ارزیابی ریسک اکولوژیکی عناصر سنگین (کادمیوم، نیکل، سرب و جیوه) در آب و رسوبات سطحی بندر هندیجان

احمدرضا افضلی[۱]
محبوبه چراغی[۲*]

۱، ۲. گروه محیطزیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

*مسئول مکاتبات:
mahboobeh_cheraghi_env@yahoo.com

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۲۰۹۲۸
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵
این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

در این تحقیق با نمونه‌برداری از آب و رسوب از سواحل بندر هندیجان، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، سرب و جیوه تعیین و شاخص‌های ژئوشیمیایی مولر، ضریب غنی‌شدگی، شاخص آلودگی، شاخص بار آلودگی و ریسک خطر اکولوژیکی این فلزات تعیین شد. این مطالعه در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹ انجام شد. ۱۰ ایستگاه انتخاب شد. سپس در هر ایستگاه ۳ نمونه آب و ۳ نمونه رسوب سطحی (به‌صورت هم‌زمان در هر ایستگاه) جمع‌آوری شد. بیشترین میانگین غلظت فلزات در آب به ترتیب نیکل، سرب، کادمیوم و جیوه و در رسوب به ترتیب نیکل، سرب، جیوه و کادمیوم بود. مقادیر mcd در رسوب برای کادمیوم متوسط (۲/۴۶) و در آب نیکل متوسط بود (۲/۵۴). مقادیر EF نشان داد که در آب و رسوب، کادمیوم در سطح به‌شدت زیاد قرار دارد. بر اساس شاخص Er و RI کادمیوم در آب و رسوب در سطح خطر قابل‌ملاحظه است و نیز جیوه در آب در سطح متوسط قرار دارد. نتایج نشان می‌دهد که کادمیوم فلزی است که در منطقه ایجاد آلودگی کرده است. فلزات جیوه و نیکل نیز خطراتی را ایجاد می‌نمایند و سرب در رسوب ایجاد خطر می‌کند. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کیفیت زیست‌محیطی، در تمامی نقاط نمونه‌برداری، در زمره مناطق آلوده محسوب می‌شود. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود که پهنه‌بندی فلزات سنگین آب و رسوب در بندر هندیجان انجام شود و مقادیر میانگین زمینه فلزات مختلف تعیین شود تا بتوان با دقت بیشتری آلایندگی فلزات در منطقه را بررسی نمود.

واژگان کلیدی: شاخص‌های ژئوشیمیایی. پساب‌های صنعتی. فلزات سنگین. هندیجان.

مقدمه

آلاینده‌های رسوبات به‌ویژه فلزات سنگین امکان ایجاد اثرات مستقیم بر روی ارگانیسم‌های ساکن رسوب رادارند و می‌توانند به‌طور غیرمستقیم بر روی انسان و سایر حیوانات تأثیر منفی بگذارد (El-Alfy *et al.*, 2020). در دهه‌های اخیر آلودگی خاک و اثرات آن بر انسان و محیطزیست افزایش چشمگیری داشته است (جویباری و همکاران،۱۴۰۱). افزایش فلزات سنگین در اشکال مختلف باعث تخریب محیطزیست می‌شوند. فعالیت‌های انسانی موجب افزایش غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی گردیده است که همواره در مناطقی با سطوح بالای فعالیت‌های صنعتی و شهری، غلظت‌های بسیار زیاد این آلاینده‌ها در رسوبات افزایش می‌یابد (Kanat *et al.*, 2018). رسوبات بستر زیستگاه‌ها و منبع غذایی موجودات آبزی را تشکیل می‌دهند. مسئله آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی این محیط‌ها به دلیل اثرات سمی آن‌ها، توانایی تجمع در بافت موجودات آبزی و غیرقابل تجزیه بودن آلودگی اکوسیستم‌های آبی به‌عنوان یک موضوع اساسی موردبحث و توجه بیشتری قرارگرفته است (هدایت زاده و همکاران،۱۳۹۹). بسیاری از مطالعات نشان داده است که فلزات سنگینی که در رسوبات تجمع می‌کنند نه‌تنها ممکن است محیطزیست را آلوده کنند، بلکه وارد زنجیره غذایی می‌شود و تأثیرات بلندمدتی بر سلامت انسان دارد (Pradit *et al.*, 2022). امروزه آلودگی

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

رسوبات به‌عنوان یکی از وخیم‌ترین مشکلات بوم سامانه‌های مصبی مطرح‌شده است (Li *et al*., 2019). مطالعات تائید کرده‌اند که فلزات سنگین و متالوئیدها در آب، رسوبات، موجودات آبزی و ماکروفیت‌ها وجود دارند (Qin and Tao, 2022).

