰±۰/۲۲
۴	۱/۵۵±۱۵۴	۱/۵۳±۸۷	۰/۱۷±۸	۰/۸۰±۶۲	۱/۶۱±۱۲۹	۱۲/۶۰±۰/۲۳
۵	۳/۸۰±۱۶۳	۱/۰۳±۸۵	۰/۰۸±۹	۲/۳۰±۶۸	۱/۱۱±۱۲۷	۱۳/۳۰±۰/۴۱
۶	۲/۸۰±۱۵۹	۱/۵۳±۸۷	۰/۰۸±۹	۰/۸۰±۶۲	۳/۳۶±۱۳۶	۱۲/۷۰±۰/۲۶
۷	۳/۵۵±۱۶۲	۱/۵۳±۸۷	۰/۰۸±۹	۱/۸۰±۶۶	۱/۳۶±۱۲۸	۱۳/۲۰±۰/۳۸
۸	۱/۳۰±۱۵۳	۰/۲۲±۸۰	۰/۰۸±۹	۰/۸۰±۶۲	۰/۱۴±۱۲۲	۱۲/۰۰±۰/۰۸
۹	۰/۳۰±۱۴۹	۱/۹۷±۷۳	۰/۰۸±۹	۰/۴۵±۵۷	۱/۸۹±۱۱۵	۱۱/۲۰±۰/۱۲
۱۰	۱۴۵±۰/۷۰	۰/۹۷±۷۷	۰/۱۷±۸	۰/۴۵±۵۷	۲/۱۴±۱۱۴	۱۱/۰۰±۰/۱۷
۱۱	۱۵۱±۰/۸۰	۰/۹۷±۷۷	۰/۰۸±۹	۰/۰۵±۵۹	۱/۱۴±۱۱۸	۱۱/۶۰±۰/۰۲
۱۲	۱۵۳±۰/۳۰	۲/۳۰±۸۹	۰/۰۸±۹	۰/۵۵±۶۱	۲/۸۶±۱۳۴	۱۲/۰۰±۰/۰۸
۱۳	۱۴۹±۰/۳۰	۰/۴۷±۷۹	۰/۰۸±۹	۰/۰۵±۵۹	۰/۱۴±۱۲۲	۱۱/۶۰±۰/۰۲
۱۴	۱۳۷±۲/۷۰	۰/۵۳±۸۳	۰/۰۸±۹	۱/۴۵±۵۳	۱/۱۱±۱۲۷	۱۰/۹۰±۰/۱۹
۱۵	۱۴۹±۰/۳۰	۰/۴۷±۷۵	۰/۰۸±۹	۱/۰۵±۶۳	۰/۳۹±۱۲۱	۱۱/۵۰±۰/۰۴
۱۶	۱۲۴±۵/۹۵	۰/۷۲±۷۸	۰/۱۷±۸	۲/۷۰±۴۸	۰/۸۹±۱۱۹	۹/۵۰±۰/۵۴
میانگین (مطالعه حاضر)						
	۱۴۷/۸۱	۸۵/۸۷	۸/۶۸	۵۸/۸۱	۱۲۲/۵۶	۱۱/۶۶
رسوبات جهانی (Bowen 1979)						
	۵۲	۱۳۰	۱۹	۹۵	۷۲	-
رسوبات خلیج فارس (Karbassi 2001)						
	۸۶	۷۶	۴/۵	۶۹	-	-
رسوبات شمال خلیج فارس (عسلویه) (Arfaeinia et al. 2019)						
	۷/۰۹	-	۱۳۴۷	۴۲۷	۳۴	-
رسوبات حرای خلیج آذینی (Ghasemi et al. 2018)						
	-	-	۱۷/۲۹	۳۹/۷۱	-	-
رسوبات سطحی ذخیره‌گاه حرا (Nowrouzi and Pourkhabbaz 2014)						
	۷۹/۸۶	-	۳۶/۶۵	-	-	-
رسوبات مانگرو ساحل دریای سرخ (Alzahrani et al. 2018)						
	۲۱	-	۳/۸۲	۰/۷۵	۴۶	-
رسوبات مانگرو جزیره هوجی مین ویتنام (Dung et al. 2019)						
	۶۰	-	۲۶	۱۱۳	۱۲۴	-

ارزیابی شدت آلودگی در رسوبات

در پژوهش حاضر برای ارزیابی شدت و خطر ناشی از آلاینده‌های نفتی از دو شاخص رهنمودهای کیفیت رسوب آلاینده‌ها (Sediment Quality Guidelines (SQGs)) و ضریب آلودگی (C_f) استفاده شد. رهنمودهای استاندارد کیفیت رسوب رابطه بین غلظت آلاینده در نمونه رسوب و آثار زیستی نامطلوب را نشان می‌دهد و بر اساس مقادیر مشخصی از دامنه اثر کم یا حد تأثیر آستانه (Threshold Effect Level (TEL)) و دامنه اثر متوسط و یا حد آثار احتمالی (Probable Effect Level (PEL))

(TEL)) تعریف می‌شود. مقادیر TPH کمتر از ۱۰ میکروگرم بر گرم به‌عنوان زمینه طبیعی (و یا TEL) و مقادیر بیشتر از ۵۰۰ میکروگرم بر گرم به‌عنوان PEL در نظر گرفته می‌شوند (Long et al. 1995). سمیت کلی TPHs از رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$PEL_q = (C/P) \quad (1)$$

در این رابطه، PEL_q مقدار سمیت هیدروکربن‌های نفتی، C غلظت هیدروکربن‌های نفتی موجود در نمونه‌های رسوبی (میکروگرم بر گرم) و P مقدار PEL (میکروگرم بر گرم) است.

به‌هنگار کرد (Sutherland 2000). در مطالعه حاضر از عنصر اسکاندیم (Sc) به‌عنوان عنصر مرجع استفاده شد. ضریب یادشده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$EF = (C/C_{reference})_{Sample} / (C/C_{reference})_{Crust} \quad (۳)$$

در این رابطه، EF ضریب غنی‌شدگی، C غلظت عنصر بررسی‌شده و $C_{reference}$ غلظت عنصر مرجع در پوسته است (Sutherland 2000). رده‌بندی ضریب غنی‌شدگی در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- رده‌بندی مقادیر ضریب غنی‌شدگی (Chen et al. 2007)

EF	شدت غنی‌شدگی
۱ <	بدون غنی‌شدگی
۱-۳	غنی‌شدگی اندک
۳-۵	غنی‌شدگی متوسط
۵-۱۰	غنی‌شدگی نسبتاً شدید
۱۰-۲۵	غنی‌شدگی شدید
۲۵-۵۰	غنی‌شدگی بسیار شدید
۵۰ >	غنی‌شدگی بی‌نهایت شدید

شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیکی

هاکسون (Hakanson 1980) شاخصی را برای ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات در محیط‌های آبی بیان کرده که به‌شکل رابطه ۴ است:

$$RI = \sum_{i=1}^m Er_i, \quad Er_i = Tr_i \times CF_i \quad (۴)$$

باتوجه‌به شاخص یادشده، Er پتانسیل ریسک اکولوژیک هریک از فلزات و RI پتانسیل ریسک اکولوژیک کل فلزات است. بر اساس نظر هاکسون، میزان Tr که در این رابطه به‌شکل ضریب یا درجه سمیت تعریف می‌شود، برای فلزات سرب، روی، نیکل، کروم و وانادیم به‌ترتیب ۵، ۲، ۱، ۲، ۵ و ۵ است. در جدول ۷ طبقه‌بندی نتایج بر اساس شاخص ریسک اکولوژیک آورده شده است.

