



Evaluation of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments of Musa estuary (Northwest Persian Gulf)

Bahareh Vaziri ¹, Mahsa Hakimi Abed ^{1,*}, Seyed Mohammad Bagher Nabavi ², Fatemeh Shariat Feizabad ¹

¹ Department of Environment, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

² Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Maritime Science and Technology University, Khorramshahr, Iran

ARTICLE INFO

Code: A-10-1593-1

Article History:

Received: 2020/10/20

Revised: 2021/12/19

Accepted: 2021/05/31

Keywords:

Pollution assessment

Sediment

Heavy metals

Zoning.

*Corresponding author:

Hakimimah@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: This study was conducted in the summer of 2019 to evaluate the contamination of heavy metals in surface sediments of 4 storm Majidieh, Zumari, Samaili, and Merrimus from the sum of Khormosi and Mousa mouths as control stations.

Methods: A total of 17 stations and 51 sediment samples were collected to measure heavy metals (V, Cd, Pb, Ni, and Hg) using Van Win hydrobiosis.

Findings: Heavy metals concentrations were measured by ICP-MASS. The mean concentrations of heavy metals were higher than nickel (75.23 ± 21.90 mg/kg) > Pb (18.11 ± 5.84 mg/kg) > Cadmium (1.23 ± 6.57 mg/kg) > Vanadium (0.24 ± 0.005 mg/kg) > Hg (0.48 ± 0.15 mg/kg). Feeds based on heavy metals concentration per gram of sediment were Majidieh (132.78 mg/kg) > Samaili (114.62 mg/kg) > Zanghi (87.79 mg/kg) > Merrimus (70.43 mg/kg) > Mouths of Moses (52.84 mg/kg), respectively. Mahshahr's sediments showed no contamination in terms of the PLI pollution index. The concentration of heavy metals nickel, cadmium in all four esters and lead in Samaili station was higher than the average concentration of these metals in Shell but based on the ecological risk index except for estuary which had significant ecological risk, other estuaries (Merrimus, Majidieh, and Samaili estuaries) showed very high ecological risk, and Musa estuary as a control station showed moderate ecological risk. The highest ecological risk belonged to cadmium and mercury.

Conclusion: The findings of this study and its comparison with pollution trends in the region indicate the spread of heavy metal pollution load in the Musa estuary in recent years.



NUMBER OF TABLES

6



NUMBER OF FIGURES

4



NUMBER OF REFERENCES

51

پهنه‌بندی و ارزیابی ریسک آلودگی فلزات سنگین در رسوبات خوریات ماهشهر (منطقه‌ی شمال غربی خلیج

(فارس)

بهاره وزیری^۱، مهسا حکیمی عابد^{۱*}، سید محمد باقر نبوی^۲، فاطمه شریعتی فیض‌آبادی^۱^۱ گروه محیط زیست، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران^۲ گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: ۲۹/۷/۱۳۹۹	پیشینه و اهداف: این مطالعه در تابستان ۱۳۹۸ با هدف ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی ۴ خور مجیدیه، زنگی، سمایلی و مریموس از مجموع خورهای خورموسی و دهانه‌ی خور موسی به عنوان ایستگاه شاهد انجام شد.
تاریخ بازبینی: ۲۸/۹/۱۴۰۰	روش‌ها: در هر خور ۴ ایستگاه جهت پوشش دهی کل خور انتخاب و در مجموع ۱۷ ایستگاه و ۵۱ نمونه رسوب برای اندازه‌گیری فلزات سنگین (V, Cd, Pb, Ni, Hg) با استفاده از گرب ون وین هیدروبیوز برداشت شد. غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MASS اندازه‌گیری شد.
تاریخ پذیرش: ۱۰/۳/۱۴۰۰	یافته‌ها: میانگین غلظت فلزات سنگین به ترتیب از بیشتر به کمتر برابر نیکل ($75/23 \pm 21/90$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < سرب ($18/11 \pm 5/84$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < کادمیوم ($6/57 \pm 1/23$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < وانادیوم ($1/05 \pm 0/24$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < جیوه ($0/48 \pm 0/15$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. خورها براساس غلظت فلزات سنگین در هر گرم رسوب به ترتیب مجیدیه ($132/78$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < سمایلی ($114/62$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < زنگی ($87/79$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < مریموس ($70/43$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) < دهانه خور موسی ($52/84$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان دادند. رسوبات خوریات ماهشهر از نظر شاخص آلودگی PLI عدم آلودگی را نشان دادند. غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیم در هر چهار خور و سرب در ایستگاه سمایلی در نقاط نمونه‌برداری شده در خور موسی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در شل بود اما بر اساس شاخص ریسک اکوتوکسیکی به جز خور زنگی که ریسک اکولوژیکی قابل توجهی داشت، سایر خورها (خورهای مریموس، مجیدیه و سمایلی) ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد و دهانه‌ی خور موسی به عنوان ایستگاه شاهد، ریسک اکولوژیکی متوسطی را نشان داد. بالاترین ریسک اکولوژیک به کادمیوم و جیوه تعلق داشت.
واژگان کلیدی: ارزیابی آلودگی رسوب فلزات سنگین پهنه‌بندی. *نویسنده مسئول Hakimimah@gmail.com	نتیجه‌گیری: یافته‌های این مطالعه و مقایسه آن با روند آلودگی در منطقه نشان دهنده‌ی گسترش بار آلودگی فلزات سنگین در خور موسی طی سال‌های اخیر است.

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین در سیستم‌های آبی به دلیل سمیت این فلزات، غیر تجزیه‌پذیری، پایداری و تجمع زیستی در شبکه‌های غذایی به‌عنوان یک مشکل زیست‌محیطی جهانی محسوب می‌شود [۱]. با ورود فلزات سنگین به ستون آب، این فلزات توسط ذرات معلق جذب و در رسوبات تجمع پیدا می‌کنند [۲]. با این حال، فلزات سنگین موجود در رسوبات به دلیل تغییرات رسوبی می‌توانند دوباره آزاد شوند [۳]. از این رو مطالعه رسوبات، تأثیر مهمی در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین برای محیط‌زیست، موجودات آبی و ایمنی انسان ایفا می‌کنند [۴، ۵]. تجزیه و تحلیل رسوب به دلیل عدم تغییرات لحظه‌ای بر تجمع آلاینده‌ها در رسوبات، بازتاب تجمع اثرات طبیعی و انسانی، مقایسه میزان تغییرات بین دوره‌های فعلی و پیشین، یک محیط انباشت طبیعی برای آبزیان و یک محیط زندگی و تغذیه برای بسیاری موجودات زنده و برای درک وضعیت اکوسیستم‌های آبی، اهمیت بالایی دارد [۶]. فلزات سنگین پس از ورود به یک منبع آبی به تدریج در بستر به صورت‌های مختلف همچون فاز معدنی جامد، جذب سطحی به رسوبات دانه‌ریز و یا بقایای مواد آلی، تجمع می‌یابند [۷]. از طرفی این نکته حائز اهمیت است که فلزات سنگین در محیط‌های تالابی، رودخانه و دریایی بسیار پایداری دارند و می‌توانند برای بسیاری از زیست‌مندان مضر باشند. این عناصر موجود در آب و رسوب ممکن است به سهولت و به مقدار زیاد در دسترس جانوران به‌ویژه کف زیان قرار گیرند. افزایش غلظت این مواد در محیط‌های رودخانه‌ای و دریایی، افزایش حجم این مواد را در بافت بدن موجودات آبی در پی دارد. این روند در صورت تداوم، سبب بروز تغییرات زیستی در آبزیان می‌شود و از طریق زنجیره غذایی به بروز بیماری در انسان منجر می‌گردد [۸]. با توجه به اهمیت موضوع سالانه مطالعات مختلفی در زمینه‌ی فلزات سنگین در تالاب‌ها انجام می‌شود که از آن جمله می‌توان به مطالعات Mandeng و همکاران (۲۰۱۹) [۹] بر روی غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، جیوه، نیکل، مس و اورانیوم در رسوبات تالاب در کامرون، در بررسی غنی‌سازی و ذخیره زمین‌شیمیایی فلزات سنگین در رسوبات سطحی نواحی نزدیک مناطق شهری و صنعتی در خلیج فارس و مطالعه‌ی Seifi و همکاران (۲۰۱۹) [۱۰] بر روی بررسی و پراکنش و ارزیابی ریسک فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، کروم، مس، جیوه، نیکل، سرب و روی را در تالاب Huixian در جنوب چین اشاره کرد.

خور موسی نیز از جمله بوم سازگان‌هایی است که به دلیل مجاورت با صنایع مختلف و عدم توجه کافی به مسائل زیست محیطی دستخوش جنبه‌های منفی فن‌آوری مدرن گردیده است. این خور که شاخص‌ترین اکوسیستم ساحلی از نوع پهنه‌های کشتندی یا میان جزر و مدی است

[۱۱]. کانالی از خلیج فارس با طول و عرضی حدود ۱۲۰ و ۴۰ کیلومتر می‌باشد [۱۲]. خور موسی در شمال این خور بندر امام خمینی (ره)، بندر ماهشهر، سر بندر و منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی قرار دارد از این رو این منطقه از نظر استراتژیک، منطقه‌ای مهمی محسوب می‌شود [۱۳]. ژرفای خور موسی در حدود ۲۰ تا ۵۰ متر بوده و در برخی نقاط به ۷۰ متر نیز می‌رسد. وجود چنین عمقی باعث شده تا کشتی‌هایی با ظرفیت ۷۰ هزار تن هم بتوانند از این گذرگاه عبور نمایند [۱۴].