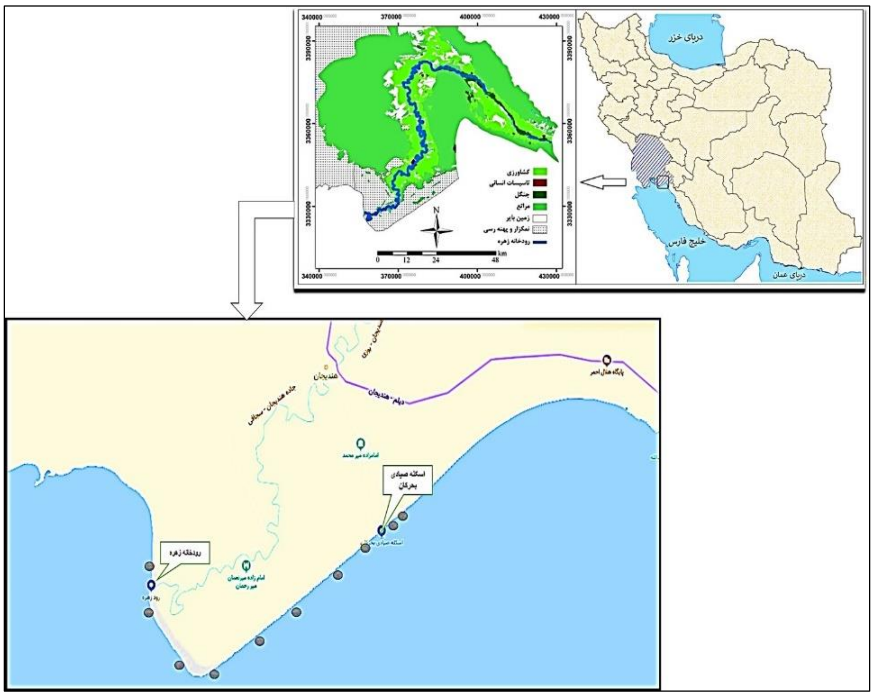
جهت تعیین منشأ فلزات در محیط‌زیست، می‌بایست علاوه بر تعیین غلظت کلی فلزات نسبت‌های حضور آن‌ها در بخش‌های گوناگون ژئوشیمیایی رسوبات (پایدار و ناپایدار) نیز سنجیده شوند (Karbassi *et al*., 2008). شاخص‌های ارزیابی فلزی مختلفی برای بررسی کیفیت رسوب و خاک توسعه داده‌شده است. برای ارزیابی آلودگی فلزی، اندیس ضریب انباشت (Igeo) فاکتور غنی‌شدگی و درجه آلودگی (Cd) با استفاده از مقدار کل فلزی محاسبه می‌شوند، فاکتور آلودگی (CF) فاکتور آلودگی یک عنصر منفرد محاسبه می‌شود. فاکتور غنی‌شدگی برای نشان دادن سطح نسبی تجمع در یک پروفیل خاک استفاده می‌شود که می‌تواند به مقدار زیادی تأثیر منفی بافت خاک بر نتایج ارزیابی را کاهش دهد. فاکتور ریسک اکولوژیک که مبین فاکتور سمیت یک ماده است، مقدار عددی را برای ترکیب ریسک آلودگی با سیستم اکولوژیکی فراهم می‌کند. ارزیابی ریسک اکولوژیک را به‌عنوان فرایندی برای ارزیابی احتمال رویداد اثرات اکولوژیکی مضر به‌صورت نتیجه‌ای از در معرض محرک بودن تعریف کرد. هدف از ارزیابی ریسک اکولوژیک ارزیابی اثرات اکولوژیکی فعالیت‌های انسان برای حفاظت و مدیریت محیط‌زیست است (Kanat *et al*., 2018؛ Das Sharma, 2019). نواحی ساحلی یکی از مناطق حساس و شکننده اکوسیستم‌های آبی هستند که می‌توانند به‌شدت تحت تأثیر آلاینده‌های انسانی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشتیرانی، فعالیت‌های ماهیگیری، تخلیه فاضلاب و رواناب شهری و سوخت‌های فسیلی قرار گیرند (هدایت زاده و همکاران، ۱۳۹۹). به دلیل تجمع رسوبات در کف، اکوسیستم‌هایی مثل بنادر سواحل صنعتی به دلیل ورود دائمی فلزات، دارای بیشترین رسوبات آلوده می‌باشند. همچنین با توجه به غلظت بالای فلزات سنگین در رسوبات، عمده تحقیقات صورت گرفته برای ارزیابی این فلزات در فاز رسوبی انجام‌شده است. فلزات پس از ورود به محیط آبی، از طریق فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و یا بیولوژیکی در رسوبات انباشته می‌شوند (کاظمی درسنکی و نعیمی، ۱۴۰۱). نظر به اهمیت شناسایی آسیب‌های فلزات سنگین در محیط‌زیست ضروری است در نواحی ساحلی آلایندگی فلزات سنگین در آب و رسوبات بررسی شود. خلیج‌فارس از جنبه‌های مختلف تجاری مانند ذخایر عظیم نفت و گاز، منابع غذایی، تنوع زیستی و ذخایر عظیم کانی و هم‌جواری با صنایع پالایشگاهی نفت، گاز، فولاد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کاظمی درسنکی و نعیمی، ۱۴۰۱؛ کوسج و همکاران، ۱۴۰۰). بررسی مطالعات انجام‌شده در خصوص آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سواحل خلیج‌فارس نشان داد که بیشتر مطالعات روی رسوب متمرکزشده بود؛ نتایج این مطالعات نشان داد که آلودگی در برخی مناطق بالاتر از استانداردهای تعیین‌شده است (کاظمی درسنکی و نعیمی، ۱۴۰۱). با توجه به اینکه مطالعات درزمینه وضعیت آلایندگی فلزات سنگین در بندر هندیجان بسیار محدود است و بررسی مقالات پژوهشی معتبر نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای درزمینه حضور و اثرات فلزات در آب و رسوبات سطحی در بندر هندیجان انجام‌نشده است ازاین‌رو در این تحقیق با نمونه‌برداری از آب و رسوب از سواحل بندر هندیجان، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، سرب و جیوه تعیین و با شاخص‌های ژئوشیمیایی مولر، ضریب غنی‌شدگی، شاخص آلودگی، شاخص بار آلودگی (PLI)، ارزیابی شد و ریسک خطر اکولوژیکی این فلزات تعیین شد. در ایران مطالعات متعددی در حوزه خلیج‌فارس باهدف تبیین سهم فلزات سنگین در آلودگی این پهنه آبی انجام‌شده است؛ اما تعداد مطالعات سنجش ریسک اکولوژیک انگشت‌شمار است. با در نظر گرفتن جایگاه بندر هندیجان درزمینه صید محصولات آبزیان در منطقه، بررسی فلزات سنگین در منطقه اهمیت دارد.