بر اساس این ضریب، آثار زیستی آلودگی نفتی رسوبات بر موجودات آبی به چهار دسته تقسیم می‌شود (جدول ۴):

جدول ۴- رده‌بندی اثر سمیت هیدروکربن‌های نفتی بر موجودات

(Monazami Tehrani 2012)				
PELq	PELq < 0.1	0.1 < PELq > 0.5	0.5 < PELq > 1.5	PELq > 1.5
شدت اثر نامطلوب	بدون اثر	کم	متوسط	شدید

ضریب آلودگی به‌منظور بررسی و بیان وضعیت آلودگی محیط نسبت به ماده آلاینده خاص استفاده و از رابطه ۲ محاسبه می‌شود (Hakanson 1980):

$$C_f = C_{0-1} / C_n \quad (۲)$$

در این رابطه، C_f ضریب آلودگی، C_{0-1} میانگین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوب (بر حسب میکروگرم بر گرم) و C_n غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات طبیعی (بر حسب میکروگرم بر گرم) است. این ضریب بر اساس درجه آلودگی به چهار رده تقسیم می‌شود (جدول ۵):

جدول ۵- رده‌بندی درجه آلودگی TPH بر اساس ضریب آلودگی

(Hakanson 1980)				
C_f	$C_f < 1$	$1 \leq C_f < 3$	$3 \leq C_f < 6$	$C_f > 6$
زیاد	قابل توجه	متوسط	کم	درجه آلودگی

به‌منظور ارزیابی کمی شدت آلودگی و تعیین منابع احتمالی (انسان‌زاد و طبیعی) فلزات سنگین در رسوبات از شاخص ژئوشیمیایی ضریب غنی‌شدگی (Enrichment Factor (EF) استفاده شد. ضریب غنی‌شدگی فلزات سنگین از نسبت غلظت عنصر مدنظر در رسوب مطالعه‌شده به غلظت عنصر در ماده مرجع به دست می‌آید و غلظت عنصر مدنظر را باید با عنصر مبنایی که تغییرات اندک و غلظت یکنواختی در محیط داشته است و از فعالیت‌های انسان‌زاد متأثر نیست

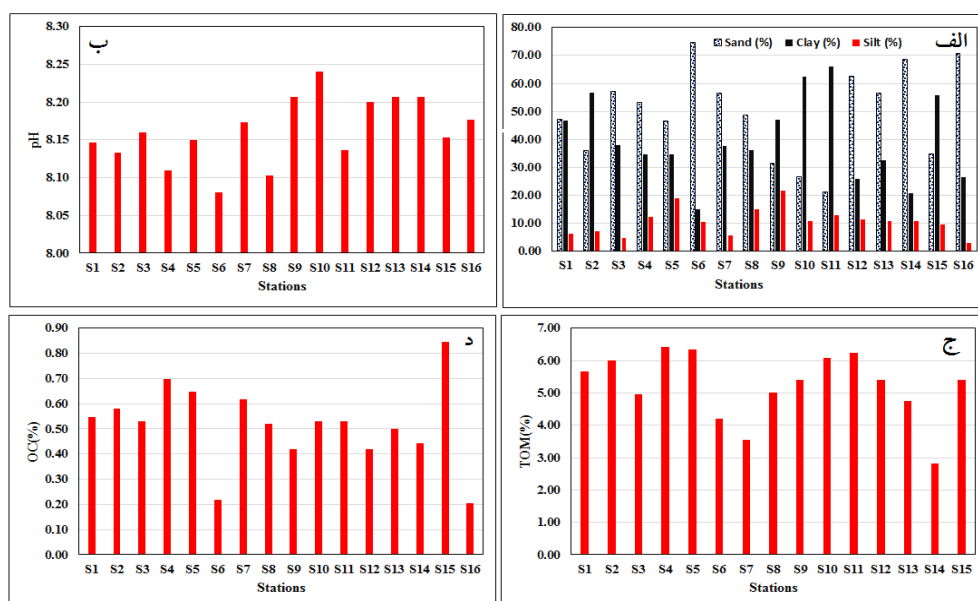
جدول ۷- طبقه‌بندی ریسک اکولوژیک (Hakanson 1980)

درجه کل پتانسیل ریسک اکولوژیک فلزات	RI	درجه پتانسیل ریسک اکولوژیک فلز (i)	Er	ضریب آلودگی (i)	Cf
کم	$RI \leq 150$	کم	$Er \leq 40$	کم	$Cf \leq 1$
متوسط	$150 < RI < 300$	متوسط	$40 < Er < 80$	متوسط	$1 < Cf < 3$
زیاد	$300 < RI < 600$	زیاد	$80 < Er < 160$	زیاد	$3 < Cf < 6$
بسیار زیاد	$RI \geq 600$	بسیار زیاد شدید	$160 < Er < 320$ $Er \geq 320$	بسیار زیاد	$Cf \geq 6$

بحث و تحلیل یافته‌های پژوهش

مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی اندازه‌گیری شده در نمونه‌های رسوب در جدول ۱ و روند تغییرات آنها در شکل ۲، الف، ب، ج و د آورده شده است. میزان سیلت و محتوای رس رسوبات در ایستگاه‌های مختلف به ترتیب از ۱۴/۹۳ تا ۵۶/۸۰ و ۲/۸۰ تا ۲۱/۷۳ درصد تغییر می‌کند. بیشترین درصد ذرات سیلت و رس در ایستگاه‌های واقع در رویشگاه‌های حرا (ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱) به دست آمد (شکل ۲، الف). به‌طور کلی توزیع اندازه ذرات رسوبی در محیط‌های آبی را فرایندهای مختلفی از جمله فرایندهای رسوبی، رواناب‌های سطحی، انرژی امواج و فاصله از منابع ورود رسوب کنترل

می‌کنند (Sany et al. 2013). در منطقه مطالعه شده نیز توزیع اندازه ذرات رسوبی در ایستگاه‌های مختلف باتوجه به فاصله از ساحل، تراکم درختان حرا و وضعیت شدت جریان در محل نمونه برداری متفاوت است؛ به طوری که در ایستگاه‌های ۹، ۱۰ و ۱۱، درصد ذرات دانه ریز به علت تراکم بیشتر درختان حرا و کاهش شدت تلاطم امواج افزایش یافته است؛ زیرا همان‌طور که گفته شد درختان حرا نقش بسیار مهمی در تراکم و انباشت ذرات دانه ریز ایفا می‌کنند. ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۱۵ در مجاورت مناطق مسکونی و نواحی ساحلی قرار دارند و احتمالاً مقداری از ذرات دانه ریز هنگام ورود رواناب‌ها از اطراف به این مناطق وارد شده است.



