(DOI): 10.22092/ISFJ.2026.136381 35(4) 85-98 Iranian Fisheries Scientific Journal

Investigation of petroleum and heavy metals pollution in the sediments of the western and eastern parts of Jask Bay (Hormozgan Province)

Mohebbi-Nozar S.L.[1*]; Mortazavi M.S.[1]; Sharifian S.[1]; Koohkan H.[1]; Molaei R.[1]

*lailimohebbi@gmail.com

1-Persian Gulf and Oman Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Bandar Abbas, Iran

Received: February 2026 Accepted: April 2026 Published: November 2026

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Introduction

Today, considerations related to the protection and prevention of marine environment pollution are vital for the marine environment planning of most countries. Among the main sources of pollution in the Oman Sea, the activities related to chemical industries and the presence of oil and gas reserves are important (Uddin *et al*., 2021). Benefiting from these reserves has caused the marine ecosystem to release petroleum compounds in various stages of drilling activities, construction of oil facilities, exploration, extraction and refining, loading and handling operations (Zahedi, 2016). The entry of chemical pollutants is also through the release of effluents from coastal chemical industries and desalination plants, which depending on the type of operation, contain inorganic and organic compounds with a long half-life, and high bio-accumulation property, and affect the health of the aquatic and human consumers (Bashir *et al*., 2020). In this regard, understanding the state of pollutants in marine ecosystems and the ecological health of marine waters and the health of aquatic consumers is essential. Also, following the process of environmental changes and creating the basic information needed in the plans and processes of the fishing activities development, is very important. In this regard, the current research was conducted to determine the status and ecological risk of heavy metals (Pb, Cr, Cd, Ni, V, and Fe) and total petroleum compounds (TPHs) in the sediments of Jask Bay, in the west of the Hormozgan province.

Methodology

Surface sediment samples were collected in spring and winter of 2023 and from 24 stations located in the western and eastern parts of Jask Bay. Extraction of petroleum components from dried sediments was performed with a 50:50 mixture of hexane and dichloromethane solvents and using a microwave radiation device (Ethos Plus model). The concentration of total petroleum hydrocarbons was determined using the ultraviolet fluorescence method (UVF) by wavelengths of excitation 310 nm and emission 360 nm and calculated according to the dry weight of the sediment (MOOPAM, 2010). Heavy metals were measured

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

by chemical digestion with a mixture of nitric acid and hydrochloric acid (MOOPAM, 2010) under Ethos1 model laboratory microwave conditions and instrumental analysis using an atomic absorption spectrophotometer (KSL-AA320 model). The ecological risk caused by TPHs was evaluated using standard sediment quality indices (SQGs) and contamination factor (CF) (Massoud *et al*., 1996). The Ecological risk of heavy metals was studied by pollution factor (CF), pollution degree (CD), pollution change degree (MCD), pollution loading index (PLI), potential ecological risk index (PERI) and accumulation-land index (I_{geo}) (Sharifnia *et al*., 2018, Tomlinson *et al*., 1980, Hakanson, 1980). The normality of pollutant concentrations was determined using the Kolmogorov-Smirnov test. Parametric tests (Tukey's posthoc, One-Way ANOVA, F coefficient, and t-test) were used for parameters with normal distribution and non-parametric tests (Kruskal-Wallis, chi-square ($\chi 2$), Mann-Whitney) were applied for non-normal parameters.

Results

The total average concentration of TPHs in sediments from the eastern part of Jask Bay was 0.53±0.24 µg/kg dry weight, ranging from a minimum of 0.2 to a maximum of 1.07. In the western area of Jask Bay, the range of change was more limited (from 0.05 to 0.33 µg/kg dry weight) with an average of 0.2±0.09. The overall average of TPHs for Jask Bay sediments in the spring season was measured as 0.37±0.24 µg/kg dry weight. The sediments of the western and eastern parts of Jask Bay in winter showed a lower range of changes in TPHs concentration with a minimum of 0.09 to a maximum of 0.35 µg/kg and the overall average was 0.18±0.07 µg/kg of dry weight. The calculated toxicity indices and pollution coefficient for TPHs showed that the PELq values were much lower than 0.1, which means the absence of adverse biological effects. The calculated pollution factor was less than one with the range of 0.01 to 0.72. No significant difference was observed in the concentration of cadmium in each season between the western and eastern parts of Jask Bay ($p>0.05$) and average cadmium concentration in spring and winter seasons was measured as 0.54 ± 0.06 and 0.29±0.04 µg/kg, respectively. These values were 6.77±2.6 and 6.45±2.22 µg/kg for Pb in spring and winter, respectively. Ni in spring and winter had total averages of 34.16±3.6 and 34.48 ±4.92 µg/kg, respectively. In spring, the concentration of chromium in the eastern part of the bay with an average of 28.69 ± 2.3 was lower than the western part with an average of 36.68 ± 5.4 µg/kg ($p<0.05$). In the winter season, the average of 37.62±5.9 and 32.44±4.6 was recorded in the eastern and western parts, respectively. Fe in the western and eastern parts of the bay and also the sampling seasons did not have significant changes ($p>0.05$) and the range of concentration changes was measured from 1.16 to 1.37 µg/kg. In spring, the concentration of V in the eastern part (26.69 ± 13.4) was significantly lower than the western part (43.05±20.3) ($p<0.05$), but in winter the difference between eastern and western parts was not significant and the total average in this season was 41.28 ± 17.7 µg/kg. Table 1 shows the results obtained from the calculation of ecological risk assessment indices of heavy metals. The accumulation-ground index (I_{geo}) with the highest value of 0.46 was measured for Cd.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

Table 1: Values of toxicity index and pollution factor for TPHs in sediments of Jask Bay and comparison with standard values

Toxicity Index		Contamination Factor	
Variation range in current study	Limited value	Variation range in current study	Limited value
0 – 0.01	PELq <0.1 No effect	0.01 – 0.72	CF <1 No effect

Discussion and conclusion

The results of the present study showed that the sediments of the eastern part of Jask Bay contain higher amounts of TPHs. The stations in the eastern part were closer to the coast and were less affected by surface currents, which may explain the relatively high TPHs concentration in this area (Ololade *et al*., 2009; Maktoof *et al.,* 2014). The maximum measured concentration of total petroleum hydrocarbons in the dry sediments of Jask Bay is 1.07 µg/kg, which is substantially lower than the background concentration of 10 µg/g, and thus it can be concluded that TPHs concentrations in the sediments of the Jask Bay are within the background range and are unlikely to cause adverse biological effects. A review study of TPHs distribution in Persian Gulf sediments (Iraq, Iran, Kuwait, Saudi Arabia, Bahrain, Qatar, United Arab Emirates, and Oman) reported a range from 0.134 to 48018 µg/g dry weight, compared with the background concentration range of 10-15 µg/g as the background concentration in Persian Gulf sediments, it is clear that in some areas the concentration is significantly higher than the standard limits. Most of the places that had a high level of pollution were located near point sources such as oil facilities and ports (Uddin *et al.,* 2021). As the results showed, most of the studied metals did not show significant differences between the western and eastern parts of Jask Bay. It has been reported that in the sediments from west of Hormozgan province, the range of Ni changes was from 21.24 to 27.83 µg/kg dry weight (Mortazavi *et al*., 2022). Cd concentration ranged from 1.24 to 1.3 and for Cr from 38.1 to 46.5 µg/kg (Mortazavi *et al*., 2022). For all elements, the reported values were higher than the concentrations measured in the present study. Cd in the western part of Jask Bay in spring had a pollution factor value of 2.06, which indicates the moderate pollution of sediments. Also, the accumulation-ground index (I_{geo}) confirmed that the sediments had been polluted with Cd. Some physicochemical characteristics of Cd, such as high accumulation in aquatic organisms and high toxicity potential, cause concern about ecological health (Mirzaei *et al*., 2020). High concentrations of Cd in Nakhilo Bushehr region (Arfaeinia *et al.,* 2019), Chabahar Bay area (Agah, 2021), Strait of Hormuz (including Tiab, Lark and Hengam estuaries) (Mortazavi *et al*., 2022), coral reef islands of the Persian Gulf (Ranjbar *et al.,* 2017), Khor Khamir and Tiab (Sharifinia *et al*., 2018), mangroves of Qeshm, Khamir and Khor Azini (Ghasemi *et al.,* 2018) have also been reported. Cadmium is generally used in electroplating, pigments, plastic stabilizers and nickel-cadmium batteries, anti-fouling coatings, power stations, heating systems, and enters the marine ecosystem through sewage (Jumbe and Nandini, 2009). According to industrial and urban national development programs in Makran region, temporal and spatial monitoring of cadmium pollution in different environmental matrices, including water, sediment and biota is essential.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

Acknowledgment

The authors would like to thank the Hormozgan Department of Environment for its cooperation in the analysis of oil pollutants.