مواد و روش‌ها

جهت تعیین غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، نیکل، سرب و جیوه) در رسوبات سطحی و آب در بندر هندیجان، پس از بازدید از منطقه، ۱۰ ایستگاه در نقاط مختلف (برای مثال ورودی فاضلاب، محل تردد لنج‌ها و قایق‌ها و ....) انتخاب شد (شکل ۱). سپس در هر ایستگاه ۳ نمونه آب و ۳ نمونه

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

رسوب سطحی (به‌صورت هم‌زمان در هر ایستگاه) جمع‌آوری شد. این مطالعه در فروردین‌ماه سال ۱۳۹۹ انجام شد. نمونه‌های جمع‌آوری‌شده در شرایط استاندارد به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از استاندارد American Society for Testing and Materials شماره D2488 با استفاده از گرب (Ekerman grab) با سطح مقطع ۲۲۵ سانتی‌متر از ۳۰ سانتی‌متری بستر و در هر ایستگاه با تکرار ۳ انجام شد. نمونه‌های رسوب در بطری‌هایی که از قبل با محلول آب مقطر و اسید نیتریک ۱۰ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) استریل شده بودند به آزمایشگاه منتقل شدند. برای تعیین فلزات از دستگاه ICP-OES استفاده شد (Pradit *et al*., 2022).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در بندر هندیجان (سال ۱۳۹۹).

در مطالعات متعددی از شاخص‌های ژئوشیمیایی نظیر درجه آلودگی عناصر (CF) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) ضریب بار آلودگی (PLI) برای تعیین شدت و درجه آلودگی و پیش‌بینی منابع ایجادکننده آلودگی و روند تغییرات آن استفاده‌شده است (Qin and Tao, 2022؛ Manno *et al*., 2006؛ Abrahim and Parker, 2008؛ Adomako *et al*., 2008؛ Qishlag *et al*., 2007؛ Thomilson *et al*., 1980؛ Muller, 1979). ضریب آلودگی بیانگر میزان آلودگی نمونه به فلزات است. PLI بالا نشان‌دهنده بار آلودگی نمونه‌ها است (Adomako *et al*., 2008). درجه آلودگی (Cd) برای ارزیابی شدت آلودگی کلی محیط به کار می‌رود. در مطالعات مختلف برای محاسبه شاخص‌های ژئوشیمیایی، مقادیر محاسبه‌شده از مطالعات پیشین را به‌عنوان مقادیر زمینه انتخاب می‌کنند. در بعضی از مطالعات هم از غلظت فلزات در پوسته زمین به‌عنوان مقادیر زمینه استفاده‌شده است. در ایران اطلاعات پیشین از عناصر محدود است. از مقادیر پیشنهادی Hakanson (۱۹۸۰) به‌عنوان مقدار زمینه برای محاسبه شاخص‌ها استفاده شد.

ارزیابی پتانسیل خطر بوم‌شناختی این شاخص اولین بار توسط Hakanson (۱۹۸۰) برای بررسی آلودگی رسوبات معرفی گردید. در این روش در مرحله نخست غلظت فلز در نمونه نسبت به غلظت زمینه سنجیده می‌شود. درواقع مزیت این روش در مقایسه با میزان غنی‌شدگی این است که با

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

استفاده از شاخص خطر بوم‌شناختی بالقوه (RI) خطرات ناشی از فلزات سنگین علاوه بر یک فلز، در یک نمونه و منطقه نمونه‌برداری تخمین‌زده می‌شود. RI میزان حساسیت جوامع زیست‌شناختی به مواد سمی و ریسک بوم‌شناختی بالقوه ناشی از فلزات سنگین را نشان می‌دهد. با استفاده از این دو شاخص می‌توان خطر بوم‌شناختی یک فلز و منطقه نمونه‌برداری را محاسبه کرد. برای تعیین شاخص‌های ژئوشیمیایی از رابطه‌های زیر استفاده شد (Maanan *et al*., 2018؛ Hakanson,1980؛ Abrahim and Parker, 2008؛ Muller, 1979) و طیف تغییرات در جدول ۱ و ۲ آمده است.