شکل ۲- تغییرات درصد ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی رسوبات در منطقه مطالعه شده؛ الف. درصد سیلت، رس و ماسه، ب. pH، ج. درصد ماده آلی کل، د. درصد کربن آلی

آن

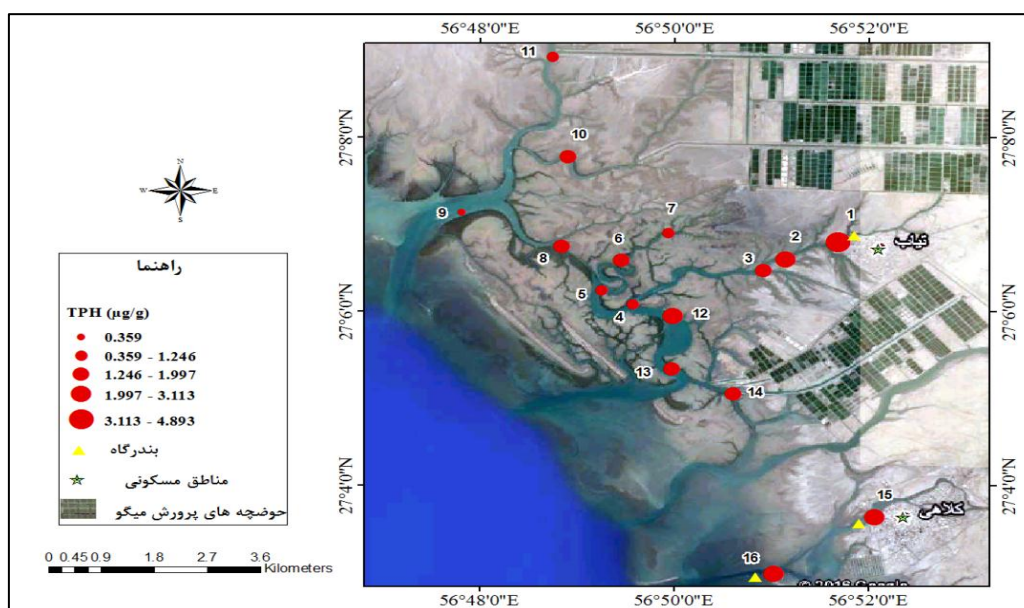
میانگین غلظت TPH در کل محدوده مطالعه شده برابر با ۱/۹۸ میکروگرم بر گرم است و مقادیر آن از ۰/۳۶ میکروگرم بر گرم در ایستگاه شماره ۹ تا ۴/۸۹ میکروگرم بر گرم در ایستگاه شماره ۱ تغییر می‌کند (جدول ۲). باتوجه به شکل ۳، غلظت هیدروکربن‌ها با دور شدن از اسکله و همچنین مناطق مسکونی (ایستگاه‌های ۱ تا ۱۱) کاهش می‌یابد و بیشترین غلظت به ایستگاه‌های مجاور این تأسیسات (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۱۵ و ۱۶) مربوط است. ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ در مجاورت اسکله و گمرک بندر تیاب و ایستگاه‌های ۱۵ و ۱۶ در مجاورت پارکینگ و اسکله قایق‌ها و لنج‌های صیادی بندر کلاهی قرار دارند. کمترین غلظت هیدروکربن‌های نفتی به ایستگاه ۹ مربوط است که فاصله زیاد از منابع آلوده‌کننده، عمق زیاد آب و شدت زیاد انرژی امواج از جمله دلایل آن است. غلظت هیدروکربن‌ها در ایستگاه ۱۲ دوباره افزایش می‌یابد؛ زیرا این ایستگاه در مجاورت محل جابه‌جایی سوخت قاچاق قرار دارد و احتمالاً مقداری از گازوئیل وارد شده به آب‌ها در رسوبات این منطقه ته‌نشین شده است.

ارزیابی آلودگی رسوبات به هیدروکربن‌های نفتی و آثار نامطلوب زیستی آنها بر موجودات زنده با استفاده از دو شاخص سمیت هیدروکربن‌های نفتی و ضریب آلودگی (شکل ۴، الف و ب) نشان می‌دهد تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری درجه آلودگی کمی دارند و به‌طور کلی آثار زیستی نامطلوبی بر موجودات آبی ندارند. محبی نوذر و همکاران (Mohebbi-Nozar et al. 2015) نیز با بررسی غلظت TPHs در رسوبات جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس، ریسک اکولوژیکی این آلاینده‌ها را کم برآورد کردند؛ باوجود این، روند افزایشی غلظت TPH در رسوبات به‌ویژه در نزدیکی منابع آلودگی (اسکله‌های صیادی و یا تأسیسات بندری ...) نشان‌دهنده تأثیر عوامل انسان‌زاد در افزایش غلظت این آلاینده‌ها در رسوبات جنگل‌های حراست.