آلودگی ناشی از اکتشاف و استخراج نفت و تردد نفت‌کش‌ها، منابع و صنایع مستقر در خشکی به‌خصوص صنایع پتروشیمی سبب تخلیه آلودگی‌های فراوان آلی و معدنی به‌خصوص فلزات سنگین در این منطقه شده و با توجه به این که خور موسی راه ارتباطی محدودی با خلیج فارس دارد آلودگی‌های پایدار از جمله فلزات سنگین طی سالیان دراز در محیط خور باقی مانده و به علت انباشته شدن، این آلودگی‌ها تبدیل به آلودگی‌های محیطی شده و در نهایت سبب تأثیرگذاری بر ویژگی‌های بوم‌شناختی منطقه می‌شوند. لذا با بررسی مقدار تجمع فلزات در رسوبات منطقه و مقایسه آن‌ها با استانداردهای بین‌المللی، راهکارهای مناسب برای جلوگیری از نابودی این بوم‌سامانه‌ی آبی و آبزیان آن پیشنهاد می‌گردد [۱۵]. با توجه به حضور منطقه ویژه پتروشیمی ماهشهر در منطقه خور موسی و اهمیت اکولوژیکی این خور در منطقه شمال غرب خلیج فارس، هدف از این تحقیق ارزیابی و پهنه‌بندی رسوبات سطحی چهار خور واقع در خور موسی شامل مجیدیه، زنگی، سمایلی و مریموس و مقایسه سطح آلودگی این خورها با دهانه ورودی خور موسی به عنوان شاهد جهت ارزیابی گستردگی آلودگی در این منطقه است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۹۸ و در یک نوبت انجام شد. در هر خور چهار ایستگاه به فاصله حدود ۱/۵ کیلومتر از هم در نظر و دهانه ورودی خور موسی نیز به عنوان ایستگاه شاهد انتخاب گردید. جدول ۱ مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در هر خور و شکل ۱ محل ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد. در مجموع ۱۷ ایستگاه (۱۶ ایستگاه اصلی و یک ایستگاه شاهد)، ۵۱ نمونه رسوب سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) جهت سنجش فلزات سنگین برداشت شد. نمونه‌ها در کیسه‌های سلفونی که مشخصات نمونه، تاریخ و شماره ایستگاه درج شده بود جمع‌آوری و تا انتقال به آزمایشگاه در جعبه‌های یخدان و در کنار یخ نگهداری شدند. برداشت رسوبات سطحی با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار رسوب گرب ون وین هیدروبیوز، ساخت آلمان، با میزان برداشت ۰/۴۵ مترمربع و توسط قایق صیادی انجام شد.

جدول ۱: مختصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری

Table 1: Coordinates of sampling stations

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی	عرض	طول
۱	خور زنگی	۳۰°۲۸'۲۵,۲"	۴۹°۳'۵۵,۳'	
۲	خور زنگی	۳۰°۲۹'۲۶,۵'	۴۹°۳'۴۵,۸'	
۳	خور زنگی	۳۰°۲۹'۳,۱'	۴۹°۳'۴۳,۵'	
۴	خور زنگی	۳۰°۲۹'۲۲,۹'	۴۹°۳'۳۸,۸'	
۵	خور مریموس	۳۰°۲۸'۲۴,۳۰°	۴۹°۳'۵۹,۸'	
۶	خور مریموس	۳۰°۲۸'۲۴,۳۰°	۴۹°۴'۳۰,۵'	
۷	خور مریموس	۳۰°۲۸'۲۳,۳۰°	۴۹°۴'۵۳,۱'	
۸	خور مریموس	۳۰°۲۳'۴۴,۹'	۴۹°۵'۱۴,۴'	
۹	خور مجیدیه	۳۰°۲۸'۴۶'	۴۹°۱۱'۴۵,۶'	
۱۰	خور مجیدیه	۳۰°۲۸'۲۲,۵'	۴۹°۱۱'۴۴,۸'	
۱۱	خور مجیدیه	۳۰°۲۸'۲۲,۹'	۴۹°۱۱'۳۵'	
۱۲	خور مجیدیه	۳۰°۲۸'۵۱,۴'	۴۹°۱۰'۵۹,۴'	
۱۳	خور سماییلی	۳۰°۲۸'۴۹,۴'	۴۹°۱۱'۵,۱'	
۱۴	خور سماییلی	۳۰°۲۸'۴۱,۳'	۴۹°۱۱'۱۰,۹'	
۱۵	خور سماییلی	۳۰°۲۸'۲۵,۴'	۴۹°۱۱'۲۸,۱'	
۱۶	خور سماییلی	۳۰°۲۸'۴۶'	۴۹°۱۱'۴۵,۶'	
۱۷	خور موسی (شاهد) دهانه	۳۳°۶۴'۸۵,۲'	۳۹°۳'۹۲,۶'	

نرمال رقیق شدند. نمونه‌های آماده شده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده شده و با دستگاه ICP-MASS مدل Integra ساخت شرکت GBC کره با سطح تشخیص ppb مورد آنالیز قرار گرفتند [۱۶].

برای سنجش جیوهی رسوبات، ۱ گرم از هر نمونه به همراه ۴ میلی‌لیتر نیتریک اسید غلیظ و ۲ میلی‌لیتر سولفوریک اسید غلیظ درون لوله‌های هضم ریخته شده و پس از پوشاندن درب لوله‌ها، نمونه‌های رسوب یک ساعت در دمای اتاق و ۳ ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هات پلیت قرار داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌های هضم شده، ۰/۵ میلی‌لیتر محلول ۱۰ درصد پتاسیم دی‌کرومات به آن‌ها افزوده و سپس از کاغذ صافی عبور داده و در بالن‌های ژوزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسیدند [۱۷].

میزان جیوه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی (Perkin Elmer 100B) با دقت ۰/۵ نانوگرم بر گرم و تکنیک بخار سرد سنجش و در سطح ppb قرائت شد [۱۸].

۱. ارزیابی ریسک اکولوژیک^۱

برای ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات تالاب از معادله‌های ۱ و ۲ استفاده شد [۱۹]:

$$Er = Tr \times Cf \quad (\text{معادله ۱})$$

$$RI = \sum Er \quad (\text{معادله ۲})$$



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌ها در منطقه

Fig 1: Location of stations in the area

جهت بررسی غلظت فلزات نیکل، وانادیوم، سرب و کادمیوم، نمونه‌های رسوب تحت دمای ۵۲ درجه سانتی‌گراد خشک و از الک شماره ۲۳۰ (اندازه ۶۳ میکرون) عبور داده شدند. سنجش فلزات به روش هضم اسیدی صورت گرفت. ۱ گرم رسوب به منظور استخراج فلز به لوله هاضم انتقال داده شد. سپس ۷ میلی‌لیتر اسید نیتریک (HNO₃) غلیظ و اسید کلریدریک (HCl) به نسبت ۳ به ۱ به لوله هاضم اضافه گردید. نمونه‌ها به مدت سه ساعت بر روی هات پلیت قرار داده شدند. بعد از خنک شدن نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر HF به محلول اضافه و محلول‌های هضم شده به بالن ژوزه ۲۵ میلی‌لیتری منتقل و با استفاده از HCl یک

¹ Ecological Risk

آنالیزهای آماری نتایج اندازه‌گیری فلزات سنگین و الگوهای پراکنش فضایی عناصر سنگین مورد مطالعه در منطقه خور موسی در جدول ۳ و شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس میانگین‌ها، غلظت فلزات سنگین در چهار خور و ایستگاه دهانه خور موسی به ترتیب نیکل < سرب < کادمیم < وانادیوم < جیوه بود. به این ترتیب نیکل با محدوده ی غلظت ۰/۶۷-۰/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و جیوه با محدوده ی غلظت ۰/۵۲-۱۰۲/۹۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و جیوه با محدوده ی غلظت ۰/۶۷-۰/۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را در ۴ خور مورد بررسی داشتند. با توجه به میانگین غلظت کل فلزات سنگین، خور مجیدیه و خور سماییلی در مقایسه با خور زنگی و خور مریموس غلظت فلزات سنگین بالاتری در هر گرم رسوب داشتند اما هر چهار خور در مقایسه با ایستگاه شاهد (دهانه خور موسی) با غلظت فلز سنگین ۱۰/۵۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آلوده‌تر بودند. غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیم در هر چهار خور و سرب در ایستگاه سماییلی در نقاط نمونه‌برداری شده در خور موسی بالاتر از میانگین غلظت این فلزات در شل بود.

به منظور ایجاد درک مکانی از وضعیت آلودگی منطقه به هر یک از ۵ فلز مورد بررسی، غلظت فلزات سنگین به نقشه پراکنش آلودگی (شکل ۲) در منطقه تبدیل شدند. کادمیم در تمام بخش‌های خوریات ماهشهر محدوده‌ی بالای ۸/۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و وانادیوم محدوده‌ی بالای ۱/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم را نشان داد در حالی که نیکل، سرب و جیوه در ایستگاه‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ (خور مریموس) محدوده‌ی پایین غلظت ۴۴/۸۵، ۴/۵۱ و ۰/۲۹ میلی‌گرم بر گرم را داشتند. ایستگاه شاهد از نظر وضعیت آلودگی در مورد هر ۵ فلز، غلظت فلزات محدوده‌ی پایین آلودگی را نشان داد.

درصد تغییرات عناصر سنگین در خوریات ماهشهر در شکل ۳ نشان داده شده است. خور مجیدیه در مورد جیوه، نیکل و کادمیم و در خور مجیدیه، سرب در خور سماییلی و وانادیوم با ۱/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین آلودگی را داشتند. ایستگاه دهانه خور موسی به عنوان ایستگاه شاهد کمترین سطح آلودگی را داشت.