رابطه ۱: $CF = C_{نمونه} / C_{زمینه}$

CF= فاکتور آلودگی.

$C_{نمونه}$ = غلظت عنصر موردنظر در نمونه.

$C_{زمینه}$= غلظت عنصر زمینه در نمونه مرجع.

رابطه ۲: $Cdeg = \Sigma\ Cf$

رابطه ۳: $mCd = \sum_i^n Cf/n$

رابطه ۴: $PLI = (CF_1 \times CF_2 \times ... \times CF_n)^{1/n}$

جدول ۱: طیف تغییرات شاخص های مورد مطالعه.

رده آلودگی	عامل آلودگی	درجه آلودگی	درجه آلودگی	اصلاح‌شده		
آلودگی کم	CF< ۱	Cdge<۷	فاقد آلودگی تا درجه پایینی از آلودگی	$mC_d < ۱/۵$	کیفیت خوب نمونه منطقه	PLI <۱
آلودگی متوسط	۱ < CF ≤۳	۷ ≤ Cdeg < ۱۴	درجه پایین آلودگی	$۱/۵ \leq mC_d < ۲$	آلودگی نزدیک به زمینه	PLI =۱
آلودگی زیاد	۳ < CF ≤۶	۱۴ ≤ Cdeg < ۲۸	درجه متوسط آلودگی	$۲ \leq mC_d < ٤$	کیفیت نامناسب	PLI >۱
شدیداً آلوده	CF ≥ ۶	Cdeg ≥ ۲۸	درجه بالای آلودگی	$۸ \leq mC_d < ۱٦$	–	–
–	–	–	آلودگی فوق‌العاده زیاد	$۱٦ \leq mC_d < ۳۲$	–	–
–	–	–	آلودگی بی‌نهایت زیاد	m Cd ≥ ۳۲	–	–

رابطه ۵: $EF= (C_{nx}/B_{nx})/(C_{ny}/B_{ny})$

EF: فاکتور تجمع.

C_{nx}: غلظت عنصر در نمونه.

B_{nx}: غلظت آهن در منطقه موردمطالعه.

C_{ny}: غلظت عنصر در پوسته زمین.

B_{ny}: غلظت آهن در پوسته زمین.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

جدول ۲: طیف تغییرات شاخص EF.

تجمع کم	EF<۲
تجمع متوسط	۲≤EF<۵
تجمع قابل‌ملاحظه	۵≤EF<۲۰
تجمع خیلی زیاد	۲۰≤EF<٤۰
تجمع بسیار زیاد	EF≥٤۰

برای به دست آوردن ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین از رابطه‌های زیر استفاده شد (Hakanson,1980).

رابطه ۶: $Ei = Tr * Cf$

رابطه ۷: $RI = \sum_i^n Ei$

Ei = ریسک اکولوژیکی هر عنصر و RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر و Tr شاخص سمی بودن فلزات سنگین را نشان می‌دهد. Hakanson (۱۹۸۰) برای مقدار Tr فلزات سنگین کبالت= مس= نیکل= سرب=۵ و روی=۱ و کادمیوم=۳۰ را ارائه کرد. طیف مقادیر این دو شاخص در جدول ۳ ارائه‌شده است (Xu et al., 2015).

جدول ۳: درجات پتانسیل ریسک بالقوه (Ei , RI).

Ei	Ecological Risk Grade	RI	Ecological Risk Grade
Ei < 15	Low	RI < 50	Low
15 ≤ Ei < 30	Moderate	50 ≤ RI < 100	Moderate
30 ≤ Ei < 60	Considerable	100 ≤ RI < 200	Considerable
60 ≤ Ei < 120	High	200 ≤ Ei	High
120 ≤ Ei	Very high		

Ei, The ecological risk factor of metal i; RI, the ecological risk index

نتایج

محدوده تغییرات غلظت (حداقل و حداکثر غلظت) فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم در جدول ۴ و در آب در جدول ۵ ارائه‌شده است. غلظت نیکل در آب و رسوب بیشتر از دیگر عناصر موردمطالعه بود و به ترتیب سرب، کادمیوم و جیوه در رده‌های بعدی قرار داشتند.

جدول ۴: میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب در ایستگاه‌های موردبررسی در بندر هندیجان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (سال ۱۳۹۹).