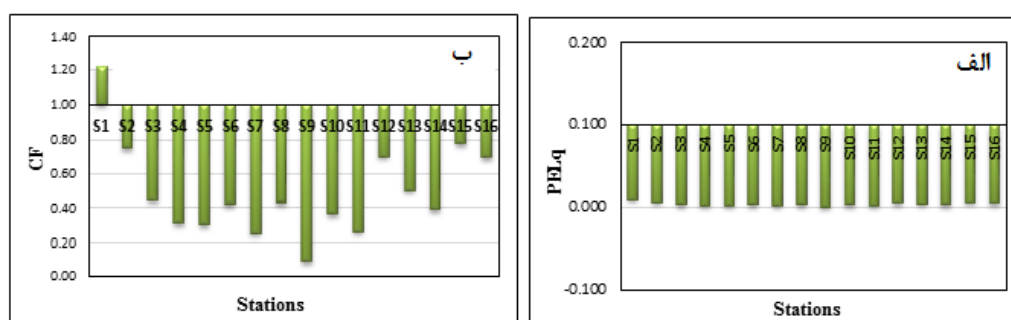
pH نمونه‌های رسوب نیز از ۸/۰۸ تا ۸/۲۴ تغییر می‌کند که بیان‌کننده قلیایی بودن رسوبات مطالعه شده با تغییرات بسیار اندک است (شکل ۲، ب). درصد ماده آلی کل نیز از ۲/۸۲ تا ۶/۴۲ درصد تغییر می‌کند و روند خاصی را در نقاط نمونه‌برداری نشان نمی‌دهد (شکل ۲، ج). بیشترین میزان ماده آلی به نقاطی مربوط است که درصد رسوبات دانه‌ریز بیشتری دارند (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۴، ۵، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۵). در تمام ایستگاه‌های یادشده (به جز ۱، ۲ و ۱۵) تراکم درختان حرا بیشتر از سایر نقاط است و این درختان باعث کاهش شدت تلاطم امواج در نوار ساحلی می‌شوند؛ در نتیجه، شرایط مساعدی را برای تجمع و ته‌نشینی ماده آلی فراهم می‌کنند. وجود تنوع زیستی مانند آبیان و گیاهان دریایی در منطقه (که بخش درخور توجهی از مواد آلی را به خود اختصاص می‌دهند) از دیگر دلایل زیاد بودن نسبی ماده آلی در این مناطق است (Monazami Tehrani et al. 2016).

میزان کربن آلی رسوبات (عامل مهمی در انباشت آلاینده‌ها) از ۰/۲۲ تا ۰/۸۵ درصد تغییر می‌کند (شکل ۲، د). بیشترین میزان درصد کربن آلی به ایستگاه ۱۵ مربوط است؛ از آنجاکه این ایستگاه و همچنین نقاط ۱، ۲، ۴، ۵ و ۷ از محل‌های اصلی تخلیه و بارگیری سوخت قاچاق به‌وسیله قایق‌های صیادی‌اند، افزایش درصد کربن آلی در این ایستگاه‌ها علاوه بر وجود ذرات دانه‌ریز به علت آلودگی ناشی از نفت و ورود مشتقات نفتی به داخل رسوبات است (He et al. 2019). نقاط ۹، ۱۰ و ۱۱ با وجود داشتن درصد درخور توجهی از ذرات دانه‌ریز، به‌واسطه دور بودن از تأسیسات ساحلی و منابع آلوده‌کننده دارای درصد کمتری از کربن آلی هستند. ایستگاه‌های ۱۶ و ۶ نیز که در نزدیکی ایستگاه‌های تخلیه سوخت قرار دارند، درصد کمتری از کربن آلی دارند؛ درصد زیاد ذرات ماسه‌ای در رسوبات را می‌توان یکی از دلایل این امر دانست.

تغییرات غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل و شدت آلودگی



شکل ۳- تغییرات غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات منطقه مطالعه‌شده



شکل ۴- الف. شاخص سمیت هیدروکربن‌های نفتی و ب. ضریب آلودگی برای هیدروکربن‌های نفتی کل در نمونه‌های رسوب

همچنین کم‌بودن ظرفیت خودپالایی آن، غلظت مواد جامد معلق و آلاینده‌ها در آن زیاد است. غلظت‌های به‌دست آمده در مطالعه حاضر با غلظت هیدروکربن‌های رسوبات بخش‌های شمالی دریای عمان و اروندرود قابل قیاس است؛ با وجود این، تیاب به‌طور نسبی از غلظت آنها در سایر جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس بیشتر است.

غلظت هیدروکربن‌های نفتی در مطالعه حاضر با نتایج سایر مناطق دارای آب و هوای مشابه و جنگل‌های مانگرو مقایسه شد (جدول ۸). غلظت TPH در رسوبات مطالعه‌شده نسبت به رسوبات سطحی بندر امام خمینی (اکوسیستمی نیمه‌بسته با اتصال محدود به خلیج فارس) کمتر است (Jazani et al. 2013)؛ با توجه به فعالیت گسترده و تردد زیاد شناورهای حمل سوخت و دیگر کالاهای صادراتی در این بندر و

جدول ۸- غلظت TPH (بر حسب میکروگرم بر گرم) در رسوبات نواحی مختلف و رسوبات مطالعه‌شده

موقعیت	غلظت TPH	منبع
اروندرود و شمال غربی خلیج فارس	۲/۴۶-۳/۸۳	Al-Saad 1995
بخش‌های مختلف دریای عمان	۰/۱۰-۴/۱۰	de Mora et al. 2010
رسوبات سطحی بندر امام خمینی - بندرعباس	۳۲/۷۳-۹۷/۱۵	Jazani et al. 2013
جنگل‌های حرای شمال خلیج فارس	۰/۲۰-۰/۶۳	Mohebbi-Nozar et al. 2015
جنگل‌های حرای تیاب و کلاهی	۰/۳۶-۴/۸۹	مطالعه حاضر

تغییرات غلظت فلزات سنگین و شدت آلودگی آنها

غلظت فلزات سنگین در رسوبات مطالعه‌شده در جدول ۳ نشان داده شده است. غلظت نیکل در نمونه‌های رسوب مطالعه‌شده از ۱۲۴ تا ۱۶۳ (میانگین ۱۴۷/۸۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم تغییر می‌کند. ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷ که داخل جنگل‌های حرا و در فاصله کمتری از تأسیسات ساحلی مانند اسکله‌های صیادی قرار دارند، غلظت نیکل بیشتری دارند و با افزایش فاصله نقاط نمونه‌برداری از این تأسیسات، غلظت نیکل در آنها کاهش می‌یابد؛ ضمن اینکه در تمام نقاط، میانگین غلظت نیکل نسبت به میانگین رسوبات خلیج فارس و رسوبات جهانی بیشتر است. با توجه به اینکه منطقه مطالعه‌شده در محل تردد شناورهای دریایی سبک و سنگین قرار دارد و عنصر نیکل نیز یکی از اجزای اصلی موجود در ترکیبات نفتی و همچنین مواد رنگی است، افزایش آن در ایستگاه‌های مطالعه‌شده به احتمال زیاد از فعالیت‌های موجود در این مناطق از جمله سوخت‌گیری، رنگ‌آمیزی، تعمیر و تردد شناورهای دریایی ناشی می‌شود (de Mora et al. 2004; Alomary and Belhadj 2007; Usman et al. 2013). کاهش غلظت نیکل در ایستگاه شماره ۱۶ با وجود قرار داشتن آن در اسکله صیادی بندر کلاهی، احتمالاً از درصد زیاد ذرات دانه درشت ماسه و همچنین درصد کم مواد آلی در این ایستگاه ناشی می‌شود.