Keywords

Oil pollution, Heavy metals, Jask Bay, Hormozgan, Oman Sea

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

مجله علمی شیلات ایران ۳۵ (٤) ۸۵-۹۸ (DOI): 10.22092/ISFJ.2026.136381

مقاله علمی - پژوهشی:

بررسی آلاینده‌های نفتی و فلزات سنگین در رسوبات خلیج غربی و شرقی جاسک در استان هرمزگان

سیده لیلی محبی‌نوذر*[۱]، محمدصدیق مرتضوی[۱]، سنا شریفیان[۱]، هادی کوهکن[۱]، راضیه ملایی[۱]

**lailimohebbi@gmail.com

۱-پژوهشکده اکولوژی خلیج فارس و دریای عمان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران

تاریخ دریافت: بهمن ۱٤۰٤ تاریخ پذیرش: فروردین ۱٤۰۵ تاریخ چاپ: آبان ۱٤۰۵

چکیده

اثرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از توسعه های صنعتی و شهری، توجه محققین را به پایش آلاینده‌ها معطوف نموده است. در پژوهش حاضر، پراکنش و ارزیابی ریسک اکولوژیک هیدروکربن‌های نفتی کل و فلزات سنگین (Cd،Ni، Cr، V، Pb و Fe) در رسوبات خلیج جاسک در سال۱۴۰۲ انجام شد. تجزیه‌وتحلیل دستگاهی فلزات سنگین با جذب اتمی و ترکیبات نفتی با دستگاه اسپکتروفتومتر مرئی فرابنفش (UVF) صورت پذیرفت. میانگین TPHs در خلیج جاسک در بهار و زمستان به‌ترتیب۰/۲۴±۰/۳۷ و۰/۰۷±۰/۱۸ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب ثبت گردید. شاخص‌های سمیت و ضریب آلودگی، پایین بودن آلودگی نفتی و اثرات بیولوژیک نامطلوب را نشان داد. میانگین غلظت کادمیم در فصول بهار و زمستان به‌ترتیب مقادیر۰/۰۶±۰/۵۴ و ۰/۰۴± ۰/۲۹ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه گیری گردید. میانگین کل غلظت کادمیم در بهار و زمستان به‌ترتیب ۰/۰±۵۴/۰۶ و ۰/۰۴±۰/۲۹ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک و برای سرب ۲/۶±۶/۷۷ و ۲/۲۲±۶/۴۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب بوده است. غلظت نیکل در بهار و زمستان به‌ترتیب ۳/۶±۳۴/۱۶ و ۴/۹۲±۳۴/۴۸ و برای کروم در بهار ۶۴/۴±۳۲/۵ و در زمستان ۵/۸±۳۵/۰۳ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. میانگین غلظت آهن معنی‌دار نبوده ($p>0/05$) و در محدوده ۱/۳۷-۱/۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم متغیر بوده است. وانادیم در بهار و زمستان به‌ترتیب دارای غلظت کل ۱۷/۰۵±۳۵/۲۶ و ۲۸/۷±۴۱/۱۷ میکروگرم بر کیلوگرم بوده است. دامنه تغییرات شاخص آلودگی برای کادمیم، سرب، و نیکل به‌ترتیب ۱/۶ الی ۱/۹۵، ۰/۴۲ تا ۰/۵۴ و ۰/۴۷ تا ۰/۵۴ بوده است. این شاخص برای عناصر کروم، آهن و وانادیم به‌ترتیب ۰/۴۲-۰/۳۲، ۰/۳۴—۰/۲۵ و ۰/۴۱—۰/۲۷ ثبت شد. شاخص‌های ریسک آلودگی متوسط رسوبات را به فلز کادمیم نشان داد که با توجه به سمیت آن و برنامه‌های توسعه‌ای پیش رو در منطقه مکران، نیازمند پایش مستمر است.

لغات کلیدی: آلودگی نفتی، فلزات سنگین، خلیج جاسک، هرمزگان، دریای عمان

*نویسنده مسئول

Copyright: © 2025 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

مقدمه

مسئله آلودگی محیط‌زیست در سال‌های اخیر به بحران بزرگی تبدیل شده است و کلیه فعالیت‌های انسان را در ارتباط با طبیعت، تهدید می‌نماید. ملاحظات مربوط به حفاظت و جلوگیری از آلودگی محیط‌زیست دریایی امروزه برای مسئولین برنامه‌ریزی محیط‌زیست دریایی کشورهای گوناگون جهان از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. از اصلی‌ترین کانون‌های آلودگی در دریای عمان می‌توان به فعالیت‌های مرتبط با صنایع شیمیایی و وجود ذخائر نفت و گاز اشاره نمود (Uddin *et al.,* 2021). بهره‌مندی از این ذخایر سبب شده است که اکوسیستم دریایی در مراحل مختلف از فعالیت‌های حفاری، احداث تأسیسات نفتی، اکتشاف، استخراج، پالایش و عملیات بارگیری و جابه‌جایی، با رهاسازی عمدی و غیرعمدی و دریافت غلظت بالایی از ترکیبات نفتی روبرو گردد (Zahedi, 2017). ورود آلاینده‌های شیمیایی از طریق رهاسازی پساب صنایع شیمیایی و آب‌شیرین‌کن‌های مستقر در نوار ساحلی نیز صورت می‌گیرد زیرا پساب خروجی آنها با توجه به نوع عملکرد صنعت شیمیایی غالباً شامل ترکیبات معدنی و آلی با نیمه عمر طولانی هستند که با تجمع زیستی در هرم غذای دریایی، بر سلامت آبزیان و مصرف‌کنندگان انسانی دارای تأثیرات خطرناک است (Bashir *et al.*, 2020).

هیدروکربن‌های نفتی کل (TPHs)[1] دربرگیرنده بخش های بزرگی از ترکیبات هیدروکربن‌های نفتی است که هر بخش شامل طیفی از مواد شیمیایی است که می توان به ترکیباتی همانند هگزان، سوخت جت، بنزن، تولوئن، زایلن‌ها، نفتالین، فلوئورن و سایر فرآورده‌های نفتی و اجزاء بنزین نیز اشاره نمود و این احتمال وجود دارد که در پاره‌ای از موارد، TPHs شامل طیف خاصی از مواد شیمیایی یا مخلوطی از آنها شود (ATSDR, 1999). از فرآیندهای مؤثر بر غلظت هیدروکربن‌های نفتی در محیط‌های دریایی می‌توان به پخش شدن و انحلال در ستون آب، تبخیر، تجزیه زیستی به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها و تجمع در رسوبات و ورود به بدن موجودات زنده اشاره کرد (Al-Imarah *et al.*, 2010). تخم و لار ماهیان و سایر آبزیان از تلفات اولیه آلودگی نفتی به‌شمار می‌روند. از عوارض ناهنجار آلودگی نفتی، اختلال و کاهش باروری ماهیان، ترک نمودن زیستگاه‌های طبیعی خود و تغییر حالات رفتاری آنهاست (Koochaki, 2003). فلزات سنگین از دیگر آلاینده‌های مهم در اکوسیستم آبی هستند که از منابع طبیعی و انسان ساخت همانند فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و خانگی به منابع آبی رهاسازی می‌شوند (Idris *et al.*, 2007). تجمع فلزات سنگین در رسوبات، دارای تاثیرات اکولوژیک منفی بر موجودات دریایی و سلامت مصرف‌کنندگان انسانی از طریق زنجیره غذایی است (Peng *et al.*, 2009). مقاوم بودن در مقابل تجزیه، تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی در زنجیره غذایی و سمیت فلزات سنگین، آنها را به تهدیدی برای سلامت اکوسیستم تبدیل نموده است (Zhang and Reynolds, 2019).