	سرب	نیکل	جیوه	کادمیوم
ایستگاه ۱	۸/۸۹	۱۹/۹۳	۰/۰۱۹	۰/۵
ایستگاه ۲	۹/۳۳	۲۱/۶۷	۰/۰۴۹	۰/۶۰۳
ایستگاه ۳	۹/۰۹	۱۸/۰۲	۰/۰۳۲	۰/۳۸۹
ایستگاه ۴	۱۰/۰۹	۲۱/۵۷	۰/۰۲۹	۰/۳۹

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

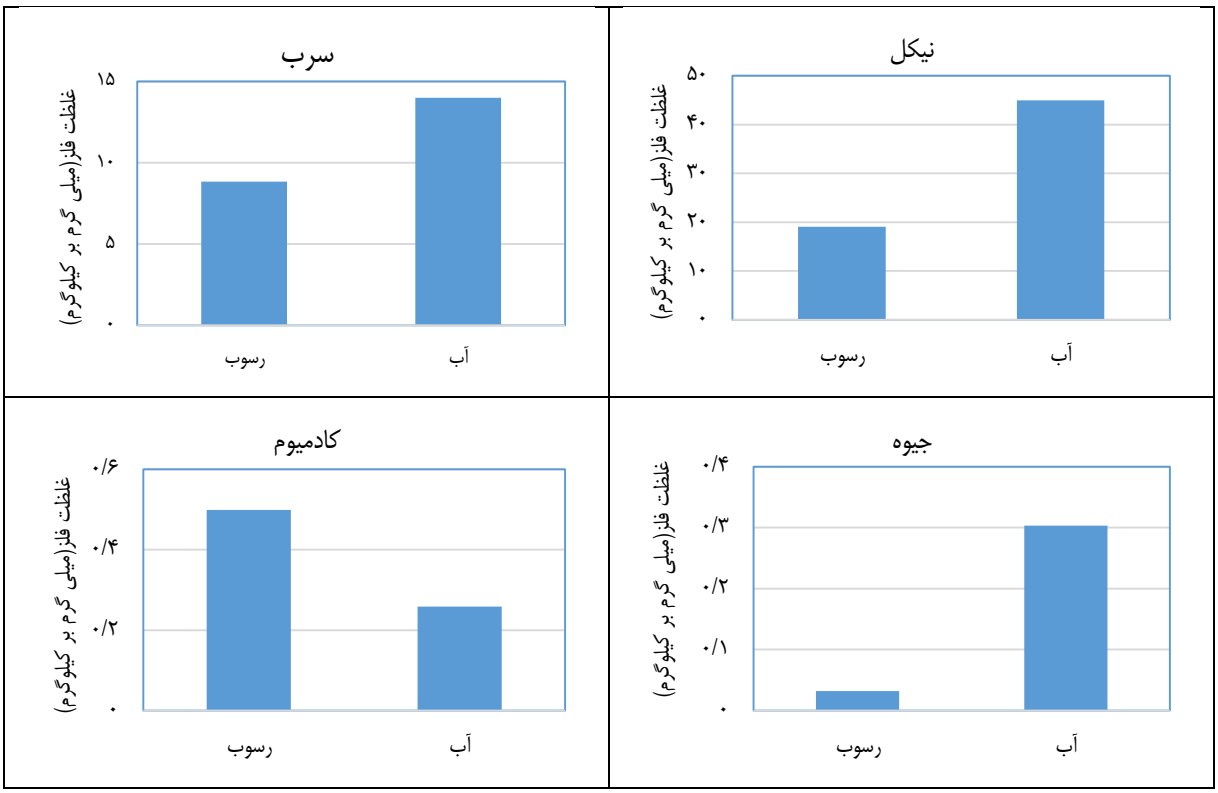
	سرب	نیکل	جیوه	کادمیوم
ایستگاه ۵	۸/۳۳	۲۰/۶۷	۰/۰۳۰۵	۰/۵۱۳
ایستگاه ۶	۷/۹۹	۱۶/۵۷	۰/۰۲۹	۰/۵۲
ایستگاه ۷	۸/۳۴	۱۸/۳۳	۰/۰۴۲	۰/۴۹۹
ایستگاه ۸	۹/۱۲	۱۷/۶۶	۰/۰۳۸	۰/۵۷۷
ایستگاه ۹	۸/۰۵	۱۹/۰۱	۰/۰۱۵	۰/۳۹۹
ایستگاه ۱۰	۹/۰۵	۱۶/۹۸	۰/۰۳۶	۰/۵۹۹
میانگین	۸/۸۲۸	۱۹/۰۴۱	۰/۰۳۱	۰/۴۹۸
انحراف معیار	۰/۶۵	۱/۸۴	۰/۰۱	۰/۰۸۲
واریانس	۰/۳۹	۳/۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۶
بیشترین	۱۰/۰۹	۲۱/۶۷	۰/۰۴۹	۰/۶۰۳
کمترین	۷/۹۹	۱۶/۵۷	۰/۰۱۵	۰/۳۸۹
میانه	۸/۹۷	۱۸/۶۷	۰/۰۳۱	۰/۵۰۶

جدول ۵: میانگین غلظت فلزات سنگین در آب در ایستگاه‌های موردبررسی در بندر هندیجان (میلی‌گرم بر کیلوگرم) (سال ۱۳۹۹).