غلظت وانادیم در نمونه‌های رسوب از ۷۳ تا ۸۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر است. اگرچه غلظت این فلز تغییرات ناچیزی را نشان می‌دهد، مقدار آن در ایستگاه‌های نواحی جنگلی (۴، ۵، ۳، ۱، ۱۴، ۷ و ۸) نسبت به سایر نقاط و استانداردهای یادشده بیشتر است. بیشتر این نقاط در محل‌های تردد یا سوخت‌گیری و جابه‌جا کردن مشتقات نفتی قرار دارند؛ بنابراین، اختلاف غلظت این فلز در نقاط مختلف ممکن است از وجود داشتن یا نداشتن ذرات رسوبی دانه‌ریز و مواد آلی یا ورود مستقیم مواد آلاینده به محل ناشی شود. کمترین غلظت وانادیم به ایستگاه ۹ مربوط است؛ همچنین این ایستگاه کمترین غلظت TPH را در بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارد.

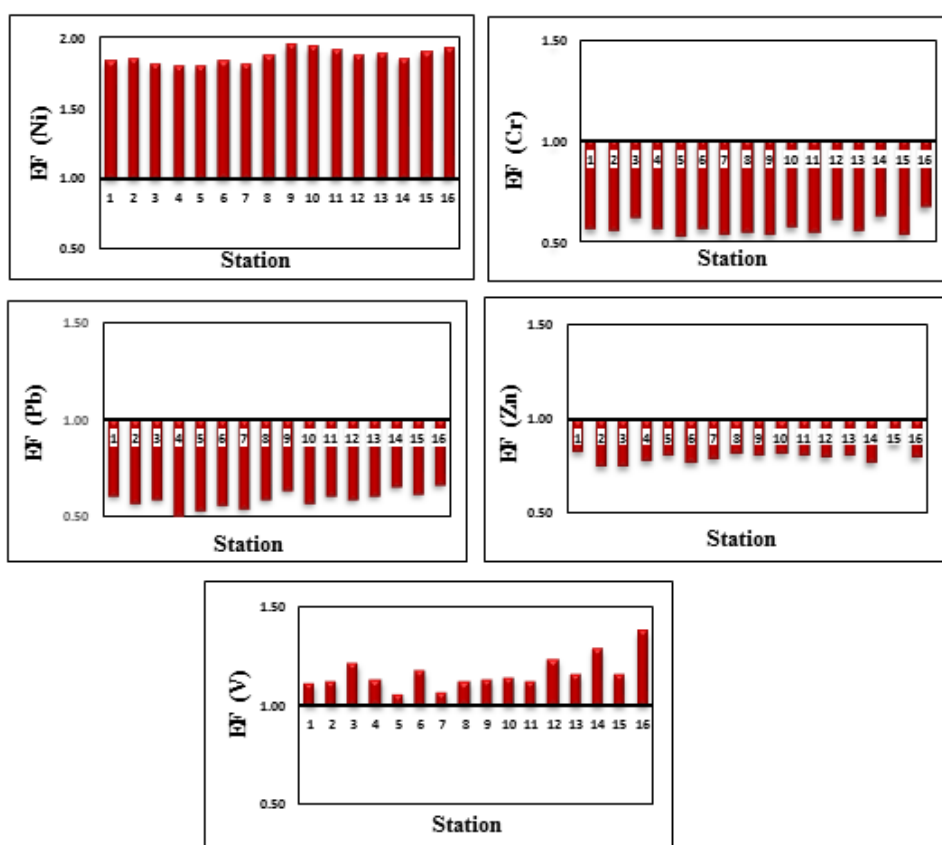
میانگین غلظت سرب در نقاط نمونه‌برداری ۸/۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و درکل، ایستگاه‌های نمونه‌برداری روند تقریباً یکسانی را نشان می‌دهند. غلظت روی نیز در نقاط نمونه‌برداری از ۴۸ تا ۶۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در دو ایستگاه ۱۶ و ۵ متفاوت است و بیشترین غلظت آن (مانند سایر فلزات) در نمونه‌های واقع در جنگل‌های حرا مشاهده می‌شود. مشخص شد بیشترین غلظت فلز روی در ایستگاه شماره ۵ (با درصد ماده آلی و ذرات دانه‌ریز فراوان) و کمترین غلظت آن در ایستگاه ۱۶ (با کمترین درصد ماده آلی و ذرات دانه‌ریز رسوب) وجود دارد؛ غلظت این فلز در دو ایستگاه ۱ و ۱۵ اندکی بیشتر از سایر ایستگاه‌های مجاور است. بیشترین غلظت فلز کروم نیز به ایستگاه‌های ۶ و ۱۲ و کمترین آن به ایستگاه ۲ مربوط است.

در مقایسه با رسوبات میانگین جهانی، غلظت نیکل در رسوبات مطالعه‌شده بیشتر و غلظت سایر فلزات کمتر است. در مقایسه با رسوبات خلیج فارس نیز دو فلز نیکل و وانادیم در رسوبات مطالعه‌شده غلظت به نسبت بیشتری را نشان می‌دهند. بر اساس رده‌بندی شاخص غنی‌شدگی (شکل ۵)، دو فلز نیکل و وانادیم در تمام ایستگاه‌های مطالعه‌شده غنی‌شدگی اندکی دارند و سایر فلزات در رده بدون غنی‌شدگی قرار می‌گیرند. غنی‌شدگی زیاد وانادیم و نیکل در رسوبات مطالعه‌شده را می‌توان به منابع انسان‌زادی چون اسکله‌های صیادی موجود در خور تیاب و کلاهی، قاچاق سوخت و تخلیه ترکیبات نفتی، تردد شناورهای دریایی در منطقه و همچنین ورود فاضلاب‌های تصفیه‌نشده شهری نسبت داد.