شناخت وضعیت آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های دریایی از ابعاد مختلف سلامت اکولوژیک آبهای دریایی، سلامت مصرف‌کنندگان آبزیان، پیگیری روند تغییرات زیست‌محیطی و ایجاد اطلاعات پایه موردنیاز در طرح‌ها و فرآیندهای توسعه فعالیت‌های شیلاتی و هنگام رخداد حوادث دریایی و تعیین خسارات اقتصادی، بسیار مهم می‌نماید. در این زمینه، پژوهش حاضر با هدف تعیین وضعیت و ریسک اکولوژیک ناشی از فلزات سنگین (سرب-کروم-کادمیم-نیکل-وانادیم و آهن) و ترکیبات نفتی کل (TPHs) در رسوبات خلیج جاسک صورت پذیرفت.

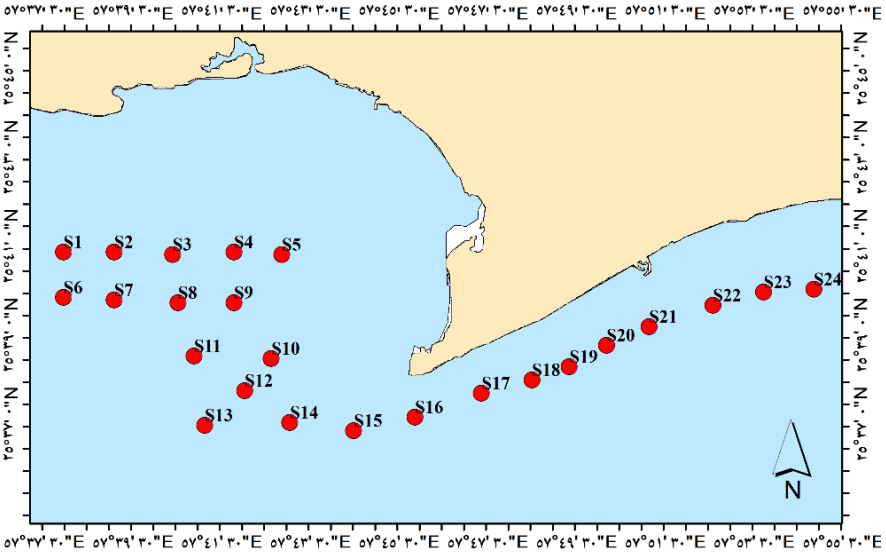
مواد و روش کار

انتخاب ایستگاه‌ها و نمونه‌برداری

جمع‌آوری نمونه‌های رسوب سطحی در دو نوبت بهار و زمستان سال۱۴۰۲ و از ایستگاه‌های مستقر در بخش‌های غربی و شرقی خلیج جاسک (شکل ۱) با استفاده از گرب صورت پذیرفت و پس از انتقال به آزمایشگاه تا زمان تجزیه‌وتحلیل در دمای ۲۰-درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

[1] Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]



شکل ۱: موقعیت ایستگاه های نمونه برداری در بخش های شرقی و غربی خلیج جاسک

Figure 1: The location of the sampling stations in the eastern and western parts of Jask Bay

سنجش نمونه‌ها

هیدروکربن های نفتی کل

استخراج مواد نفتی از رسوب‌های خشک‌شده با مخلوط ۵۰:۵۰ حلال‌های هگزان و دی کلرومتان و استفاده از دستگاه مایکروویو(مدل Ethos Plus) با قدرت ۱۲۰۰ وات و با شرایط دمایی افزایش دما تا ۱۱۵ درجه سانتی‌گراد در ۱۰ دقیقه و کامل نمودن فرآیند استخراج به مدت ۲۰ دقیقه انجام گردید. غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل با کمک فلوئورسانس اشعه ماورای بنفش و به‌کارگیری طول موج های برانگیختگی ۳۱۰ و انتشار ۳۶۰ نانومتر تعیین و بر حسب وزن خشک رسوب محاسبه گردید (MOOPAM, 2010).

فلزات سنگین

آماده‌سازی نمونه‌های رسوب خشک، بر اساس روش هضم شیمیایی با مخلوط اسیدنیتریک و اسیدکلریدریک (MOOPAM, 2010) در شرایط مایکروویو آزمایشگاهی مدل Ethos1 و تجزیه‌وتحلیل دستگاهی با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی (مدل KSL-AA320)، انجام گردید.

ارزیابی کیفیت رسوب

هیدروکربن‌های نفتی کل

ریسک اکولوژیک ناشی از هیدروکربن‌های نفتی کل با استفاده از شاخص‌های استاندارد کیفیت رسوبات (SQGs) و شاخص آلودگی (CF) مورد ارزیابی قرار گرفت (Massoud *et al.*, 1996).

فلزات سنگین

ریسک اکولوژیک ناشی از فلزات سنگین مورد مطالعه به‌وسیله فاکتور آلودگی (CF)، درجه آلودگی (CD)، درجه تغییر آلودگی (MCD)، شاخص بارگذاری آلودگی (PLI)، شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک (PERI) و شاخص تجمع-زمینی (I_{geo}) صورت پذیرفت (Hakanson, 1980; Tomlinson *et al.*, 1980; Sharifnia *et al.*, 2018).

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

نرمال بودن غلظت‌های فلزات سنگین با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد. شاخص‌های با توزیع نرمال از آزمون پارامتریک (Tukey's post-hoc, One-Way ANOVA ضریب F، و t-test) و شاخص‌های غیر

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

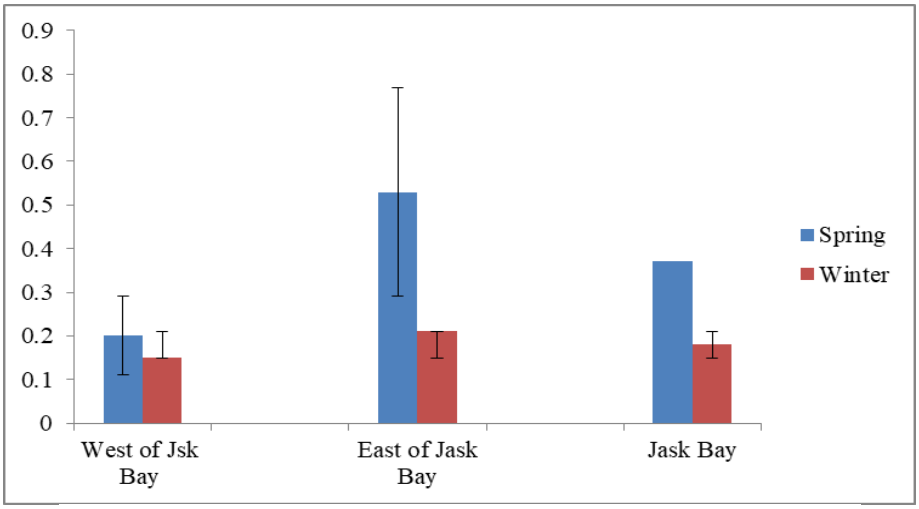
نرمال از آزمون‌های ناپارامتریک (Kruskal-Wallis, chi-square (χ2), Mann-Whitney استفاده شد.

نتایج

آلاینده‌های نفتی

توزیع هیدروکربن‌های نفتی کل

توزیع میانگین غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل به تفکیک بخش‌های غربی و شرقی خلیج جاسک در شکل ۲ نشان داده شده است. دامنه تغییرات میانگین غلظت در بهار در منطقه شرقی خلیج جاسک با میانگین ۰/۵۳±۰/۲۴ میکروگرم بر کیلوگرم رسوبات خشک از حداقل ۰/۲ تا حداکثر ۱/۰۷ متغیر بوده است درحالی‌که در منطقه غربی خلیج جاسک دامنه تغییر محدودتر (۰/۳۳-۰/۰۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) با میانگین ۰/۲±۰/۰۹ بود. میانگین کلی TPHs برای رسوبات خلیج جاسک در فصل بهار ۰/۳۷±۰/۲۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. رسوبات بخش‌های غربی و شرقی خلیج جاسک در زمستان، دامنه تغییرات محدودتری از غلظت TPHs را با حداقل ۰/۰۹ تا حداکثر ۰/۳۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک نشان دادند و میانگین کلی TPHs در رسوبات خلیج جاسک در زمستان، برابر با ۰/۱۸±۰/۰۷ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک ثبت گردید.