	سرب	نیکل	جیوه	کادمیوم
ایستگاه ۱	۱۲/۶۶	۴۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۱۷
ایستگاه ۲	۱۲/۵۹	۳۸/۹۹	۰/۳	۰/۲۲
ایستگاه ۳	۱۱/۹۸	۳۹/۸۷	۰/۲۹	۰/۱۹
ایستگاه ۴	۱۲/۸۶	۴۰/۵	۰/۳۲	۰/۱۸
ایستگاه ۵	۱۶/۹۹	۴۷/۸	۰/۳۳	۰/۲۷
ایستگاه ۶	۱۵/۶۳	۴۲/۳۳	۰/۳۶	۰/۲۹
ایستگاه ۷	۱۴/۰۴	۴۹/۰۱	۰/۲۴	۰/۲۹
ایستگاه ۸	۱۵/۳۹	۴۹/۳	۰/۳۷	۰/۳۴
ایستگاه ۹	۱۱/۹۸	۴۸/۴۴	۰/۳۲	۰/۲۸
ایستگاه ۱۰	۱۵/۸۱	۵۳/۲۱	۰/۳۳	۰/۳۶
میانگین	۱۳/۹۹۳	۴۴/۹۴	۰/۳۰۳	۰/۲۵۹
انحراف معیار	۱/۸۲	۱/۸۴	۰/۰۴	۰/۰۸
واریانس	۳/۰۰۵	۳/۳۹	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶
بیشترین	۱۶/۹۹	۵۳/۲۱	۰/۳۷	۰/۳۶
کمترین	۱۱/۹۸	۳۸/۹۹	۰/۱۷	۰/۱۷
میانه	۱۳/۴۵	۴۵/۰۶	۰/۳۲	۰/۲۷۵

در شکل ۲ میانگین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب و آب نشان داده‌شده است. غلظت نیکل، سرب و جیوه در آب بیشتر از رسوب بود و غلظت کادمیوم در رسوب بالاتر از آب بود.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]



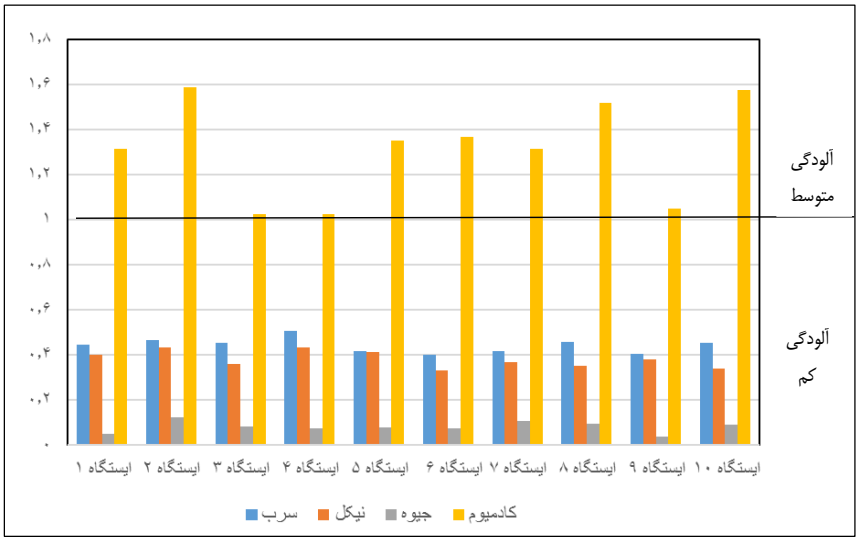
شکل ۲: میانگین غلظت فلزات سرب، جیوه، کادمیوم و نیکل در نمونه‌های رسوب و آب در نقاط موردمطالعه در هندیجان (سال ۱۳۹۹).

در شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب مقادیر به‌دست‌آمده شاخص CF در رسوب و آب نشان داده‌شده است. شاخص توصیف‌کننده آلودگی در نمونه‌های رسوب نشان داد که آلودگی کادمیوم در سطح متوسط بود (شکل ۳) و در نمونه‌های آب‌نیکل در سطح متوسط است (شکل ۴). مقایسه سطوح برآورده شده شاخص CF در نمونه‌های آب و رسوب نشان می‌دهد که مقادیر شاخص در آب بیشتر است بااین‌وجود سطح آلودگی در حد کم و متوسط برآورد شد.

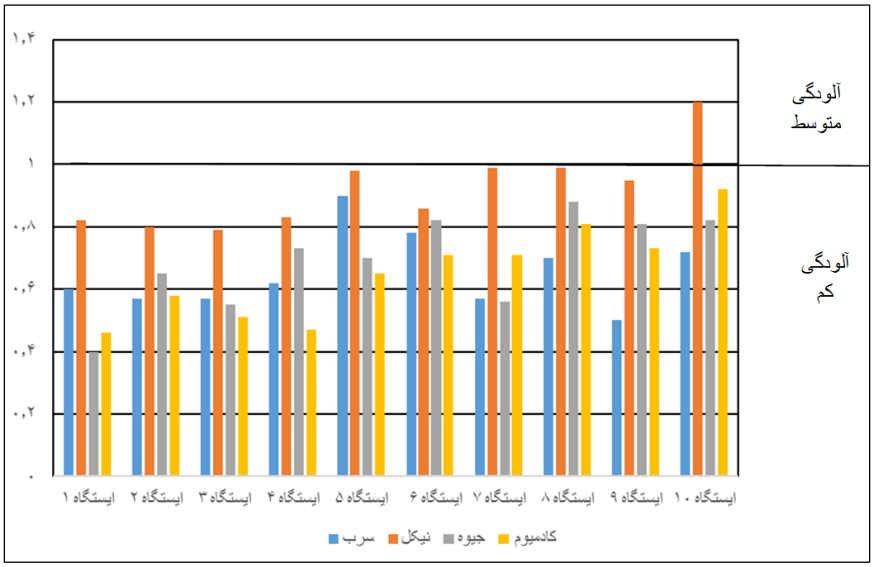
مقادیر شاخص درجه آلودگی Cdeg در نمونه‌های آب و رسوب نشان داد که رده‌بندی شاخص در تمام ایستگاه‌ها برای همگی فلزات موردمطالعه در نمونه‌های آب و رسوب در سطح پایین است.