نتایج شاخص‌های آلودگی در جدول ۴ نشان داده شده است. در مورد شاخص ریسک اکولوژیکی به جز ایستگاه‌های خور زنگی که ریسک اکولوژیکی قابل توجهی را نشان دادند ایستگاه‌های خورهای مریموس، مجیدیه و سماییلی ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد ($RI > 600$) را نشان دادند. نکته قابل توجهی ریسک اکولوژیکی متوسط (۲۹۲/۷۴) ایستگاه شاهد (دهانه‌ی خور موسی) بود که نشان از انتقال آلودگی از مناطق آلوده به این نقطه با وجود فاصله از منطقه صنعتی، دارد. بالاترین ریسک اکولوژیکی مربوط به خور مجیدیه با RI برابر ۸۷۳/۳۱ بود. شاخص بار آلودگی رسوبات (PLI) در رسوبات تمام ایستگاه‌های خوریات ماهشهر، عدد زیر ۱ را نشان داد که عدم آلودگی رسوبات را نشان می‌دهد. خور مجیدیه با شاخص بار آلودگی ۰/۰۰۰۹ و خور زنگی

در این رابطه: Cf: فاکتور آلودگی (جدول ۲)، Tr: ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. هاکنسون (۱۹۸۰) مقدار (TR) را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین نام دارد.

برای تحلیل به دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: محدوده تغییرات RI میزان ریسک اکولوژیکی (Hakanson, 1980)

Table 2: Range of RI changes Ecological risk (Hakanson, 1980)

میزان ریسک اکولوژیکی	مقدار RI	درجه‌ی ارزیابی ریسک اکولوژیکی برای هر فلز	مقدار Er
ریسک اکولوژیکی کم	$RI < 150$	ریسک پایین	$Er < 40$
ریسک اکولوژیکی متوسط	$150 \leq RI < 300$	ریسک متوسط	$40 < Er < 80$
ریسک اکولوژیکی قابل توجه	$300 \leq RI < 600$	ریسک قابل توجه	$80 < Er < 160$
ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد	$RI \geq 600$	ریسک بالا	$Er > 160$
		ریسک خیلی بالا	$Er > 320$

۲. شاخص بار آلودگی (PLI^۱)

این شاخص تخمینی از سطح آلودگی فلزات در رسوبات مورد مطالعه را نشان می‌دهد (معادله‌ی ۳) (Tomlinson et al., 1980):
معادله ۳:

$$PLI = \sqrt[5]{CF_V \times CF_{Cd} \times CF_{Pb} \times CF_{Ni} \times CF_{Hg}}$$

در رابطه فوق، CF فاکتور آلودگی است. مقادیر PLI کمتر از ۱ عدم آلودگی، بین ۱ و ۲ آلودگی متوسط، بین ۲ و ۳ آلودگی زیاد و بین ۳ و ۴ آلودگی بسیار زیاد را نشان می‌دهد [۲۰].

۳. پردازش داده‌ها

نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro Wilk مورد بررسی قرار گرفت. جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات خورهای مورد مطالعه از آزمون واریانس یک‌طرفه و برای تفکیک گروه‌های دارای اختلاف معنی‌دار از آزمون تکمیلی استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری و ویرایش تمام داده‌های به‌دست‌آمده از نرم‌افزارهای SPSS 20 و Excel 2013 استفاده شد.

نتایج و بحث

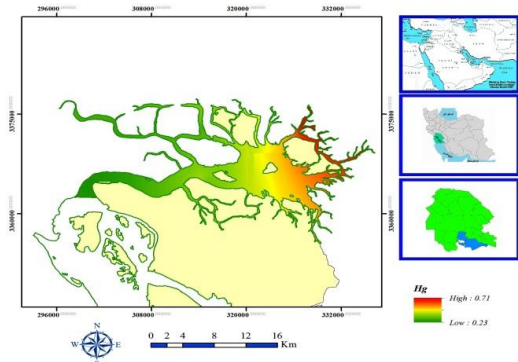
¹ Pollution Load index

بوده و به این ترتیب خور مجیدیه با غلظت فلزات سنگین بالاتر، بالاترین سطح شاخص آلودگی و دهانه‌ی خور موسی با کمترین غلظت فلزات سنگین پایین‌ترین سطح PLI را داشت.

با شاخص آلودگی ۰/۰۰۰۵ به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین سطح آلودگی را داشتند.

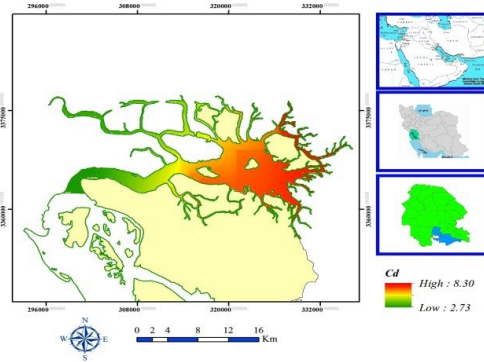
روند تغییرات غلظت فلزات سنگین و شاخص آلودگی در شکل ۴ نشان می‌دهد که سطح شاخص آلودگی با غلظت فلزات سنگین منطبق

نقشه پهنه بندی فلز جیوه در منطقه مورد مطالعه در خورموسی-تابستان ۹۸



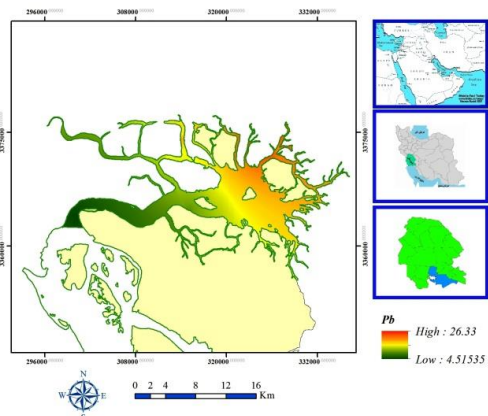
ب- جیوه

نقشه پهنه بندی فلز کادمیوم در منطقه مورد مطالعه در خورموسی-تابستان ۹۸



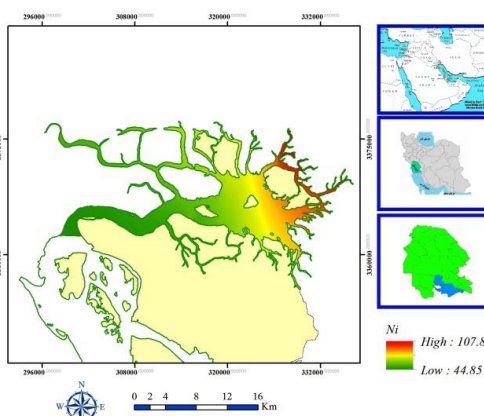
الف- کادمیوم

نقشه پهنه بندی فلز سرب در منطقه مورد مطالعه در خورموسی-تابستان ۹۸



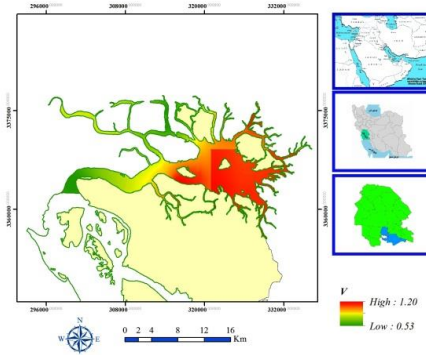
د- سرب

نقشه پهنه بندی فلز نیکل در منطقه مورد مطالعه در خورموسی-تابستان ۹۸



ج- نیکل

نقشه پهنه بندی فلز وانادیوم در منطقه مورد مطالعه در خورموسی-تابستان ۹۸



ر- وانادیوم

شکل ۲: نقشه پراکنش غلظت فلزات انتخابی (میلی‌گرم بر کیلوگرم) در رسوبات خوریات ماهشهر واقع در شمال غربی خلیج فارس (تابستان ۱۳۹۸)

Fig 2: Distribution map of concentrations of selected metals (mg / kg) in Khoriat sediments of Mahshahr located in the northwest of the Persian Gulf (Summer 1398)

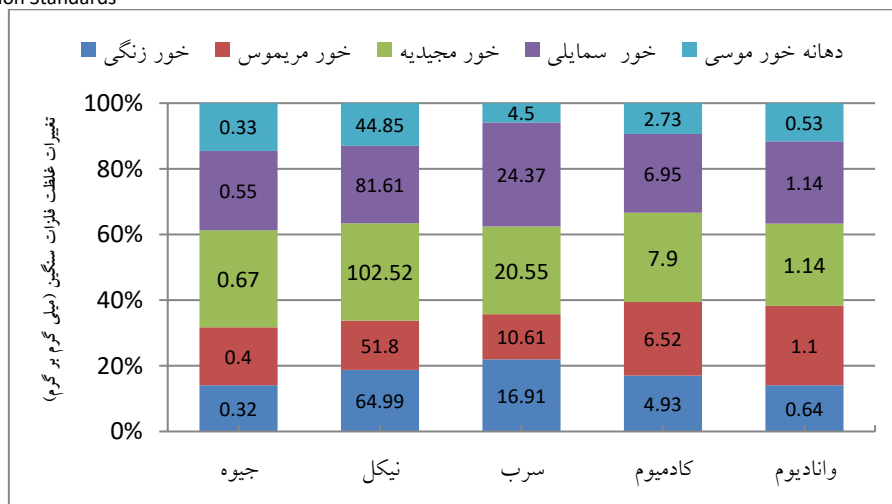
جدول ۳: غلظت فلزات سنگین بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم (میانگین سه تکرار) در رسوبات سطحی (۵-۰ سانتی‌متر) در رسوبات خوریات ماهشهر واقع در شمال غربی خلیج فارس (تابستان ۱۳۹۸)