شکل ۲: تغییرات غلظت TPHs (میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک) رسوبات خلیج جاسک

Figure 2: Concentration changes of TPHs (µg/kg dry weight) in Jask Bay sediments

ارزیابی ریسک اکولوژیک هیدروکربن‌های نفتی کل

وضعیت شاخص‌های سمیت و ضریب آلودگی محاسبه شده برای رسوبات منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد، مقادیر PELq ناشی از هیدروکربن‌های نفتی در رسوبات بسیار کمتر از حد ۰/۱ بوده که به معنای فقدان اثرات بیولوژیک نامطلوب بود. بیشترین مقادیر از PELq با حدود تقریبی ۰/۰۱ مشاهده گردید. شاخص آلودگی محاسبه شده ناشی از ترکیبات نفتی نیز در رسوبات کمتر از یک بوده و دامنه تغییرات شاخص آلودگی در دامنه ۰/۷۲-۰/۰۱ بوده که بیشترین مقدار مربوط به فصل بهار و رسوبات شرق خلیج بود.

فلزات سنگین

توزیع فلزات سنگین

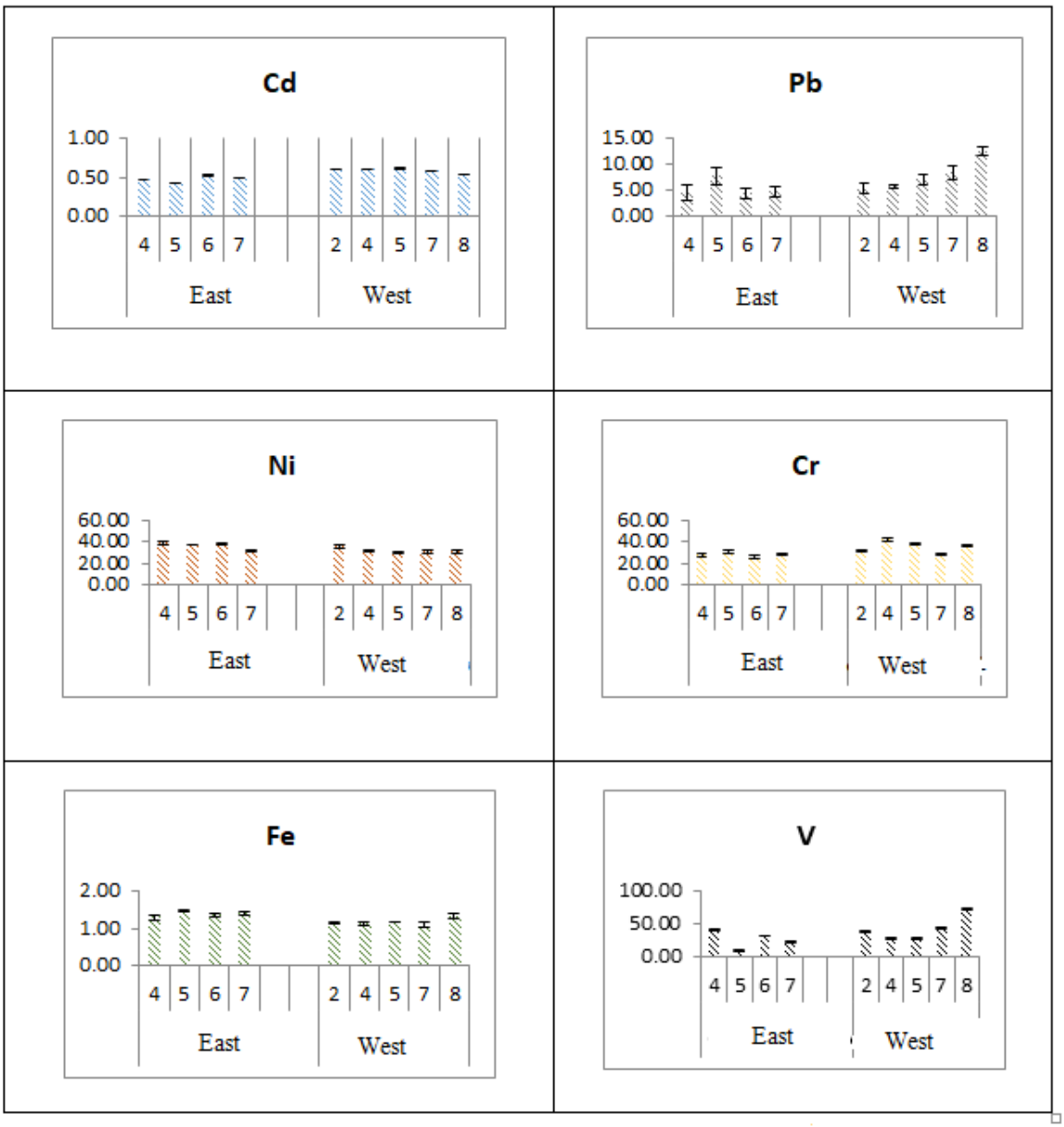
نتایج حاصل از سنجش به تفکیک فصول نمونه‌برداری و نوع فلز در شکل های۳ و ۴ نشان داده شده است. در فصل بهار میانگین غلظت کادمیم در بخش‌های شرقی و غربی خلیج جاسک به‌ترتیب ۰/۴۸±۰/۰۵ و ۰/۵۸±۰/۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب بوده است.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

جدول ۱: مقادیر شاخص سمیت و شاخص آلودگی ناشی از TPHs در رسوبات خلیج جاسک و مقایسه با مقادیر استاندارد

Table 1: Values of toxicity index and pollution factor by TPHs in sediments of Jask Bay and comparison with standard values

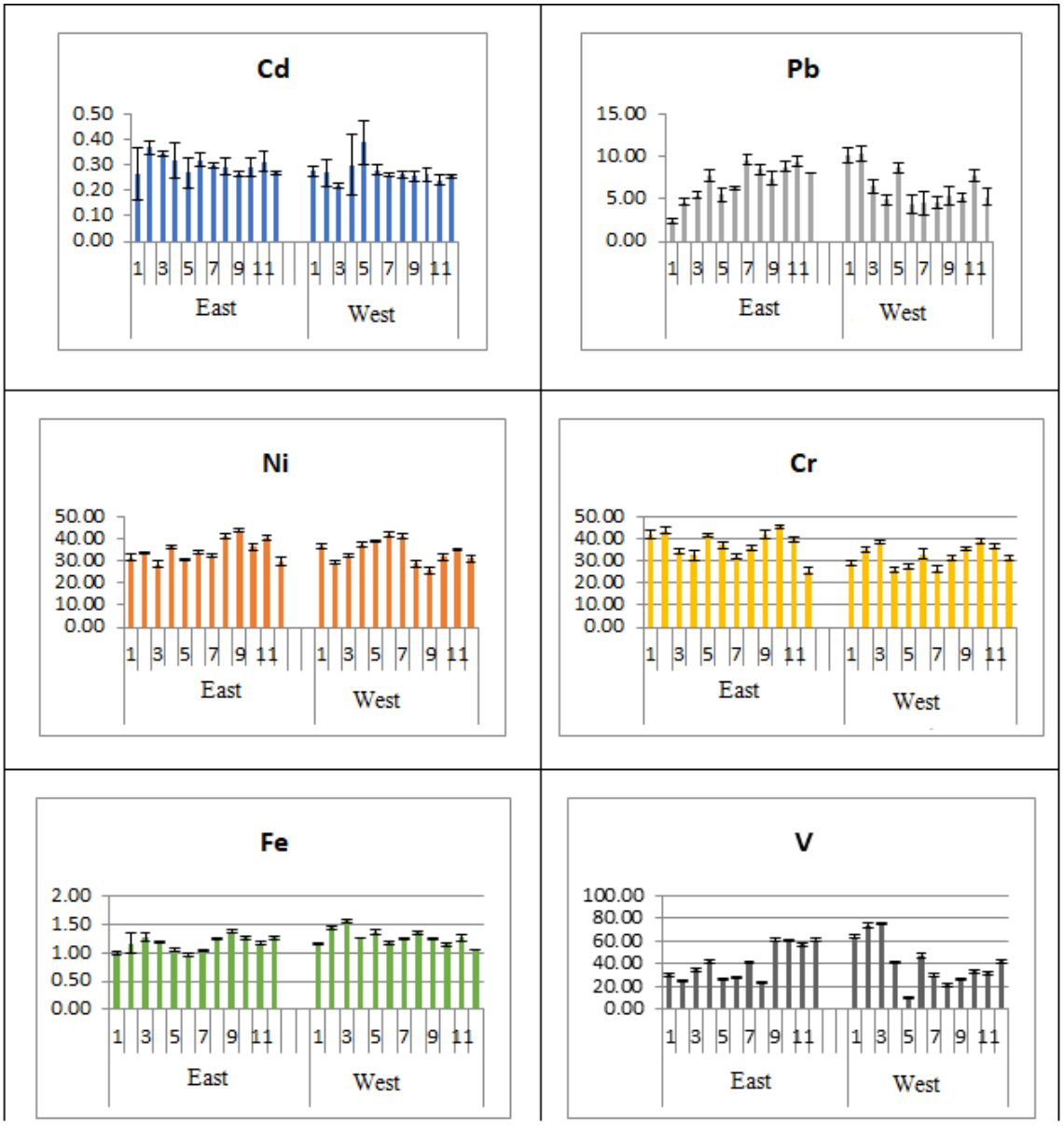
Toxicity Index		Contamination Factor	
Variation range in current study	Limited value	Variation range in current study	Limited value
0 - 0.01	PELq <0.1 No effect	0.01 - 0.72	CF <1 No effect