به منظور دستیابی به دیدگاهی کلی و مقایسه‌ای درباره آلودگی فلزی رسوبات ساحلی منطقه تیاب، میانگین غلظت فلزات به دست آمده در مطالعه حاضر با سایر مطالعه‌های مشابه در منطقه خلیج فارس و همچنین سایر نقاط جهان مقایسه شد. مقایسه غلظت‌ها با رسوبات ساحلی منطقه عسلویه (Arfaeina et al. 2019) مشخص کرد رسوبات منطقه تیاب در مقایسه با این رسوبات غلظت کمتری از سرب و روی دارند (جدول ۳) و فعالیت‌های صنعتی بیشتر در منطقه عسلویه

نتایج محاسبه ریسک اکولوژیک رسوبات نسبت به فلزات سنگین در جدول ۹ آورده شده‌اند. بر اساس نتایج برآورد ریسک اکولوژیک و مقایسه آنها با رده‌بندی ریسک اکولوژیک (جدول ۷)، رسوبات جنگل‌های حرای تیاب از نظر فلزات سرب، روی، وانادیم و کروم ریسک اکولوژیک کمی دارند و تنها فلز نیکل ریسک اکولوژیک متوسط دارد. با توجه به جدول ۹، فلزات کروم، وانادیم، سرب و روی ضریب آلودگی کمی دارند و تنها فلز نیکل ضریب آلودگی متوسط دارد. بر اساس ضرایب آلودگی و ریسک اکولوژیک هر فلز، ریسک اکولوژیک کل رسوبات مطالعه‌شده متوسط است. نتایج پژوهش حاضر با نتایج مطالعه قاسمی و همکاران (Ghasemi et al. 2018) روی دیگر جنگل‌های مانگرو استان هرمزگان همخوانی دارند.

علت آن است؛ مقایسه با رسوبات حرای خلیج آذینی (Ghasemi et al. 2018) نیز نشان داد غلظت فلز سرب در رسوبات منطقه تیاب کمتر است، ولی این رسوبات غلظت روی بیشتری دارند. در مقایسه با رسوبات جنگل حرای ذخیره‌گاه حرا (واقع در جنوب استان هرمزگان Nowrouzi and Pourkhabbaz 2014)، غلظت فلز نیکل در رسوبات حرای تیاب تا دو برابر افزایش نشان می‌دهد. مقایسه غلظت فلزات با غلظت متناظر آنها در رسوبات حرای دریای سرخ (Alzahrani et al. 2018) و جزیره هوجی مین در کشور ویتنام (Dung et al. 2019) نیز نشان داد رسوبات منطقه تیاب غلظت نسبتاً بیشتری از دو فلز کروم و نیکل دارند و غلظت سایر فلزات در حد و یا کمتر از غلظت آنها در مناطق یادشده است.



شکل ۵- ضریب غنی‌شدگی فلزات در رسوبات منطقه مطالعه‌شده

جدول ۹- نتایج محاسبه شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات در رسوبات

شاخص	Pb	V	Cr	Zn	Ni
C_f	۰/۶۱	۰/۲۳	۰/۶۱	۰/۲۳	۱/۶
ضریب آلودگی	کم	کم	کم	کم	متوسط
Er	۶/۰۹	۵/۲۳	۲/۴۵	۸/۶۱	۵۵/۸۰
ریسک اکولوژیکی هر فلز	کم	کم	کم	کم	متوسط
RI	۷۸/۱۴ (متوسط)				

تحلیل‌های آماری

به منظور بررسی روابط آماری در مطالعه حاضر، ابتدا از نرمال بودن توزیع داده‌ها از طریق آزمون شاپیرو-ویلک اطمینان حاصل شد و سپس ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نتایج این همبستگی درک ما را از شیوه توزیع آلاینده‌ها در رسوب و عوامل مؤثر بر آن افزایش می‌دهد. نتایج تحلیل همبستگی (جدول ۱۰) نشان می‌دهند درصد ذرات دانه ریز سیلت و رس رابطه معناداری با ماده آلی کل (TOM) ($r=0/726$) در سطح معناداری ۰/۰۱ و کربن آلی (OC) ($r=0/534$) در سطح معناداری ۰/۰۵ دارد. همبستگی فلزات سنگین با یکدیگر نشان می‌دهد بین سرب و کروم در سطح معناداری ۰/۰۵ و سرب و روی در سطح معناداری ۰/۰۱ رابطه مثبت و بااهمیتی وجود دارد. نیکل با وانادیم ضریب همبستگی قوی و معناداری دارد ($r=0/759$). همبستگی این فلزات با یکدیگر احتمالاً منشأ یکسان یا مشابه

آنها را در نمونه‌های رسوب نشان می‌دهد. درصد ماسه و pH رسوبات با هیچ‌یک از فلزات و همچنین با TPH رابطه معناداری نشان نمی‌دهد که ممکن است به علت بازه کم تغییرات این شاخص‌ها باشد. از سویی همبستگی مثبتی بین فلزات (به جز نیکل) با برخی از شاخص‌های فیزیکوشیمیایی مانند درصد ذرات ریزدانه سیلت و رس مشاهده می‌شود و این همبستگی قوی با ویژگی‌های ذاتی رسوبات نشان‌دهنده منشأ عمدتاً طبیعی بیشتر فلزات در نمونه‌های رسوب است؛ ضمن اینکه بسیاری از این فلزات مانند کروم، وانادیم و سرب از نظر ژئوشیمیایی رفتار مشابهی با روی دارند. گفتنی است همبستگی ضعیف، اما معناداری بین غلظت TPH در رسوبات و غلظت دو فلز نیکل و وانادیم دیده می‌شود که نشان‌دهنده منشأ انسان‌زاد و یکسان این آلاینده‌ها در رسوبات مطالعه‌شده است.

جدول ۱۰- همبستگی هیدروکربن‌های نفتی، شاخص‌های فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین در رسوبات منطقه مطالعه‌شده