Table 3: Concentration of heavy metals in mg / kg (average of three replications) in surface sediments (0-5 cm) in Khoriat Mahshahr sediments located in the northwest of the Persian Gulf (Summer 2019)

نام خور	شماره ایستگاه	جیوه	نیکل	سرب	کادمیم	وانادیوم	جمع فلزات در گرم رسوب
خور زنگی	۱	۰/۳۴ ± ۰/۰۲	۶۶/۱۷ ± ۰/۹۱	۱۵/۵۳ ± ۱/۴۶	۴/۵۵ ± ۰/۵۶	۰/۵۵ ± ۰/۰۳۴	۸۷/۱۴
خور زنگی	۲	۰/۳۵ ± ۰/۰۱	۶۳/۸۳ ± ۱/۹۷	۱۹/۰۷ ± ۱/۰۷	۵/۱۳ ± ۰/۳۳	۰/۶۹ ± ۰/۰۰۷	۸۹/۰۷
خور زنگی	۳	۰/۳۱ ± ۰/۰۱	۶۴/۷۷ ± ۱/۸۰	۱۷/۵۳ ± ۰/۹۳	۵/۲۱ ± ۰/۳۲	۰/۵۹ ± ۰/۰۰۵	۸۸/۴۱
خور زنگی	۴	۰/۲۹ ± ۰/۰۲	۶۵/۱۳ ± ۱/۳۰	۱۵/۴۳ ± ۱/۱۲	۴/۸۴ ± ۰/۲۳	۰/۵۷ ± ۰/۰۰۸	۸۶/۲۶
خور زنگی	میانگین	۰/۳۲ ± ۰/۰۲ ^a	۶۴/۹۹ ± ۰/۹۹ ^e	۱۶/۹۱ ± ۱/۷۱ ^d	۴/۹۳ ± ۰/۲۹ ^c	۰/۶۴ ± ۰/۰۰۷ ^b	۸۷/۷۹
خور مریموس	۵	۰/۳۹ ± ۰/۰۲	۵۱/۶۷ ± ۵/۶۵	۱۰/۵۷ ± ۰/۶۵	۶/۰۷ ± ۰/۴۷	۰/۹۷ ± ۰/۱۱	۶۹/۶۷
خور مریموس	۶	۰/۳۴ ± ۰/۰۵	۵۹/۹۳ ± ۱/۳۱	۹/۷۰ ± ۰/۳۶	۷/۰۳ ± ۰/۲۱	۴/۰۷ ± ۰/۰۴	۸۱/۰۷
خور مریموس	۷	۰/۳۵ ± ۰/۰۶	۵۰/۹۷ ± ۱/۹۶	۱۰/۳۳ ± ۰/۴۵	۶/۶۳ ± ۰/۴۲	۱/۱۶ ± ۰/۰۵	۶۹/۴۴
خور مریموس	۸	۰/۳۵ ± ۰/۰۳	۵۱/۴۳ ± ۲/۷۵	۱۰/۸۳ ± ۰/۴۲	۷/۱۳ ± ۰/۴۵	۱/۲۰ ± ۰/۰۴	۷۰/۹۴
خور مریموس	میانگین	۰/۴۰ ± ۰/۰۸ ^a	۵۱/۸۰ ± ۰/۹۵ ^e	۱۰/۶۱ ± ۰/۲۱ ^d	۶/۵۲ ± ۰/۴۶ ^c	۱/۱۰ ± ۰/۰۱ ^b	۷۰/۴۳
خور مجیدیه	۹	۰/۶۴ ± ۰/۰۳	۱۰۰ ± ۱/۲۸	۱۹/۶۳ ± ۲/۵۵	۸/۲۷ ± ۰/۶۷	۱/۱۸ ± ۰/۰۳	۱۲۹/۷۲
خور مجیدیه	۱۰	۰/۶۴ ± ۰/۰۳	۱۰۲/۴۳ ± ۴/۰۵	۲۰ ± ۱/۵۷	۷/۶۳ ± ۰/۸۷	۱/۱۱ ± ۰/۱۳	۱۳۱/۸۱
خور مجیدیه	۱۱	۰/۷۰ ± ۰/۰۵	۹۹/۸۳ ± ۱/۵۷	۲۰/۶۷ ± ۱/۲۵	۷/۴۳ ± ۰/۱۵	۱/۱۲ ± ۰/۰۴	۱۲۹/۷۵
خور مجیدیه	۱۲	۰/۷۱ ± ۰/۰۲	۱۰۷/۸۳ ± ۱/۶۷	۲۱/۹۳ ± ۰/۸۴	۸/۳۰ ± ۰/۲۰	۱/۱۶ ± ۰/۰۳	۱۳۹/۹۳
خور مجیدیه	میانگین	۰/۶۷ ± ۰/۰۳ ^a	۱۰۲/۵۲ ± ۳/۷۳ ^e	۲۰/۵۵ ± ۱/۰۱ ^d	۷/۹۰ ± ۰/۴۴ ^c	۱/۱۴ ± ۰/۰۳ ^b	۱۳۲/۷۸
خور سمایلی	۱۳	۰/۵۸ ± ۰/۰۴	۷۸/۲۰ ± ۱/۲۱	۲۲/۸۰ ± ۱/۵۵	۶/۱۰ ± ۰/۴۴	۱/۰۴ ± ۰/۱۳	۱۰۸/۷۲
خور سمایلی	۱۴	۰/۵۶ ± ۰/۰۶	۷۸/۹۰ ± ۲/۰۴	۲۴/۷۳ ± ۰/۹۱	۷/۰۷ ± ۰/۱۵	۱/۱۸ ± ۰/۱۶	۱۱۲/۴۴
خور سمایلی	۱۵	۰/۵۱ ± ۰/۰۴	۸۳/۷۰ ± ۲/۷۴	۲۶/۳۳ ± ۰/۵۰	۶/۷۳ ± ۱	۱/۱۹ ± ۰/۰۴	۱۱۸/۴۶
خور سمایلی	۱۶	۰/۵۶ ± ۰/۰۴	۸۵/۳۷ ± ۱/۷۶	۲۳/۶۳ ± ۰/۹۱	۷/۹۳ ± ۰/۴۷	۱/۱۹ ± ۰/۰۳	۱۲۴/۶۸
خور سمایلی	میانگین	۰/۵۵ ± ۰/۰۳ ^a	۸۱/۶۱ ± ۳/۶۴ ^e	۲۴/۳۷ ± ۱/۵۲ ^d	۶/۹۵ ± ۰/۷۶ ^c	۱/۱۴ ± ۰/۰۰۷ ^b	۱۱۴/۶۲
دهانه خور موسی (شاهد)	۱۷	۰/۲۳ ± ۰/۰۵ ^a	۴۴/۸۵ ± ۴/۴۷ ^e	۴/۵۰ ± ۰/۲۰ ^d	۲/۷۳ ± ۰/۷۶ ^c	۰/۵۳ ± ۰/۰۸ ^b	۵۲/۸۴
میانگین شل (میلی گرم بر کیلوگرم) (EU*, 2002)	-	۰/۴	۵۰	۲۰	۰/۳	۱۳۰	-

مقادیر مشخص شده با حروف متفاوت، نشانگر تفاوت معنی‌دار بین فلزات سنگین مختلف در هر خور می‌باشد (P < ۰/۰۵)

* EU: European Union Standards

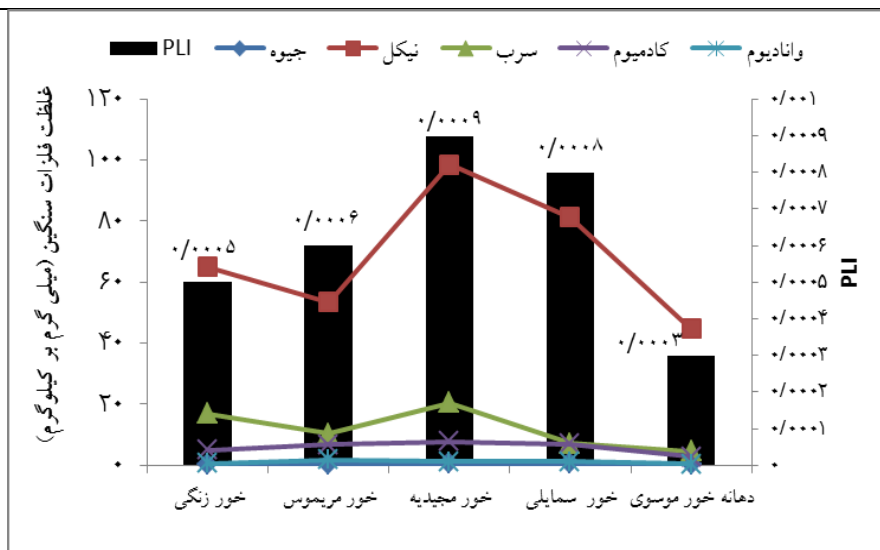


شکل ۳: درصد تغییرات غلظت عناصر سنگین در خوریات ماهشهر واقع در شمال غربی خلیج فارس (تابستان ۱۳۹۸)
Fig 3: Percentage of changes in heavy element concentrations in Khoriat Mahshahr located in the northwest of the Persian Gulf (Summer 2019)

جدول ۴: شاخص‌های ریسک اکولوژیکی (Er و RI) و شاخص بار آلودگی (PLI) در رسوبات خوریات ماهشهر (تابستان ۱۳۹۸)

Table 4: Ecological risk indices (Er and IR) and pollution load index (PLI) in Khoriat sediments of Mahshahr (Summer 2019)