شکل ۳: تغییرات غلظت (میکروگرم بر گرم وزن خشک) فلزات سنگین در رسوبات خلیج جاسک (بهار ۱۴۰۲)

Figure 3: Concentration changes of heavy metals (µg/kg dry weight) in Jask Bay sediments (spring, 1402)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]



شکل ۴: تغییرات غلظت (میکروگرم بر گرم وزن خشک) فلزات سنگین در رسوبات خلیج جاسک (زمستان1402)

Figure 4: Concentration changes of heavy metals (µg/kg dry weight) in Jask Bay sediments (winter, 1402)

این مقادیر در فصل زمستان به‌ترتیب،۰/۰۳±۰/۰۳ و ۰/۲۷±۰/۰۴ ثبت گردید. در هر فصل بین بخش‌های غربی و شرقی خلیج جاسک، تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید (p<۰/۰۵). میانگین غلظت کادمیم برای کل ایستگاه‌ها در فصول بهار و زمستان به‌ترتیب مقادیر ۰/۵۴±۰/۰۶ و ۰/۲۹±۰/۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری گردید. پراکنش غلظت فلز سرب در رسوبات شرق و غرب خلیج جاسک در بهار ۵/۴۳±۱/۶ و ۸/۴۸±۲/۹ و در زمستان ۶/۹۸±۲/۱۷ و ۶/۴۵±۲/۲۲ میکروگرم بر کیلوگرم بود. میانگین کل سرب در رسوبات خلیج جاسک در بهار و زمستان به‌ترتیب ۶/۷۷±۲/۶ و ۶/۴۵±۲/۲۲ میکروگرم بر کیلوگرم بود. نیکل رسوبات خلیج جاسک در بهار و زمستان به‌ترتیب دارای میانگین کل ۳۴/۱۶±۳/۶ و ۳۴/۴۸±۴/۹۲

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک بودند که دارای اختلاف معنی‌داری نیستند (p<۰/۰۵).

در فصل بهار غلظت کروم در بخش شرقی خلیج با میانگین ۲۸/۶۹±۲/۳ از بخش غربی با میانگین ۳۶/۶۸±۵/۴ میکروگرم بر کیلوگرم کمتر بود (p<۰/۰۵). در فصل زمستان در بخش‌های شرقی و غربی به‌ترتیب میانگین ۳۷/۶۲±۵/۹ و ۳۲/۴۴±۴/۶ و برای کل ایستگاه‌های نمونه‌برداری میانگین ۳۵/۰۳±۵/۸ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک ثبت شد. فلز آهن در بخش‌های غربی و شرقی خلیج و فصول نمونه‌برداری دارای تغییرات معنی داری نبود (p<۰/۰۵) و دامنه تغییرات غلظت در دامنه ۱/۳۷-۱/۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت کل بهار و زمستان به‌ترتیب۱/۲۶±۰/۱۳ و در فصل زمستان ۱/۲۲±۰/۱۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. در فصل بهار غلظت وانادیم در بخش شرقی خلیج به طور معنی‌داری دارای غلظت کمتر (۲۶/۶۹±۱۳/۴) از بخش غربی (۴۳/۰۵±۲۰/۳) بود (p<۰/۰۵) اما در فصل زمستان اختلاف بخش‌های شرقی و غربی معنی‌دار نبود و میانگین کل در این فصل۴۱/۲۸±۱۷/۷ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک ثبت شد.

ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین

در جدول ۲، نتایج حاصله از محاسبه شاخص‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین شامل شاخص آلودگی (CF)، درجه آلودگی (CD)، درجه تغییر آلودگی (MCD)، شاخص بارگذاری آلودگی (PLI) و شاخص ریسک بالقوه اکولوژیک (PERI) در رسوبات بخش‌های شرقی و غربی خلیج جاسک نمایش داده شد. مقادیر شاخص تجمع-زمینی (I_{geo}) برای رسوبات خلیج جاسک به تفکیک فصول نمونه‌برداری، در شکل ۵ نشان داده شده است.

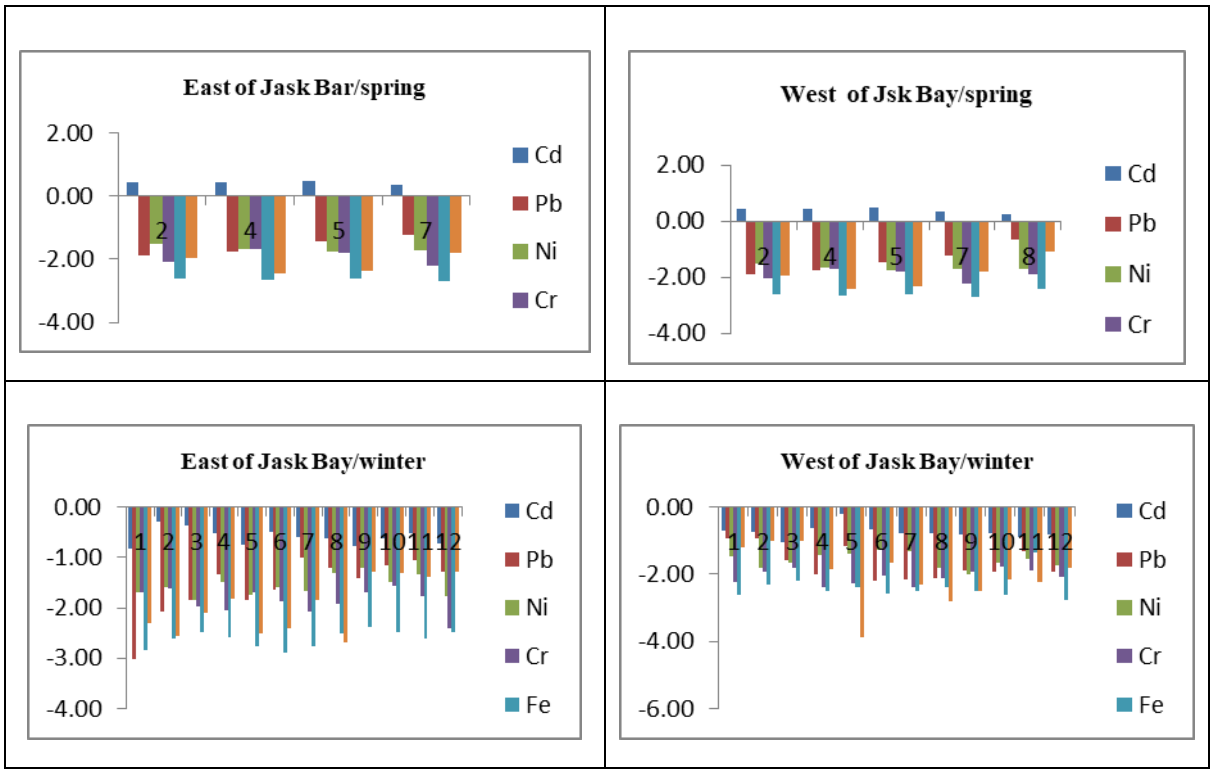
جدول ۲: شاخص‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات خلیج جاسک