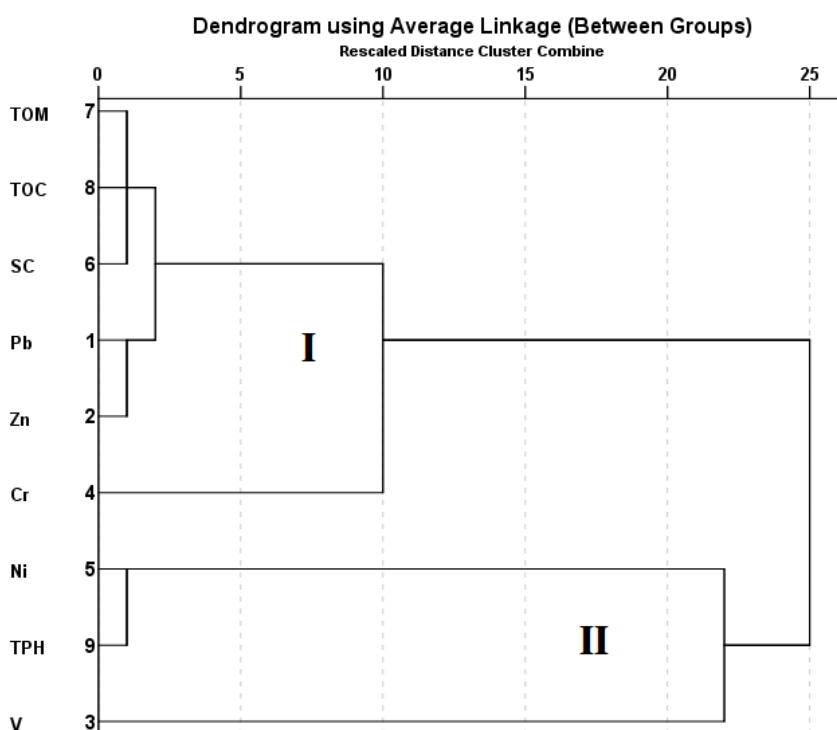
	TPH	Sand	Silt+Clay	pH	TOM	OC	Ni	V	Pb	Zn	Cr
TPH	۱										
Sand	۰/۱۳۰	۱									
Silt+Clay	-۰/۱۳۰	-۰/۴۰۵	۱								
pH	-۰/۰۹۷	-۰/۱۳۹	۰/۱۳۹	۱							
TOM	۰/۰۳۴	-۰/۲۳۴	۰/۷۲۶**	-۰/۱۵۹	۱						
OC	۰/۰۴۶	-۰/۱۲۷	۰/۵۳۴*	۰/۰۶۳	۰/۴۹۸*	۱					
Ni	۰/۴۳۹*	۰/۳۶۲	۰/۴۲۷*	-۰/۲۹۸	۰/۴۸۵	۰/۶۲۸*	۱				
V	۰/۵۸۲*	۰/۴۴۷	۰/۶۶۲**	-۰/۲۳۵	۰/۳۳۴	۰/۶۰۵*	۰/۷۵۹**	۱			
Pb	-۰/۰۴۸	۰/۰۳۳	۰/۶۳۳**	-۰/۰۴۰	۰/۴۷۵	۰/۷۳۲**	۰/۵۹۴*	۰/۵۷۵**	۱		
Zn	-۰/۱۴۴	-۰/۱۲۳	۰/۵۲۳**	-۰/۲۹۱	۰/۵۹۲*	۰/۴۶۸*	۰/۵۵۰*	۰/۴۴۷	۰/۶۰۶*	۱	
Cr	-۰/۱۴۴	۰/۱۸۵	-۰/۶۸۵**	-۰/۲۹۱	۰/۵۱۶*	۰/۳۷۰	۰/۵۳۳*	۰/۶۹۱**	۰/۵۹۴*	۰/۵۰۱*	۱

** معناداری در سطح ۰/۰۱

* معناداری در سطح ۰/۰۵

زیرا فلزات موجود در این گروه درجه غنی‌شدگی اندکی دارند. خوشه دوم (II) شامل فلز نیکل و TPH است و با فاصله بیشتری، فلز وانادیم نیز به آنها پیوند می‌خورد. قرارگیری هیدروکربن‌های نفتی کل به همراه نیکل و وانادیم در یک گروه مجزا نشان‌دهنده منشأ متفاوت و احتمالاً انسان‌زاد این آلاینده‌ها در رسوبات است؛ زیرا همبستگی زیادی با بیشتر فلزات خوشه اول نشان نمی‌دهند.

روش تحلیل خوشه‌ای (Cluster analysis (CA)) نیز به منظور تحلیل بیشتر داده‌ها و تأیید نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی روی مجموعه داده‌ها انجام شد. نتایج این روش دو گروه یا خوشه اصلی (I و II) را نشان می‌دهند (شکل ۶). خوشه اول (I) با کمترین فاصله شامل فلزات نیکل، روی، سرب، وانادیم و کروم و شاخص‌های ماده آلی کل (TOM)، کربن آلی (OC) و درصد سیلت و رس (SC) است. این گروه بندی نشان می‌دهد منشأ بیشتر این فلزات طبیعی است؛



شکل ۶- نمودار خوشه‌ای غلظت فلزات سنگین، TPH و شاخص‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های رسوب

نتیجه

است و با افزایش فاصله از این مناطق، غلظت آنها نیز کاهش می‌یابد. در مقایسه با شاخص‌های کیفیت رسوب، رسوبات مطالعه شده در وضعیت بدون ریسک یا آلودگی کم از نظر هیدروکربن‌های نفتی کل قرار دارند؛ ولی روند افزایشی غلظت TPHs به‌ویژه در نزدیکی منابع آلودگی ساحلی نشان‌دهنده تأثیر فعالیت‌های انسان‌زاد در افزایش غلظت این آلاینده‌ها در رسوبات است. در زمینه فلزات سنگین نیز

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کلی وضعیت آلودگی هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین در رسوبات سواحل مجاور بنادر تباب و رویشگاه‌های حرای این منطقه انجام شد. نتایج نشان دادند غلظت هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های واقع در اسکله صیادی بندر کلاهی و گمرک بندر تباب نسبت به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری افزایش یافته

پروژه حاضر داشتند تشکر و سپاسگزاری می‌شود.

References

- Alomary A.A. and Belhadj S. 2007. Determination of heavy metals (Cd Cr Cu Fe Ni Pb Zn) by ICP-OES and their speciation in Algerian Mediterranean Sea sediments after a five-stage sequential extraction procedure. *Environmental Monitoring and Assessment*, 135: 265-280.
- Al-Saad H.T. 1995. Distribution and sources of hydrocarbons in Shatt Al-Arab estuary and NW Arabian Gulf. (Doctoral dissertation PhD. Thesis Basra University, Iraq 250 p.
- Alzahrani D. A. Selim E. M. M. and El-Sherbiny M.M. 2018. Ecological assessment of heavy metals in the grey mangrove (*Avicenna marina*) and associated sediments along the red sea coast of Saudi Arabia. *Oceanologia*, 60: 513-526.
- Arfaeina H. Dobaradaran S. Moradi M. Pasalari H. Mehrizi E.A. Taghizadeh F. Esmaili A. and Ansarizadeh M. 2019. The effect of land use configurations on concentration spatial distribution and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. *Science of the Total Environment*, 653: 783-791.
- Bowen H.J.M. 1979. *Environmental chemistry of the elements*. Academic Press, New York, 333 p.
- Chen C.W. Kao C.M. Chen C.F. and Dong C.D. 2007. Distribution and accumulation of heavy metal in the sediment of Kaohsiung Harbor Taiwan. *Chemosphere*, 66: 1431-1440.
- Dadashi M. Ghafari S. Riyahi Bakhtiari A. and Tauler R. 2018. Multivariate curve resolution of organic pollution patterns in mangrove forest sediment from Qeshm Island and Khamir Port—Persian Gulf Iran. *Environmental Earth Sciences*, 25: 723-735.
- de Mora S. Tolosa I. Fowler S.W. Villeneuve J.P. Cassi R. and Cattini C. 2010. Distribution of petroleum hydrocarbons and organochlorinated contaminants in marine biota and coastal sediments from the ROPME sea area during 2005. *Marine Pollution Bulletin*, 60: 2323-2349.
- de Mora S. Fowler S.W. Wyse E. and Azemard S. 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves fish and coastal sediments in the Gulf and Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*, 49: 410-424.
- Dung T.T. Lin T.M. Chau T.B. Hoang T.M. Swennen R. and Cappuyns V. 2019. Contamination status and potential release of trace metals in a mangrove forest sediment in Ho Chi Minh City Vietnam. *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 9536-9551.