نام خور	شماره ایستگاه	فاکتور ریسک اکولوژیکی (Er)					RI	PLI
		جیوه	نیکل	سرب	کادمیم	وانادیوم		
خور زنگی	۱	۳۴/۳۳	۶/۶۲	۳/۸۸	۴۵۵/۳۳	۰/۱۶	۵۰۰/۳۴	۰/۰۰۰۵
خور زنگی	۲	۳۵	۶/۳۸	۴/۷۶	۵۱۳/۳۳	۰/۱۵	۵۵۹/۶۴	۰/۰۰۰۶
خور زنگی	۳	۳۱/۳۳	۶/۴۷	۴/۳۸	۵۲۰/۶۶	۰/۱۳	۵۶۲/۹۹	۰/۰۰۰۵
خور زنگی	۴	۲۹/۳۳	۶/۵۱	۳/۸۸	۴۸۴/۳۳	۰/۱۳	۵۲۴/۱۹	۰/۰۰۰۵
خور زنگی	میانگین	۳۲/۵	۶/۴۹	۴/۲۲	۴۹۳/۴۱	۰/۱۴	۵۳۶/۷۹	۰/۰۰۰۵
خور مریموس	۵	۳۹/۳۳	۵/۱۶	۲/۶۴	۶۰۶/۶۶	۰/۲۲	۶۵۴/۰۳	۰/۰۰۰۶
خور مریموس	۶	۵۳	۵/۳۱	۲/۶۸	۶۲۶/۶۶	۰/۲۵	۶۸۷/۹۱	۰/۰۰۰۶
خور مریموس	۷	۳۵	۵/۰۹	۲/۵۸	۶۶۳/۳۳	۰/۲۶	۷۰۶/۲۸	۰/۰۰۰۶
خور مریموس	۸	۳۵/۳۳	۵/۱۴	۲/۷۰	۷۱۳/۳۳	۰/۲۷	۷۵۶/۷۹	۰/۰۰۰۶
خور مریموس	میانگین	۴۰/۶۶	۵/۱۸	۲/۶۵	۶۵۲/۵	۰/۲۵	۷۰۱/۲۵	۰/۰۰۰۶
خور مجیدیه	۹	۶۴	۱۰	۴/۹	۸۲۶/۶۶	۰/۲۷	۹۰۵/۸۴	۰/۰۰۰۹
خور مجیدیه	۱۰	۶۳/۶۶	۱۰/۲۴	۵	۷۶۳/۳۳	۰/۲۵	۸۴۲/۴۹	۰/۰۰۰۹
خور مجیدیه	۱۱	۷۰	۹/۹۸	۵/۱۶	۷۴۳/۳۳	۰/۲۵	۸۲۸/۷۴	۰/۰۰۰۹
خور مجیدیه	۱۲	۷۰/۶۶	۱۰/۷۸	۵/۴۸	۸۳۰	۰/۲۶	۹۱۷/۲	۰/۰۰۰۱
خور مجیدیه	میانگین	۶۷/۰۸	۱۰/۲۵	۵/۱۳	۷۹۰/۸۳	۰/۲۶	۸۷۳/۳۱	۰/۰۰۰۹
خور سمایی	۱۳	۵۷/۶۶	۷/۸۲	۵/۷	۶۱۰	۰/۲۳	۶۸۱/۴۲	۰/۰۰۰۸
خور سمایی	۱۴	۵۶	۷/۸۹	۶/۱۸	۷۰۶/۶۶	۰/۲۷	۷۷۷/۰۱	۰/۰۰۰۸
خور سمایی	۱۵	۵۰/۶۶	۸/۳۷	۶/۵۸	۶۷۳/۳۳	۰/۲۷	۷۳۹/۲۲	۰/۰۰۰۸
خور سمایی	۱۶	۵۵/۶۶	۸/۵۶	۵/۹۰	۷۹۳/۳۳	۰/۲۷	۸۶۳/۷۴	۰/۰۰۰۹
خور سمایی	میانگین	۵۵	۸/۱۶	۶/۰۹	۶۹۵/۸۳	۰/۲۶	۷۶۵/۳۴	۰/۰۰۰۸
دهانه خور موسی (شاهد)	۱۷	۲۲/۶۶	۴/۵	۱/۱۲	۲۷۳/۳۳	۰/۱۲	۲۹۲/۷۴	۰/۰۰۰۳



شکل ۴: روند تغییرات غلظت فلزات سنگین و شاخص آلودگی PLI در خوریات ماهشهر واقع در شمال غربی خلیج فارس (تابستان ۱۳۹۸)

Fig 4: Trend of changes in heavy metal concentration and PLI pollution index in Khorshat Mahshahr located in the northwest of the Persian Gulf (Summer 2019)

گسترده‌ی پتروشیمی است، مورد بررسی قرار گرفته است. در ۴ خور زنگی، مریموس، سمایی و مجیدیه روند تغییرات غلظت فلزات سنگین به ترتیب به صورت نیکل < سرب < کادمیوم < وانادیوم < جیوه بود که با الگوی غلظت فلزات سنگین در شیل (جدول ۵) همخوانی نداشته و نشان دهنده‌ی دستکاری محیط توسط انسان است. نیکل و کادمیوم از جمله عناصر مهم آلاینده محیط زیست و نیز از اجزای تشکیل دهنده

رسوبات به عنوان ذخیره‌گاه آلودگی، نقش مهمی در ارزیابی گسترده‌ی آلودگی در محیط‌های آبی دارند. این ارزیابی به دلیل شرایط پیچیده‌ی فیزیکی و شیمیایی در مصب‌ها که عموماً تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی دستخوش تغییرات زیادی شده‌اند، اهمیتی دوچندان پیدا کرده است [۲۱]. از این رو در مطالعه حاضر میزان آلودگی فلزات سنگین در خوریات ماهشهر به عنوان منطقه‌ای طبیعی که تحت تأثیر فعالیت‌های

مجیدیه و سماییلی به عنوان اسکله‌های صادراتی نفت، بنزین و فرآورده‌های نفتی در مقایسه با سایر خورها است که در جریان بارگیری به آب وارد و در رسوبات ذخیره می‌شوند. Bastami و همکاران (۲۰۱۵) [۲۸]، Pourang و همکاران (۲۰۰۵) [۲۹] و Mohammadi Golangesh و همکاران (۲۰۱۸) [۳۰] آلودگی نفتی، تخلیه آب توازن تانکر نفتکش‌ها و تخلیه نفت را عامل مقدار بالای نیکل وانادیوم در رسوبات گزارش کردند.

خور مجیدیه در مطالعه‌ی Babadi و همکاران (۲۰۱۵) [۳۱] با میانگین ۴۱۰ نانوگرم بر گرم و در مطالعه‌ی Mori Bazofti و همکاران (۲۰۱۷) [۳۲] با میانگین ۹۹-۴۹۰ نانوگرم بر گرم به عنوان یکی از خورهای آلوده به جیوه معرفی کردند که با توجه به میانگین ۰/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم این خور در مقایسه با خورهای زنگی (۰/۳۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم، مریموس (۰/۴۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم و سماییلی (۰/۵۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد و افزایش سطح بسیار بالای آلودگی را در مقایسه با سال‌های قبل نشان می‌دهد. همچنین در مطالعات Mori Bazofti و همکاران (۲۰۱۷) [۳۲] و Goudarzi و همکاران (۲۰۰۶) [۳۳] خور پتروشیمی را کانون آلودگی جیوه در منطقه گزارش کردند که با توجه به هم‌جواری خور پتروشیمی و خور مریموس غلظت جیوه و سایر فلزات در این خور قابل توجه است به ویژه اینکه به دلیل عمق کم خور مریموس، بر خلاف سایر نقاط خور کشتیرانی و لایروبی در این منطقه انجام نشده و خود عامل ذخیره بیشتر فلزات در این خور و نیز غلظت‌های متفاوت در خورهای نظیر خور زنگی است. خورها براساس غلظت جیوه ترتیبی به شکل مجیدیه < سماییلی < مریموس < زنگی نشان دادند. Babadi و همکاران (۲۰۱۵) [۳۱] نیز در تحقیقات خود به مقادیر بالای جیوه در رسوبات خور مجیدیه اشاره کرده‌اند. Faqyani و همکاران (۲۰۱۱) [۳۴]، حضور اسکله‌های سازمان بندار و کشتیرانی بندر امام خمینی و تعمیر، رنگ و شستشوی کشتی‌ها در این بندر را عامل افزایش سطح جیوه در خور جعفری (بخشی از خور موسی) گزارش کردند. از این رو بالا بودن سطح جیوه در اسکله صادرات نفت مجیدیه و بندر صادراتی در خور سماییلی که دارای تعمیر و نگهداری کشتی هستند نیز از عوامل افزایش سطح جیوه در این دو خور است. در مطالعه‌ی Mori Bazofti و همکاران (۲۰۱۷) [۳۲] خورهای پتروشیمی، غزاله و مجیدیه را به عنوان خورهای آلوده به جیوه ذکر کردند و عنوان کردند که آلودگی در خورهای غزاله و مجیدیه به دلیل قرار گرفتن در انتهای خورهای ماهشهر در این خورها ذخیره و آلودگی مدت زمان طولانی جابه‌جا نمی‌شود که این موضوع ترتیب قرارگیری خورهای ماهشهر براساس غلظت (مجیدیه ۲۹/۰۵) < سماییلی (۲۲/۹۲) < زنگی (۱۷/۵۸) < مریموس (۱۴/۰۸) < دهانه خور موسی (۱۰/۵۹) میلی‌گرم بر کیلوگرم را توجیه می‌کند. خور مجیدیه که در انتهای خورهای است بالاترین سطح آلودگی و خور مریموس که در نزدیکی دهانه است کمترین غلظت فلزات را داشت. براساس شاخص بار آلودگی $PLI < 1$ ، رسوبات خورهای موسی عدم

نفت می‌باشد و بنابراین غلظت بالای آن می‌تواند به نفت‌خیز بودن منطقه برگردد [۲۲]. حضور سرب در محیط اغلب با تولید و استفاده از گازوئیل و بنزین و ورود این فلز ناشی از مجاورت این خورها با مناطق پتروشیمی، حرکت کشتی‌ها و حمل و نقل و تردد قایق‌ها در منطقه مرتبط است زیرا حتی بنزین‌های بدون سرب تولیدی حاوی مقداری سرب (زیر ۵ میلی‌گرم بر لیتر سرب) هستند [۲۳].