Table 2: Ecological risk Assessment index in sediments of Jask Bay

Season	Area	Station	CF						CD	mCD	MPI	PERI
			Cd	Pb	Ni	Cr	Fe	V				
spring	West of Jask Bay	4	1.57	0.36	0.58	0.31	0.27	0.42	3.51	0.59	0.00	53.21
		5	1.40	0.60	0.55	0.35	0.31	0.10	3.32	0.55	0.00	48.72
		6	1.77	0.35	0.57	0.29	0.29	0.32	3.59	0.60	0.00	58.91
		7	1.64	0.36	0.47	0.32	0.29	0.22	3.31	0.55	0.00	54.58
			1.60	0.42	0.54	0.32	0.29	0.27	3.43	0.57	0.00	53.86
	East of Jask Bay	2	2.01	0.41	0.53	0.36	0.24	0.38	3.93	0.66	0.00	66.38
		4	2.00	0.45	0.47	0.47	0.24	0.28	3.90	0.65	0.00	66.16
		5	2.06	0.55	0.45	0.43	0.25	0.30	4.03	0.67	0.00	68.31
		7	1.91	0.64	0.45	0.32	0.23	0.43	4.00	0.67	0.00	64.32
		۸	1.78	0.96	0.46	0.41	0.28	0.72	4.61	0.77	0.01	62.70
			1.95	0.60	0.47	0.40	0.25	0.42	4.09	0.68	0.00	65.57
winter	West of Jask Bay	1	0.89	0.19	0.46	0.47	0.21	0.30	2.52	0.42	0.00	31.48
		2	1.23	0.36	0.49	0.49	0.25	0.26	3.07	0.51	0.00	42.73
		3	1.15	0.42	0.42	0.38	0.27	0.35	2.99	0.50	0.00	40.30
		4	1.06	0.60	0.53	0.36	0.25	0.42	3.22	0.54	0.00	38.90
		5	0.90	0.42	0.45	0.46	0.22	0.27	2.71	0.45	0.00	32.70
		6	1.07	0.48	0.50	0.41	0.20	0.28	2.95	0.49	0.00	38.27
		7	1.00	0.74	0.47	0.35	0.22	0.42	3.20	0.53	0.00	37.54
		8	0.98	0.65	0.61	0.40	0.26	0.23	3.13	0.52	0.00	36.87
		9	0.88	0.57	0.64	0.47	0.29	0.61	3.46	0.58	0.00	34.55
		10	0.98	0.68	0.53	0.51	0.27	0.60	3.57	0.59	0.00	37.65
		11	1.05	0.72	0.59	0.44	0.25	0.57	3.62	0.60	0.00	40.09
		12	0.90	0.62	0.44	0.28	0.27	0.61	3.12	0.52	0.00	34.07
			1.01	0.54	0.51	0.42	0.25	0.41	3.13	0.52	0.00	37.10

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

Season	Area	Station	CF						CD	mCD	MPI	PERI
			Cd	Pb	Ni	Cr	Fe	V				
	East of Jask Bay	1	0.92	0.78	0.54	0.32	0.25	0.64	3.46	0.58	0.00	36.21
		2	0.90	0.79	0.43	0.39	0.31	0.74	3.56	0.59	0.00	35.41
		3	0.73	0.50	0.47	0.43	0.33	0.75	3.21	0.54	0.00	29.12
		4	1.00	0.38	0.55	0.29	0.26	0.41	2.89	0.48	0.00	36.16
		5	1.30	0.67	0.57	0.31	0.29	0.10	3.24	0.54	0.00	46.04
		6	0.93	0.33	0.62	0.37	0.25	0.48	2.98	0.50	0.00	34.45
		7	0.87	0.35	0.60	0.29	0.26	0.30	2.67	0.45	0.00	32.03
		8	0.88	0.35	0.42	0.35	0.29	0.21	2.49	0.42	0.00	31.23
		9	0.86	0.41	0.38	0.40	0.26	0.27	2.57	0.43	0.00	31.00
		10	0.88	0.39	0.47	0.43	0.24	0.33	2.76	0.46	0.00	32.25
		11	0.80	0.60	0.51	0.40	1.08	0.32	3.71	0.62	0.01	31.06
		12	0.85	0.40	0.46	0.35	0.22	0.42	2.70	0.45	0.00	31.37
			0.91	0.50	0.50	0.36	0.34	0.41	3.02	0.51	0.00	33.86



شکل ۵: شاخص تجمع زمینی (I_{geo})در رسوبات بخش‌های شرقی و غربی خلیج جاسک

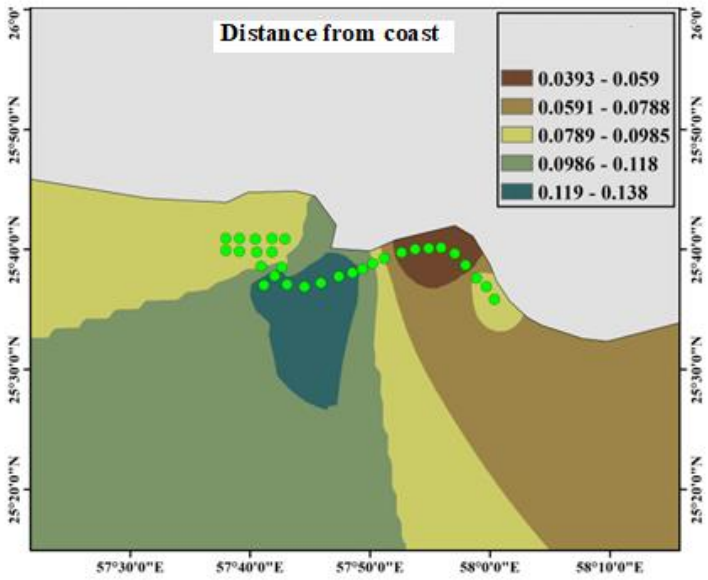
Figure 5: Sediment geo-accumulation indices (I_{geo}) in sediments of western and eastern parts of Jask Bay

بحث

فعالیت‌های انسانی مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی و نشت نفت، نقش قابل‌توجهی در ورود هیدروکربن‌ها به محیط‌های آبی دارند. از جمله عوامل مؤثر در توزیع هیدروکربن‌ها در محیط دریایی می‌توان به نزدیک بودن به منابع کانونی آلاینده، جهت و انرژی امواج، نوع رسوب و میزان ذرات معلق اشاره نمود (Silva *et al.*, 2014). سواحل دارای کمترین فاصله از مناطق مسکونی و تاسیسات مستقر در خشکی، بخشی از ترکیبات آلی را از طریق ورود

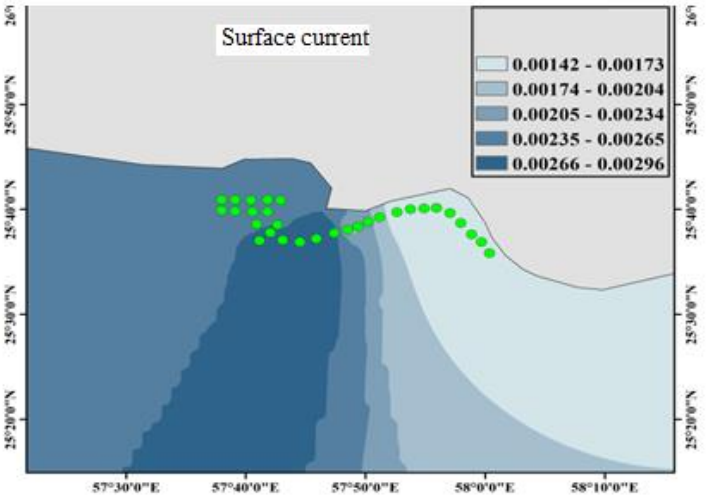
[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

فاضلاب‌های تصفیه نشده خانگی و شهری نیز دریافت می‌دارند. نتایج حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که صرفنظر از تغییرات زمانی، رسوبات بخش شرقی خلیج جاسک محتوی مقادیر بیشتری از TPHs هستند. ایستگاه‌های بخش شرقی، دارای فاصله کمتر از ساحل (شکل ۶) و تاثیرپذیری کمتری از جریان‌های سطحی (شکل ۷) هستند که این عوامل می‌توانند دلایلی برای بالا بودن نسبی و معنادار غلظت هیدروکربن‌های نفتی کل در این بخش باشد (Ololade *et al*., 2009, Maktoof *et al.,* 2014).