مشاهده شد غلظت برخی فلزات مانند نیکل و وانادیم در نزدیکی منابع آلودگی افزایش نسبی می‌یابد؛ اگرچه محاسبه ضریب غنی‌شدگی و ریسک اکولوژیکی نشان داد در حال حاضر، بیشتر فلزات مطالعه‌شده غنی‌شدگی درخور توجهی ندارند و ریسک اکولوژیکی ناشی از آنها نیز متوسط است؛ باوجوداین، تحلیل‌های آماری انجام‌شده روند افزایشی غلظت برخی از فلزات در منطقه و زیاده‌بودن غلظت فلزاتی مانند نیکل و وانادیم نسبت به رسوبات خلیج فارس را نشان می‌دهد. افزایش غلظت برخی از این فلزات در منطقه تا حد زیادی تحت تأثیر منابع انسان‌زاد ساحلی است. از یافته‌های پژوهش حاضر نتیجه‌گیری می‌شود اگرچه در حال حاضر، غلظت آلاینده‌های نفتی و فلزی در رسوبات حرای تیاب چندان زیاد نیست، منشأ انسان‌زاد برخی آلاینده‌ها به‌ویژه هیدروکربن‌های نفتی کل و تمرکز آنها در نزدیکی منابع آلودگی ساحلی (مانند اسکله‌های صیادی، توقفگاه‌های قایق‌ها، حوضچه‌های پرورش میگو) نشان می‌دهد باید اقداماتی برای کاهش ورود آلاینده‌ها به‌ویژه هیدروکربن‌های نفتی در ایستگاه‌های داخل و نزدیک جنگل‌های حرای تیاب انجام شوند که جلوگیری از تردد قایق‌های سوخت‌چاق، کنترل کیفیت و کمیت پساب‌های خروجی از حوضچه‌های پرورش میگو و اسکله‌های صیادی از جمله این اقدامات است؛ همچنین پیشنهاد می‌شود با نمونه‌برداری وسیع‌تر و تجزیه و تحلیل آلاینده‌های دیگر مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای، شدت آلودگی و ریسک اکولوژیکی ناشی از وجود این آلاینده‌ها در رسوبات جنگل‌های حرا به‌طور دقیق‌تر و مفصل‌تر ارزیابی شود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت‌های مالی شورای پژوهشی دانشگاه صنعتی شاهرود قدردانی می‌کنند؛ همچنین از کارکنان پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان و اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان هرمزگان که نهایت همکاری را با

- Sany S.B.T. Salleh A. Sulaiman A.H. Sasekumar A. Rezayi M. and Tehrani G.M. 2013. Heavy metal contamination in water and sediment of the Port Klang coastal area Selangor Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 69: 2013-2025.
- Sutherland R.A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream Oahu Hawaii. *Environmental Geology*, 39: 611-627.
- Tam N.F. Wong T.W. and Wong Y.S. 2005. A case study on fuel oil contamination in a mangrove swamp in Hong Kong. *Marine Pollution Bulletin*, 51:1092-1100.
- USEPA 2004. Soil and waste pH in Test Methods for Evaluating pH in Aqueous Soil/Sediment Solid and Waste Samples. Method 9045D, 5 p.
- Usman A.R. Alkredaa R.S. and Al-Wabel M.I. 2013. Heavy metal contamination in sediments and mangroves from the coast of Red Sea: *Avicenna marina* as potential metal bioaccumulator. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 97: 263-270.
- Vane I. Harrison A.W. Kim V. Moss-Hayes B.P. Vickers K. and Hong B. 2009. Organic and metal contamination in surface mangrove sediments of South China. *Marine Pollution Bulletin*, 58: 134-144.
- Zahed M.A. Rouhani F. Mohajeri S. Bateni F. and Mohajeri L. 2010. An overview of Iranian mangrove ecosystems northern part of the Persian Gulf and Oman Sea. *Acta Ecologica Sinica*, 30: 240-244.
- Ebrahimi-Sirizi Z. and Riyahi-Bakhtiyari A.L. 2013. Petroleum pollution in mangrove forests sediments from Qeshm Island and Khamir Port—Persian Gulf Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185:4019-4032.
- Ghasemi S. Siavash Moghaddam S. Rahimi A. Damalas C. and Naji A. 2018. Ecological risk assessment of coastal ecosystems: The case of mangrove forests in Hormozgan Province, Iran. *Chemosphere*, 191: 417-426.
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975-1001.
- He Z. Dominech S. Wen X. and Yang Y. 2019. Heavy metals of surface sediments in the Changjiang (Yangtze River) Estuary: Distribution speciation and environmental risks. *Journal of Geochemical Exploration*, 198: 18-28.
- Jazani R.K. Tehrani G.M. and Hashim R.O. 2013. TPH-PAH contamination and benthic health in the surface sediments of Bandar-E-Imam Khomeini-Northwest of the Persian Gulf. *International Journal of Engineering Science Innovation Technology*, 2: 213-225.
- Karbassi A. 2001. Standard concentrations and origin of Pb Mn Ni Zn Cu Co Cd V and Fe in surface sediment of Persian Gulf. *Journal of Science and Technology of Environment*, 5: 53-66.
- Long E.R. MacDonald D.D. Smith S.L. and Calder F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81-97.
- Mohebbi-Nozar L. Pauzi Zakaria M. Seddiq Mortazawi M. Salimizadeh M. Momeni M. Akbarzadeh G.A. and Ismail W.R. 2015. Total petroleum hydrocarbons in sediments from the coastline and mangroves of the northern Persian Gulf. *Marine Pollution Bulletin*, 10: 13-37.
- Monazami Tehrani G.H. Sany S.B.T. Hashim R. and Salleh A. 2016. Predictive environmental impact assessment of total petroleum hydrocarbons in petrochemical wastewater effluent and surface sediment. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1-13.
- MOOPAM 2010. Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment Kuwait (ROPME), 54 p.
- Nawrouzi M and Pourkhabbaz A. 2014. Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 26: 99-105.