بیشترین و کمترین غلظت فلز نیکل در خورهای مورد مطالعه به ترتیب مجیدیه < سماییلی < زنگی < مریموس بود به شکلی که در نقشه‌های پهنه‌بندی نیز سه خور مجیدیه، سماییلی و زنگی همواره در پهنه‌ی قرمز قرار دارند. نکته قابل توجه دیگر در نقشه‌های پهنه‌بندی، تحرک و پهنه‌ی قرمز کمتر نیکل در مقایسه با سرب و کادمیوم علاوه بر غلظت بالاتر این فلز در خورهای ماهشهر است. بررسی پژوهش Qeshlaqi و Rostami (۲۰۱۶) [۲۴] نشان داد که در رسوبات بستر رودخانه سیاه‌رود بیش از ۵۰ درصد از سهم ترکیبات سرب و کادمیوم به بخش قابل تبادل کاتیونی تعلق داشت در حالی که عنصر نیکل به بخش باقیمانده رسوبات (بخش پایدار) تعلق دارد که تحریک کمتر نیکل را نشان می‌دهد. چنین نتیجه‌ای در مطالعه‌ی Absia و همکاران (۲۰۱۹) [۲۵] در خور موسی و در مورد فلز سرب نیز گزارش شده است. علاوه بر این بسیاری از جریان‌های جذر و مدی، آلودگی مناطق بالادستی را به خور مجیدیه که در منتهایله کانال خور موسی قرار دارد منتقل می‌کنند [۲۵] که این موضوع غلظت بالاتر فلزات سنگین در خور مجیدیه را توجیه می‌کند. این روند برای فلز وانادیوم (مجیدیه = سماییلی < مریموس < زنگی)، فلز کادمیوم (مجیدیه < سماییلی < مریموس < زنگی)، برای فلز سرب (سماییلی < مجیدیه < زنگی < مریموس) به‌دست آمد. در مطالعه‌ی Manuchehri و همکاران (۲۰۰۸) [۲۶] میزان کادمیوم و سرب رسوبات خور زنگی را در مقایسه با مناطق دیگر خورهای موسی و رسوبات شمال خلیج فارس پایین‌تر گزارش کردند که با توجه به نتایج، با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر و کمتر بودن غلظت فلزات در خور زنگی در مقایسه با سایر خورهای ماهشهر مورد مطالعه هم‌خوانی دارد. از جمله دلایل احتمالی پایین‌تر بودن غلظت فلزات سنگین (نقشه‌های پهنه‌بندی این خور را به رنگ سبز و یا زرد که محدوده‌ی پایین و متوسط آلودگی است نشان می‌دهد) علاوه بر حضور تاسیسات نفتی و پتروشیمی گسترده در خور زنگی، می‌تواند ناشی از وجود جریان آب در خور زنگی باشد که سبب تخلیه و انتقال آلودگی به سایر مناطق خور موسی باشد. در حالی که در خور مریموس علاوه بر عدم فعالیت کشتیرانی به دلیل عمق و جریان کم آب [۲۷] که سبب غلظت پایین‌تر فلزات در این خور در مقایسه با سایر خورها شده است (مجیدیه < سماییلی < زنگی < مریموس < دهانه خور موسی)، مجاورت با خور پتروشیمی و انتقال آلودگی از صنایع مستقر در این خور و نیز خور زنگی به خور مریموس عامل انتقال آلودگی و رنگ قرمز شدن این خور برای فلزات کادمیوم و وانادیوم در نقشه‌ی پهنه‌بندی است. نکته قابل توجه دیگر که ارتباط بین غلظت نیکل، کادمیوم، وانادیوم و نیز سرب را با فعالیت‌های انسانی مشخص می‌سازد، آلودگی بالای خور

ریسک اکولوژیکی متوسطی را نشان داد که تأثیر این آلودگی بر روی موجودات زنده را نشان می‌دهد. از نظر ریسک اکولوژیکی برای هر فلز، فلز کادمیوم (ریسک بسیار بالا) و جیوه (در خور زنگی ریسک اکولوژیکی پایین و در سایر خورها ریسک اکولوژیکی متوسط) بالاترین ریسک اکولوژیکی و فلزات وانادیوم، نیکل و سرب ریسک اکولوژیکی پایینی را در خورهای ماهشهر داشتند. در مطالعه‌ی Jahangiri و Janadeleh (۲۰۱۶) [۳۶] در خور موسی، فلزات از نظر ریسک اکولوژیکی ترتیب سرب < کادمیوم < نیکل < روی را نشان دادند که همگی دارای ریسک اکولوژیکی پایینی بودند و خور موسی از نظر شاخص RI ریسک اکولوژیکی پایین را نشان دادند. مقایسه غلظت فلزات سنگین با میانگین غلظت فلزات در خور موسی در سال‌های قبل و نیز سایر نقاط جهان در جدول ۵ نشان داده شده است.

آلودگی را نشان دادند که این موضوع ممکن است ناشی از لایروبی مداوم خورهای به جهت کشتیرانی باشد هر چند مقادیر بالاتر از شیل فلزات سنگین نیکل و کادمیم و سرب در خور سمایلی آلودگی این خورها به این فلزات را تأیید می‌کند. Tomlinson و همکاران (۱۹۸۰) [۳۵] عنوان کردند که PLI نمی‌تواند اطلاعات مناسبی از تأثیری جامع از مجموع عوامل آلاینده (حضور هم زمان چندین فلز) را فراهم کند از این رو با توجه به اهمیت رسوبات به عنوان محل زیست و تغذیه، شاخص‌های اکولوژیکی تدوین شده‌اند تا اثرات این آلودگی‌ها بر موجودات زنده مورد ارزیابی قرار گیرد. براساس شاخص ریسک اکولوژیکی، خور زنگی ریسک اکولوژیکی قابل توجه (خور زنگی) و ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد (خورهای مریموس، مجیدیه و سمایلی) را نشان دادند و حتی دهانه‌ی خور موسی علاوه بر جریان آب زیاد،

جدول ۵: مقایسه غلظت فلزات سنگین رسوبات مطالعه‌ی حاضر با سایر مطالعات در منطقه‌ی مورد بررسی

Table 5: Comparison of heavy metal concentrations of sediments in the present study with other studies in the study area

مکان	جیوه	نیکل	سرب	کادمیوم	وانادیوم	منبع
میانگین در خورهای ماهشهر (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۴۸	۷۵/۲۳	۱۳/۱۴	۵/۳۶	۰/۸۵	مطالعه‌ی حاضر
خور زنگی (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	-	۳/۷۱	۲/۲۱	-	Manuchehri et al., 2008 [۲۶]
خور موسی (میکروگرم بر گرم)	۲/۱۵	-	-	-	-	Faqyani et al., 2011 [۳۴]
خور موسی (میکروگرم بر گرم)	۴/۷۶	۱۱۹/۹۱	۱۸/۶۴	۲/۵۲	-	Parvaneh et al., 2011 [۳۷]
خور موسی، خلیج فارس (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	۶۲	-	-	-	Vaezi et al., 2014 [۳۸]
خورهای ماهشهر (نانوگرم بر گرم)	۹۰ - ۴۹۰	-	-	-	-	Mori Bazofti et al., 2017 [۳۲]
خور موسی (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	-	۶/۶۸	-	-	Mohammadi Roozbahani et al., 2017 [۳۹]
خور موسی (میلی گرم بر کیلوگرم)	۱۲۴/۴۳	۱۲۴/۴۳	۵۲۲۴	۰/۸۵	۱۱۹/۴۷	Pejman et al., 2014 [۴۰]
سواحل شمالی خلیج فارس (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	۳۴/۰۵	۷/۷۳	۰/۲۳	-	Jahangiri and Janadeleh, 2016 [۳۶]
سواحل عمان، امارات متحده‌ی عربی (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	۴۹۷/۴۶	۹	۵/۰۲	۶۰	El Tokhi et al., 2017 [۴۱]
سواحل جزیره قشم، خلیج فارس (میلی گرم بر کیلوگرم)	-	۸۰	۷/۹۴	۲/۶۳	-	Zarezadeh et al., 2017 [۴۲]
خور Abiete-Toko gold، کامرون (میلی گرم بر کیلوگرم)	-۰/۱۰۶	-۲۱۷/۲۸	۵/۸۵-۵/۹۷	-۰/۱۲۸	-	Mandeng et al., 2019 [۹]
خور Brazilian برزیل (میلی گرم بر کیلوگرم)	۰/۰۲-۰/۰۸	۳/۰۱-۱۶-۶۲	-۳۰۲/۲۲	۰/۱۶-۰/۲۷	-	Silva et al., 2019 [۴۳]

جدول ۶: دستورالعمل کیفیت موقت رسوب ISQG و استانداردهای NOAA و SQGs

Table 6: ISQG Temporary Sediment Quality Guidelines and NOAA and SQGs standards

منبع	Hg	Pb	Cd	Ni	V	Guideline	استاندارد	واحد
(Buchman, 2008) [۴۴]	۰/۱۵	۴۶/۷	۱/۲	۲۰/۹	۱/۲	ERL	کیفیت رسوب آمریکا	میلی گرم بر کیلوگرم
	۰/۷۱	۲۱۸	۹/۶	۵۱/۶	۹/۶	ERM	NOAA	
	۰/۱۳	۳۰/۰۲	۰/۷	۱۵/۹	-	LEL	استاندارد محیط	میلی گرم بر کیلوگرم
(MacDonald, 2003) [۴۵]	۰/۷	۱۱۲	۴/۲	۴۲/۸	-	PEL	زیست کانادا ISQGs (CCME, 1999)	
(ROPME, 1999) [۴۶]	-	۱۵-۳۰	-	۷۰-۸۰	۲۰-۳۰		استانداردهای حوضه خلیج فارس	میلی گرم بر کیلوگرم
-	۰/۴۳	۱۱/۸۸	۶/۲۶	۶۸/۶۳	۱/۰۵		مطالعه حاضر	میلی گرم بر کیلوگرم

۱. ارزیابی سمیت رسوب

جهت بررسی عوامل آلاینده در رسوبات روش‌های متعددی وجود دارد، از جمله مقایسه با مقادیر مرجع، حد طبیعی و نرمال منطقه، مقایسه با استانداردهای کیفیت رسوب در جهان^۱ و نیز مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در سایر نقاط جهان [۴۷].