شاخص mCd این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان تعداد متنوعی از فلزات سنگین را بدون محدودیت بررسی کرد. مقادیر رده‌بندی mCd فلزات سنگین موردمطالعه در نمونه‌های رسوب و آب در شکل ۵ نشان داده‌شده است. در نمونه‌های آب فلزات جیوه، سرب و کادمیوم سطح شاخص درجه آلودگی پایین و نیکل درجه متوسط آلودگی بود و در نمونه‌های رسوب سطح شاخص در همگی فلزات در حد متوسط بود (شکل ۵). همان‌طور که مقادیر شاخص mCd نشان می‌دهد در نمونه‌های آب‌نیکل آلایندگی بیشتر ایجاد می‌کند (شکل ۵). نتایج شاخص بار آلودگی PLIنشان داد که در نمونه‌های رسوب فلزات غیر آلوده و در نمونه‌های آب آلاینده است.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

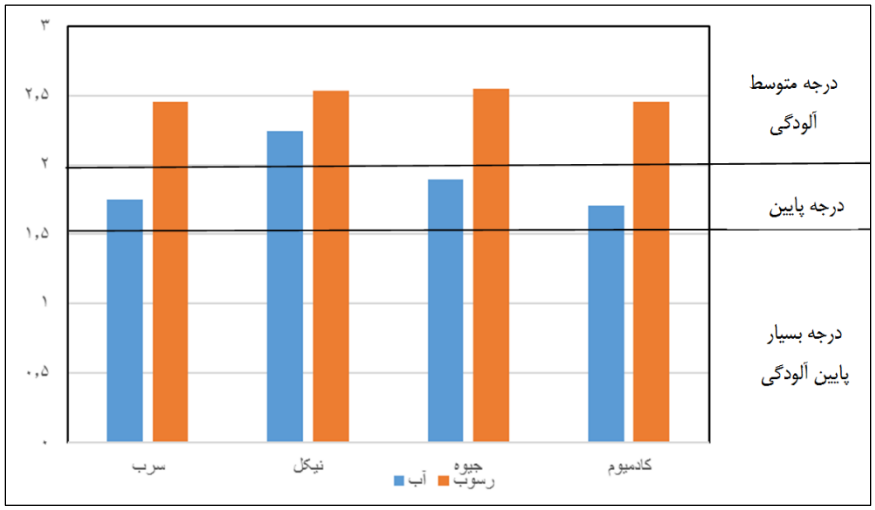


شکل ۳: مقادیر شاخص CF فلزات سنگین موردمطالعه در نمونه‌های رسوب هندیجان (سال ۱۳۹۹).



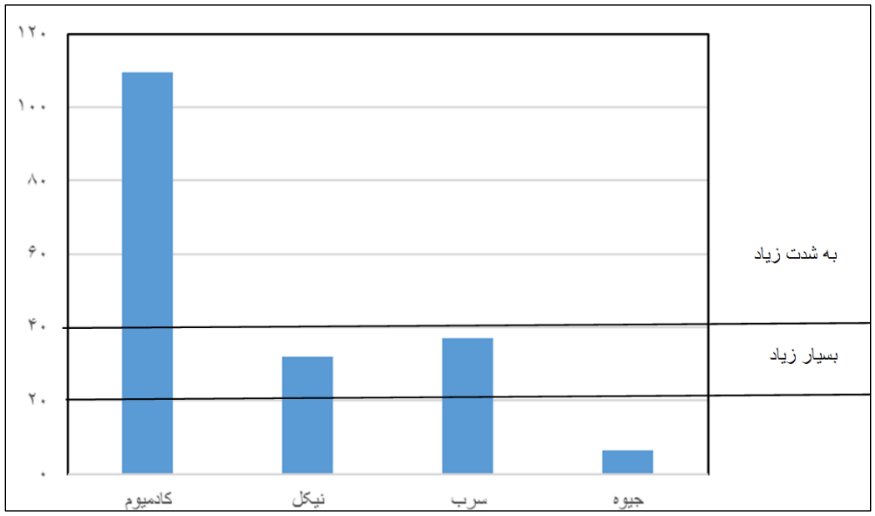
شکل ۴: مقادیر شاخص CF فلزات سنگین موردمطالعه در نمونه‌های آب هندیجان (سال ۱۳۹۹).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]