شکل ۶: فاصله ایستگاه‌های نمونه برداری در بخش‌های شرقی و غربی خلیج جاسک از ساحل (اطلاعات بر گرفته از: پایگاه BioOracle)

Figure 6: The distance of the sampling stations in the eastern and western parts of Jask Bay from the coast (information was extracted from BioOracle)



شکل ۷: شدت جریان های سطحی در بخش های شرقی و غربی خلیج جاسک (اطلاعات بر گرفته از: BioOracle)

Figure 7: Intensity of surface currents in the eastern and western parts of Jask Bay (information was extracted from BioOracle)

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

در طبقه‌بندی مقادیر ترکیبات نفتی کل در دریاها، مقدار ۱۵-۱۰ میکروگرم بر گرم به عنوان حد اثر آستانه و وضعیت غیر آلوده در نظر گرفته شده است (Massoud *et al.*, 1996). نتایج حاصل از سنجش نمونه های جمع آوری شده از بخش های شرقی و غربی خلیج جاسک (شکل ۱ و ۲) نشان داد حداکثر غلظت اندازه‌گیری شده از هیدروکربن‌های نفتی کل در رسوبات خشک خلیج جاسک ۱/۰۷ میکروگرم بر کیلوگرم بود که دارای فاصله زیادی تا ۱۰ میکروگرم بر گرم دارد و بدین‌ترتیب، می‌توان نتیجه‌گیری نمود که غلظت TPHs در رسوبات منطقه در حد مقادیر زمین ه‌ای و فاقد اثرات نامطلوب بیولوژیک است.

محاسبات و ارزیابی‌های انجام شده نیز منطقه مورد مطالعه را به دور از ریسک ناشی از TPHs نشان می دهد (جدول ۱). استان هرمزگان با استقرار منابع صنعتی وابسته به نفت در غرب استان و به صورت متراکم در غرب شهر بندرعباس روبروست. ریسک اکولوژیک ناچیز TPHs در منطقه مورد مطالعه می‌تواند به دور بودن از تاسیسات مربوط به فعالیت‌های نفتی در خشکی و شرایط آب‌وهوایی (دمای زیاد منطقه و در نتیجه افزایش تجزیه مواد نفتی احتمالی به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها) و جریان‌های آبی سطحی مرتبط باشد. زیرا مطالعات زیادی نشان داده است که شرایط آب‌وهوایی از عوامل اصلی در کنترل غلظت هیدروکربن‌های نفتی در دریاهاست. دمای بالا، فعالیت میکروارگانیسم‌ها و فیتوپلانکتون‌های موجود در آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث افزایش فعالیت آنها در محیط و در نتیجه افزایش تجزیه بیولوژیک هیدروکربن‌های نفتی می‌شود (Ololade *et al.*, 2009, Al-Imarah *et al.*, 2010; Li *et al.*, 2010; Maktoof *et al.*, 2014).

مطالعه مروری توزیع مکانی-زمانی هیدروکربن‌های نفتی (TPHs) در رسوبات خلیج فارس (عراق، ایران، کویت، عربستان سعودی، بحرین، قطر، امارات متحده عربی و عمان)، دامنه تغییرات را در دامنه ۴۸۰۱۸-۰/۱۳۴ میکروگرم بر گرم وزن خشک گزارش کرده است که در مقایسه با دامنه ۱۵-۱۰ میکروگرم بر گرم به عنوان غلظت پایه در رسوبات خلیج فارس، مشخص است که در پاره‌ای از موارد غلظت به طور قابل‌توجهی بالاتر از حدود استاندارد است. بیشتر مکان‌هایی که سطح آلودگی بالایی داشتند در نزدیکی منابع کانونی مانند تأسیسات و بنادر نفتی مستقر بودند (Uddin *et al.*, 2021).

همان‌گونه که نتایج نشان داد، فلزات مطالعه شده شامل کادمیم، سرب، نیکل و آهن دارای اختلافات معنی‌داری در بین بخش‌های غربی و شرقی خلیج جاسک نیستند (شکل ۳ و ۴). عناصر کروم و وانادیم در فصل بهار در بخش غربی خلیج جاسک با غلظت بالاتری روبرو بودند. غلظت‌های بالای فلزات در هر منطقه نشان‌دهنده جذب و تجمع بالا در رسوبات بود. در مطالعه Mortazavi و همکاران (۲۰۲۲) نشان داده شده است که در رسوبات غرب استان دامنه تغییرات نیکل در محدوده ۲۷/۸۳-۲۱/۴ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک بوده اما این ناحیه دربرگیرنده نقطه داغ با محتوای بالای نیکل در محدوده ۹۴/۸-۶۱ نیز بود. برای کادمیم در رسوبات غرب استان دامنه غلظت در دامنه ۱/۲۴-۱/۳ و برای کروم در دامنه ۴۶/۵-۳۸/۱ گزارش شده است که برای همه عناصر، مقادیر گزارش شده از غلظت‌های اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر بالاتر است.

جدول ۳ در برگیرنده اطلاعات مقایسه‌ای فی مابین مقادیر حاصل از محاسبات به‌دست آمده در پژوهش حاضر (جدول ۲ و شکل ۵) و مقادیر طبقه‌بندی‌کننده وضعیت آلودگی رسوبات بر اساس شاخص‌های متفاوت ارزیابی ریسک است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شاخص‌ها حاکی از پایین بودن وضعیت آلودگی برای عناصر نیکل، کروم، وانادیم و سرب است.

فلز کادمیم در بخش غربی خلیج جاسک در فصل بهار دارای مقدار شاخص آلودگی ۲/۰۶ است که نشان‌دهنده آلودگی متوسط رسوبات است. علاوه بر شاخص آلودگی، برای فلز کادمیم، شاخص تجمع-زمینی (I_{geo}) با بیشترین مقدار از ۰/۴۶ نیز تایید کننده آلوده بودن رسوبات است. برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی فلز کادمیوم مانند تجمع بالا در موجودات آبزی و پتانسیل بالای سمیت سبب می‌شود که از دیدگاه سلامت اکولوژیک، ایجاد نگرانی نماید (Mirzaei *et al.*, 2020).

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

جدول ۳: مقایسه مقادیر شاخص‌های ارزیابی ریسک اکولوژیک محاسبه شده در رسوبات خلیج جاسک با مقادیر استاندارد

Table 3: Table 3: Comparison of calculated values of ecological risk assessment for sediments of Jask Bay with standard values

Assessment of the pollution situation	Average values in the present study	Evaluation index values	Index
Except for cadmium, which shows moderate pollution, the rest of the elements are in low pollution status	0.73-2.06 Cd 0.19-0.96 Pb 0.38-0.64 Ni 0.28-0.51 Cr 0.2-1.08 Fe 0.1-0.75 V	CF<1:Low pollution 1<CF<3:Moderate pollution 3<CF<6:Significant pollution CF>6:Very High pollution	Contamination Factor (CF)
All elements are in low contamination status	2.49-4.61	CD<6:Low pollution degree 6<CD<12:Moderate pollution degree 12<CD<24:Significant pollution degree CD>24:Very High pollution degree	Contamination Degree (CD)
All elements are in a very low contamination state	0.42-0.77	mCd ≤ 1.5:Very low pollution 1.5 ≤ mCd ≤ 2:low pollution 2 ≤ mCd ≤ 4:Moderate pollution 4 ≤ mCd ≤ 8:High pollution 8 ≤ mCd ≤ 16:Very high pollution 16 ≤ mCd ≤32:Extremely high pollution mCd ≥ 32:Super high pollution	Modified degree of contamination (MCD)
There is no contamination for all elements	0-0.01	PLI>1:polluted PLI<1:There is no contamination	Pollution Load Index (PLI)
For all elements, the ecological risk is low	29.12-68.31	PERI<95:Low potential ecological risk 95 < PERI <190: Moderate potential ecological risk 190 < PERI < 380: Significant potential ecological risk PERI > 380 Very high potential ecological risk	Potential ecological risk index (PERI)
Except for cadmium, the rest of the elements are in a non-contaminated state	-1.04-0.46 Cd (-3.02)-(-0.46) Pb (-1.99(-(-1.22) Ni (-2.41(-(-1.57) Cr (-2.89)-(-1.36) Fe (-3.88)-(-1.00) V	I_{geo}≤0:No pollution 0<I_{geo}≤1:No to Moderate pollution 1<I_{geo}≤ 2:Moderate pollution 2<I_{geo}≤3:Moderate to high pollution 3<Igeo≤4:high pollution 4<I_{geo}≤5:Serious to severe pollution I_{geo}> Severe pollution	Geo-accumulation index (I_{geo})