غلظت فلزات وانادیوم، نیکل، کادمیوم، سرب و جیوه در تعدادی از رسوبات خور موسی با برخی از استانداردهای کیفیت رسوب در جهان از جمله NOAA^۲، ISQGS^۳ و استانداردهای حوزه خلیج فارس یا RSA^۴ در جدول ۶ مقایسه شده است. استاندارد کیفیت رسوب آمریکا یا NOAA با دو شاخص ERM^۵ و ERL^۶ جهت شناسایی سمی یا غیر سمی بودن رسوبات در موجودات بنتیکی بکار می‌رود [۴۸]. بر اساس این شاخص غلظت فلزات وانادیوم و سرب از استاندارد ERL (کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) و فلزات وانادیوم، کادمیوم و جیوه از شاخص ERM (حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیک در خطرند) پایین‌تر بود.

ISQGS^۷ یا استاندارد کیفیت رسوب کانادا جهت برآورد اثرات آلاینده‌های باند شده با رسوبات بر روی موجودات زنده داخل و یا مرتبط با رسوبات طراحی شده است [۱۹]. مقایسه نتایج با معیارهای استاندارد کیفیت رسوب نشان داد که غلظت سرب و جیوه از مقدار LEL^۸ (سطحی که باعث اثرات زیان آور می‌شود) و فقط سرب از مقدار PEL^۹ پایین‌تر بود. در مطالعه‌ی Faqyani و همکاران (۲۰۱۱) [۳۴] غلظت فلز جیوه در رسوبات خور موسی از استانداردهای کیفیت رسوب آمریکا و استاندارد کیفیت رسوب کانادا بیشتر بود. در مطالعه Mori و همکاران (۲۰۱۷) [۳۲] جیوه در خورهای ماهشهر از استاندارد ERM کمتر بود در حالی که مقادیر جیوه سنجیده شده از استاندارد ERL بیشتر بود. در مطالعه Janadeleh و Jahangiri (۲۰۱۶) [۳۶] در خور موسی مقادیر کادمیم و سرب از میزان ERL و ERM پایین‌تر بود اما میانگین غلظت نیکل از ERL و ERM بالاتر بود که با مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد. بر اساس استاندارد کیفیت رسوب

در حوزه خلیج فارس [۴۶] ارائه شده است غلظت فلزات وانادیوم، نیکل و سرب در مقادیر بین حدود غلظت تعیین شده قرار داشتند.

نتیجه‌گیری

غلظت فلزات سنگین ترتیب خورهای ماهشهر براساس آلودگی مجیدیه < سمایلی < زنگی < مریموس < دهانه خور موسی و براساس غلظت فلزات سنگین نیکل < سرب < کادمیوم < وانادیوم < جیوه بود. نتایج این مطالعه نشان داد که رسوبات خورهای ماهشهر از نظر شاخص آلودگی PLI، استاندارد کیفیت رسوب، استاندارد محیط زیست کانادا و استاندارد حوزه خلیج فارس عدم آلودگی را نشان دادند و غلظت کمتری از میانگین شیل داشتند اما بر اساس شاخص ریسک اکولوژیکی به جز خور زنگی که ریسک اکولوژیکی قابل توجهی داشت، سایر خورها (خورهای مریموس، مجیدیه و سمایلی) ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد را نشان دادند. بالاترین ریسک اکولوژیکی به فلزات کادمیوم و جیوه و کمترین ریسک اکولوژیکی به فلز وانادیوم تعلق داشت. دهانه‌ی خور موسی به عنوان ایستگاه شاهد، ریسک اکولوژیکی متوسطی را نشان داد. یافته‌های این مطالعه و مقایسه آن با روند آلودگی در منطقه نشان دهنده‌ی گسترش بار آلودگی فلزات سنگین در خور موسی طی سال‌های اخیر است. [۴۹-۵۱]

مشارکت نویسندگان

تمامی نویسندگان به یک میزان در نگارش این مقاله مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

به این وسیله، نویسندگان این مقاله از کلیه کسانی که در این مطالعه نقشی داشته‌اند تشکر و قدردانی مینمایند.

تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافی برای این مطالعه وجود ندارد.

References

- Liu Q, Wang F, Meng F, Jiang L, Li G, Zhou R. Assessment of metal contamination in estuarine surface sediments from Dongying City, China: Use of a modified ecological risk index. *Mar Pollut Bull.* 2018;126:293-303. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.11.017 pmid: 29421100
- Zhang G, Bai J, Xiao R, Zhao Q, Jia J, Cui B, et al. Heavy metal fractions and ecological risk assessment in sediments from urban, rural and reclamation-affected rivers of the Pearl River Estuary, China. *Chemosphere.* 2017;184:278-288. doi:

10.1016/j.chemosphere.2017.05.155 pmid: 28601010

- Zhang Z, Lu Y, Li H, Tu Y, Liu B, Yang Z. Assessment of heavy metal contamination, distribution and source identification in the sediments from the Zijiang River, China. *Sci Total Environ.* 2018;645:235-243. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.026 pmid: 30029107
- Bentum JK, Anang M, Boadu KO, Koranteng-Addo EJ, Antwi EO. Assessment of heavy metals pollution of sediments from Fosu lagoon in Ghana. *Bullet*

⁶ Effects range low

⁷ Interim Sediment Quality Guideline

⁸ The Lowest Effect Level

⁹ Probable Effect Level

¹ Sediment Quality Guide Lines

² National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

³ Interim Sediment Quality Guideline (Environment Canada)

⁴ ROPME Sea Area guideline

⁵ Effects range median

- Chem Soc Ethiopia*. 2011;**25**(2):191-196. doi: 10.4314/bcse.v25i2.65869
5. Liu Q, Sheng Y, Jiang M, Zhao G, Li C. Attempt of basin-scale sediment quality standard establishment for heavy metals in coastal rivers. *Chemosphere*. 2020;**245**:125596. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.125596 pmid: 31855750
 6. Tunca E, Aydin M, Sahin UA. An ecological risk investigation of marine sediment from the northern Mediterranean coasts (Aegean Sea) using multiple methods of pollution determination. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2018;**25**(8):7487-7503. doi: 10.1007/s11356-017-0984-0 pmid: 29282659
 7. Habibi S, Safahiyeh A, Zanos H. Determining the level of impurity of coastal sediments of Bushehr province in relation to heavy metals (Cd, Ni, Pb, Cu). *J Marine Sci Technol*. 2013;**11**:20-29.
 8. Shapouri M, Kamali A, Rezai M. Investigation and measurement of heavy metals (copper and zinc) in sediments and benthos of Nimrud River in Tehran province. *J Marine Sci Technol Res*. 2015;**10**(3):398-410.
 9. Mandeng EPB, Bidjeck LMB, Bessa AZE, Ntomb YD, Wadjou JW, Doumo EPE, et al. Contamination and risk assessment of heavy metals, and uranium of sediments in two watersheds in Abiete-Toko gold district, Southern Cameroon. *Heliyon*. 2019;**5**(10):e02591. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02591 pmid: 31667413
 10. Seifi M, Mahvi AH, Hashemi SY, Arfaeinia H, Pasalari H, Zarei A, et al. Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. *Desalination Water Treat*. 2019;**158**:130-139. doi: 10.5004/dwt.2019.24238
 11. Sazmand M. Pollution of the Persian Gulf. *Iran Environ*. 2014;**49**:1047-1063.
 12. Absiyah S, Ghanemi K, Nikpour Y. Investigation of distribution of copper, iron and lead compounds in surface sediments of Musa estuary by sequential extraction method. *J Oceanograph*. 2019;**12**(9):123-134. doi: 10.52547/joc.10.40.123
 13. Bani sultan S, Kavayanpour M. Numerical simulation of sedimentation in the sea estuary (Case study: Khormousi), Master Thesis in Hydraulic Engineering. *Khajeh Nasir al-Din Tusi Univ Technol*. 2010.
 14. Jabari Khamene A, Rezaei A, Ajami M. Stability and hydrodynamic performance of tidal branches (Case study of Khormousi). *J Marine Sci Technol*. 2017;**84**:8-20.
 15. Azimi A, Dadolahi Sohrab A, Safahieh A, Zolgharnein H, Savari A, Faghiri I. The Study of Heavy Metals (Hg, Cd, Pb and Cu) Levels in Sediments of North-West of Persian Gulf - Imam Khomeini Port. *J Oceanograph*. 2012;**3**(11):33-41.
 16. Vaezi A, Karbasi A, Valikhani Smani A, Heydari M, Fakhraei M, Rahmati A. Zoning, distribution and origin of total petroleum hydrocarbons (TPH) and metal contaminants in Mahshahr estuary sediments, Persian Gulf. *Environ Sci Technol*. 2014;**16**:1-19.
 17. MOOPAM. Manual of oceanographic observations and pollutants analysis methods (Fourth Edition). The Regional Organisation for the Protection of the Marine Environment (ROPME), Kuwait. 2010.
 18. Glasby GP, Szefer P. Marine pollution in Gdansk Bay, Puck Bay and the Vistula Lagoon, Poland: An overview. *Sci Total Environ*. 1998;**919**:22-62. doi: 10.1016/S0048-9697(97)00333-1
 19. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. *Water Res J*. 1980;**14**(8):975-1001. doi: 10.1016/0043-1354(80)90143-8
 20. Liu G, Yu Y, Hou J, Xue W, Liu X, Liu Y. An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. *Ecol Indicator*. 2014;**47**:210-218. doi: 10.1016/j.ecolind.2014.04.040
 21. Vane CH, Turner GH, Chenery SR, Richardson M, Cave MC, Terrington R, et al. Trends in heavy metals, polychlorinated biphenyls and toxicity from sediment cores of the inner River Thames estuary, London, UK. *Environ Sci Process Impacts*. 2020;**22**(2):364-380. doi: 10.1039/c9em00430k pmid: 31942891
 22. Huang L, Rad S, Xu L, Gui L, Song X, Li Y, et al. Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in Huixian Wetland, South China. *Water Res J*. 2020;**12**:431-445. doi: 10.3390/w12020431
 23. Wojciechowska E, Nawrot N, Walkusz-Miotk J, Matej-Lukowicz Pazdro K. Heavy Metals in Sediments of Urban Streams: Contamination and Health Risk Assessment of Influencing Factors. *Sustainability*. 2019;**11**:563-577. doi: 10.3390/su11030563
 24. Qeshlaqi A, Rostami S. Contamination and fractionation of heavy metals in bedload sediments of the Siahrood River (Qaem-Shar area-Mazandaran Province). *J Stratigraph Sedimentol Res*. 2016;**32**(2):73-90.
 25. Absia S, Ghanmi K, Nikpour Y. Investigation of distribution of copper, iron and lead compounds in surface sediments of Khormosi by sequential extraction method. *J Oceanograph*. 2019;**10**:132-134. doi: 10.52547/joc.10.40.123
 26. Manuchehri H, Nekouyan AR, Valinassab TS, Majedi M. The impact of petrochemical activity (PETZONE) on metal concentration (Cd & Pb) in water, sediments and macrobenthic fauna of Zangi Creek (Branch of Moosa Creek in Persian Gulf). *Fisher J*. 2008;**2**:1-13.
 27. Taghizadeh F, Sadrinasab M, Ka'bi A. Investigation of tidal currents in Musa's esox. *J Maritime Transport Indust*. 2014;**2**:23-28.
 28. Bastami KD, Neyestani MR, Shemirani F, Soltani F, Haghparast S, Akbari A. Heavy metal pollution assessment in relation to sediment properties in the coastal sediments of the southern Caspian Sea. *Mar*