غلظت‌های بالای کادمیوم در منطقه نخیلو بوشهر (Arfaeinia *et al*., 2019)، منطقه خلیج چابهار (Agah, 2021)، تنگه هرمز (خورهای تیاب، لارک و هنگام) (Mortazavi *et al*., 2022)، جزایر ریف‌های مرجانی خلیج فارس (Ranjbar *et al*., 2017)، خور خمیر و تیاب (Sharifinia *et al*., 2018)، مانگروهای حرا قشم و خمیر و خور آذینی (Ghasemi *et al*., 2018) نیز گزارش شده است. به صورت طبیعی مقدار فلز کروم در مناطق غیر نفت خیز پایین بوده و منبع اصلی کادمیم موجود در دریاها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری است. کادمیوم عموماً در آبکاری‌ها، رنگدانه‌ها، تثبیت‌کننده‌های پلاستیکی و باتری‌های نیکل-کادمیوم، پوشش‌های ضدرسوب، ایستگاه‌های برق، سیستم‌های گرمایشی استفاده شده و از طریق فاضلاب وارد اکوسیستم دریایی می‌گردد (Jumbe

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

and Nandini, 2009) که با توجه به برنامه‌های ملی توسعه صنعتی و شهری در منطقه مکران، پایش منسج زمانی و مکانی آلودگی کادمیم در ماتریس‌های متفاوت آب، رسوب و آبزیان ضروری می‌نماید.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بدینوسیله از اداره کل حفاظت محیط زیست استان هرمزگان به دلیل همکاری در آنالیز آلاینده های نفتی، صمیمانه قدردانی مینمایند.

منابع

Agah, H., 2021. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment, fish, and human hair from Chabahar Bay, Makoran, Iran. *Marine Pollution Bulletin,* 169:112345. DOI:10.1016/j.marpolbul.2021.112345

Al-Imarah, F.J.M., Ali, S.A. and Ali, A.A., 2010. Temporal and spatial variations of petroleum hydrocarbons in water and sediments from Northern parts of Shatt Al-Arab River, Iraq. *Journal of Marine Mesopotamia Sciences*, 25:65-74. DOI:10.58629/mjms.v25i1.211

Arfaeinia, 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 Science,* 653:783–791. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.11.009

ATSDR, 1999. Toxicological Profile for Total petroleum hydrocarbons (TPH), Agency for Toxic Substances and Disease Registry, (US).

Bashir, I., Lone, F.A., Bhat, R.A., Mir, S. A., Dar, Z.A. and Dar, S.A., 2020. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation, Springer, pp. 1-26.

Ghasemi, S., Moghaddam, S.S., Rahimi, A., Damalas, C.A. and Naji, A., 2018. Ecological risk assessment of coastal ecosystems: The case of mangrove forests in Hormozgan Province, Iran. *Chemosphere*, 191:417–426. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.10.047

Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. *Water Research,* 14(8):975–1001. DOI:10. 1016/ 0043-1354(80) 90143-8

Idris, A.M., Eltayeb, M.A.H., Potgieter-Vermaak, S.S., Van Grieken, R. and Potgieter, J.H., 2007. Assessment of heavy metals pollution in Sudanese harbours along the Red Sea Coast. *Microchemical Journal*, 87(2):104–112. DOI:10.1016/j.microc.2007.06.004

Jumbe, A. and Nandini, N., 2009. Impact assessment of heavy metals pollution of Vartur lake, Bangalore. *Journal of Applied and Natural Science,* 1(1):53–61. DOI:10.31018/jans.v1i1.35

Koochaki, S., 2003. Oil pollution in the sea and its effects on the marine ecosystem. Paper presented at 5rd. National Symposium of Marine Industries, Iranian Association of

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

Naval Architecture and Marine Engineering, Kish Island, 30 November 2003. (in Persian).

Li, Y., Zhao, Y., Peng, S., Zhou, Q. and Ma, LQ., 2010. Temporal and spatial trends of total petroleum hydrocarbons in the seawater of Bohai Bay, China from 1996 to 2005. *Marine Pollution Bulletin*, 60:238–243. DOI:10.1016/j.marpolbul.2009.09.020.

Maktoof, A.A., ALKhafaji1, B.Y. and Al-janabi, Z.Z., 2014. Evaluation of total hydrocarbons levels and traces metals in water and sediment from main outfall drain in Al-Nassiriya City/Southern Iraq. *Natural Resources*, 5:795-803. DOI:10.4236/nr.2014.513068

Massoud, M.S., Al-Abdali, F., Al-Ghadban, A.N. and Al-Sarawi, M., 1996. Bottom sediments of the Arabian Gulf—II. TPH and TOC contents as indicators of oil pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick. *Environmental Pollution*, 93: 271-284. DOI:10.1016/S0269-7491(96)00042-5

Mirzaei, M., Hatamimanesh, M., Haghshenas, A., Moghaddam, S.M., Ozunu, A. and Azadi, H., 2020. Spatial-seasonal variations and ecological risk of heavy metals in Persian Gulf coastal region: Case study of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering,* 18:91–105. DOI:10.1007/s40201-019-00441-3

MOOPAM, 2010. Manual of Oceanographic Observation and Pollutant Analyses Methods. Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait (ROPME). pp 1-54.

Mortazavi, M.S., Mohebbi, S.L., Pourang, N., Salarpouri, A., Khodami, Sh., AeinJamshid, Kh., Seraji, F., Behzadi, S. and Akbarzadeh, Gh., 2022. A survey on organic and inorganic pollutants in sediments from coral reef and mangrove habitats (Persian Gulf). Iranian Fisheries Science Research Institute, Tehran, Iran.105 P. (In Persian).

Ololade, I.A., Lajide, L. and Amoo, I.A., 2009. Spatial trends of petroleum hydrocarbons in water and sediments. *Central European Journal of Chemistry,* 7(1):83-89. DOI: 10.2478/s11532-008-0086-4

Peng, J., Song, Y., Yuan, P., Cui, X. and Qiu, G., 2009. The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, 161:633–640. DOI:10.1016/j.jhazmat.2008.04.061

Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiyari, A., Shadmehri Toosi, A. and Jadot, C., 2017. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*, 185:1090–1111. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.07.110

Sharifinia, M., Taherizadeh, M., Namin, J.I. and Kamrani, E., 2018. Ecological risk assessment of trace metals in the surface sediments of the Persian Gulf and Gulf of Oman: Evidence from subtropical estuaries of the Iranian coastal waters. *Chemosphere*, 191:485–493. DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.10.077

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]

Silva, C.S., Moreira, I.T., Oliveira, O.M., Queiroz, A.F., Garcia, K.S., Falcão, B.A., Escobar, N.F. and Rios, M.C., 2014. Spatial distribution and concentration assessment of total petroleum hydrocarbons in the intertidal zone surface sediment of Todos os Santos Bay, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment,* 186:1271-1280. DOI:10.1007/s10661-013-3456-0

Tomlinson, D., Wilson, J., Harris, C. and Jeffrey, D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoland Marine Research*, 33:566–575. DOI:10.1007BF02414780.

Uddin, S., Fowler, S. W., Saeed, T., Jupp, B. and Faizuddin, M., 2021. Petroleum hydrocarbon pollution in sediments from the Gulf and Omani waters: Status and review. *Marine Pollution Bulletin,* 173:112913. DOI:10.1016/j.marpolbul.2021.112913

Zahedi, L., 2016. Evaluation of total petroleum hydrocarbons (TPH) pollution in coastal sediments of mangrove forests in Tiab region (Hormozgan province), Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. 140 P. (in Persian)

Zhang, H. and Reynolds, M., 2019. Cadmium exposure in living organisms: A short review. *Science of the Total Environment*, 678:761–767. DOI:10.1016/j.scitotenv.2019.04.395

[Downloaded from isfj.ir on 2026-10-16]