- Pollut Bull.* 2015;**92**(1-2):237-243. doi: [10.1016/j.marpolbul.2014.12.035](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.12.035) pmid: 25583242
29. Pourang N, Nikouyan A, Dennis JH. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. *Environ Monit Assess.* 2005;**109**(1-3):293-316. doi: [10.1007/s10661-005-6287-9](https://doi.org/10.1007/s10661-005-6287-9) pmid: 16240204
30. Mohammadi Golangesh M, Sanati AM, Bozorgpanah Z. Investigation of Total Petroleum Hydrocarbons and Indicator Metals (Nickel and Vanadium) in Gammaros and Coastal Sediments of the Caspian Sea, Guilan Province. *J Aquatic Ecol.* 2018;**7**:9-19.
31. Babadi S, Safahieh AR, Nabavi SMB, Ghanemi K, Rounagh MT. Assessment of Mercury Accumulation in Surficial Sediments of Musa Estuary (Khuzestan Province, Persian Gulf). *J Oceanograph.* 2015;**6**(21):19-26.
32. Mori Bazofti H, Safahieh A, Mohamad Bagher Nabavi S, Ghanemi K. The evaluation of mercury contamination in the sediments of intertidal creeks of Mahshahr. 2017;**70**:699-708.
33. Goudarzi M, Esmaili-Sari A, Sadatipour M, Pouri GH. Measuring mercury levels in sediment due to Chloralkali industry Bandar Imam. 07 th International Congress on Civil Engineering, Tehran, Iran. (in Persian)2006.
34. Faqyani A, Mirza R, Abu Ali S, Jafari S. Evaluation of the quality of sediments of Musa esx to toxic metal contamination of mercury. 13th Marine Industries Conference2011.
35. Tomlinson D, Wilson J, Harris C, Jeffrey D. Problems in the assessment of heavy metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgol Marine Res.* 1980;**33**(1):566-575. doi: [10.1007/BF02414780](https://doi.org/10.1007/BF02414780)
36. Janadeleh H, Jajangiri S. Risk Assessment and Heavy Metal Contamination in Fish (*Otolithes ruber*) and Sediments in Persian Gulf. *J Communit Health Res.* 2016;**5**(3):169-181.
37. Parvaneh M, Khaivar N, Nikpour Y, Nabavi S. Heavy metals (Hg, Cd, Pb, Ni, Cu) concentrations in *Euryglossa orientalis* and sediments from Khur-e-Musa Creek in Khuzestan Province. *Iran Fisher Sci Res Institute.* 2011;**20**(2):17-26.
38. Vaezi A, Karbassi A, Fakhraee M, Valikhani Samani A, Heidari M. Assessment of Sources and Concentration of Metal Contaminants in Marine Sediments of Musa Estuary, Persian Gulf. *J Environ Stud.* 2014;**40**:345-360.
39. Mohammadi Roozbahani M, Sobhan Ardakani S, Mashalpour Fard R. Correlation between aluminum, zinc and lead accumulation in sediments with macrobenthos in Khormosi. *J Wetland Ecobiol.* 2017;**9**:17-28.
40. Pejman AH, Nabi Bidhendi GR, Ardestani M, Saeeidi M, Baghvand A, Moradi SH. Assessment of Mineralogical Composition and Heavy Metal Pollution in the Surface Sediment of North West Persian Gulf. *Int J Environ Res.* 2014;**8**(4):1067-1074.
41. El Tokhi M, Amin BM, Alaabed SA. Environmental Assessment of Heavy Metals Contamination of Bottom Sediments of Oman Gulf, United Arab Emirates. *J Pollut Effect Control Peer Rev J.* 2017;**5**:203-211.
42. Zarezadeh R, Rezaee P, Lak R, Masoodi M, Ghorbani M. Distribution and Accumulation of Heavy Metals in Sediments of the Northern Part of Mangrove in Hara Biosphere Reserve, Qeshm Island (Persian Gulf). *Soil Water Res.* 2017;**12**(2):86-95. doi: [10.17221/16/2016-SWR](https://doi.org/10.17221/16/2016-SWR)
43. Silva Y, Cantalice J, Singh V, Nascimento C, Wilcox B, Silva Y. Heavy metal concentrations and ecological risk assessment of the suspended sediments of a multi-contaminated Brazilian watershed. *Acta Sci.* 2019;**41**:42620-42630. doi: [10.4025/actasciagron.v41i1.42620](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42620)
44. Buchman MF. NOAA screening quick reference tables, NOAA OR and R report 8-1, seattle WA, office of response and restoration division national oceanic and atmospheric administration2008.
45. MacDonald DD. Development and applications of sediment quality criteria for managing contaminated sediment in British Columbia. United States Geological Survey2003. 112 p.
46. ROPME. Manual of oceanographic observation and pollutant analysis methods (MOOPAM). Regional Organization for the Protection of the Marine Environment, Kuwait.1999.
47. Haghshenas A, Hatamimanesh M, Mirzaii M, Mirsanjari M, Hosein khezri P. Measurement and evaluation of ecological risk of heavy metals in surface sediments of Pars Energy Special Economic Zone. *Iran South Med J.* 2017;**20**:448-469.
48. Gurumoorthi K, Venkatachalapathy R. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, Southern India. *Pollut.* 2016;**2**(3):269-287.
49. CCREM (Canadian Council of Resource and Environment Ministers). Canadian water quality guidelines prepared by the task force on water quality guidelines1999.
50. European Union (EU). Heavy metals in wastes. European Commission on Environment 2002. Available from: <http://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/heavymetalsreport.pdf>
51. Faghiri I, Roozbeh M, Abu Ali S, Jafari S. Evaluation of the quality of Khormousi sediments in relation to mercury toxic metal pollution, 13th National Conference of Marine Industries of Iran, Kish Island, Iranian Marine Engineering Association. 2011.

Vaziri, B. Department of Environment, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
vaziri.bahaareh@gmail.com

Hakimi Abed, M. Department of Environment, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
hakimimah@gmail.com

Nabavi, SMB. Department of Marine Biology, Faculty of Marine Sciences, Maritime Science and Technology University, Khorramshahr, Iran
nabavishiba@yahoo.com

Shariat Feizabad, F. Department of Environment, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
shariat_20@yahoo.com

HOW TO CITE THIS ARTICLE



Citation (Vancouver) Vaziri B, Hakimi Abed M, Nabavi SMB, Shariat Feizabad F. Evaluation of Heavy Metal Contamination in Surface Sediments of Musa estuary (Northwest Persian Gulf). *J Oceanography*. 2021; 12(45): 99-112.

 <http://doi.org/10.52547/joc.12.45.99>

 <http://joc.inio.ac.ir/article-1-1600-fa.html>

 <https://orcid.org/0000-0002-8311-5238>

COPYRIGHTS



©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.