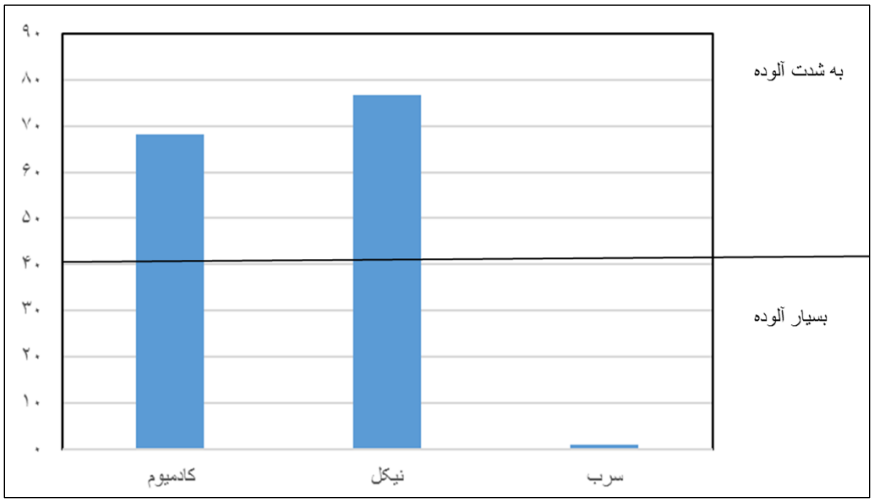
شکل ۵: مقادیر شاخص mCd فلزات سنگین موردمطالعه در نمونه‌های رسوب و آب در هندیجان (سال ۱۳۹۹).

در بسیاری از مطالعات برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی فلزات، فلز نرمالیزکننده، از فلزات آهن و آلومینیوم که کمترین سطح آلودگی انسانی رادارند به‌عنوان نرمالیزه کننده استفاده‌شده است. در این مطالعه از عنصر آهن برای جداسازی مؤلفه انسانی از طبیعی استفاده شد. در شکل‌های ۶ و ۷ میانگین مقادیر شاخص EF فلزات سنگین به ترتیب در نمونه‌های رسوب و آب نشان داده‌شده است. در نمونه‌های رسوب، غنی‌شدگی کادمیوم و سرب در سطح به‌شدت زیاد، نیکل در سطح بسیار زیاد و جیوه در سطح زیاد بود. در نمونه‌های آب غنی‌شدگی کادمیوم و نیکل به‌شدت زیاد و سرب کم بود. در شکل جیوه نشان داده نشده است زیرا مقدار به‌دست‌آمده در مقایسه با مقادیر مرتبط با سرب و نیکل و کادمیوم در حد بسیار بالایی قرار داشت.



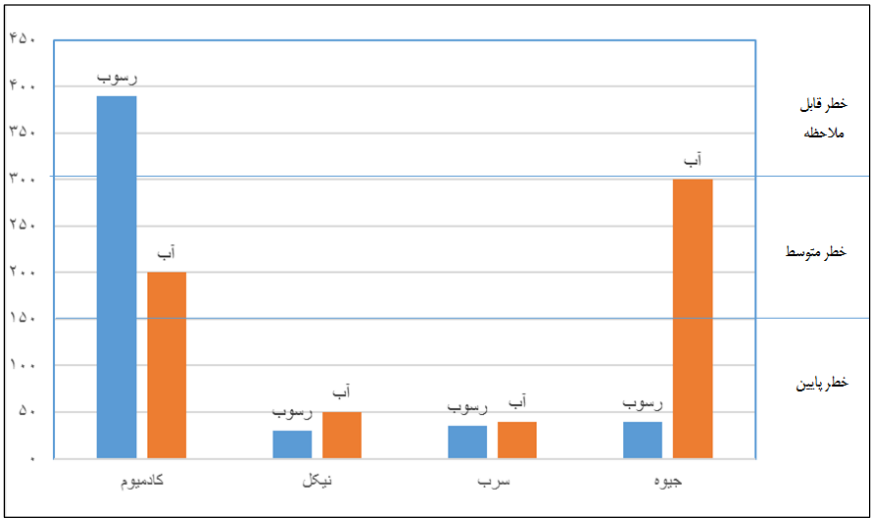
شکل ۶: میانگین مقادیر EF و سطوح رده‌بندی این شاخص در نمونه‌های رسوب در هندیجان (سال ۱۳۹۹).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]



شکل ۷: میانگین مقادیر EF و سطوح رده‌بندی این شاخص در نمونه‌های آب در هندیجان (سال ۱۳۹۹).

مقادیر شاخص Er فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب نشان داده نشان داد که وجود فلزات نیکل و سرب و جیوه در آب و رسوب در ایستگاه‌های موردمطالعه خطر پایینی دارد و آلایندگی فلز کادمیوم در نمونه‌های رسوب در حد متوسط بود. نتایج شاخص خطر IR فلزات سنگین در ایستگاه‌های موردمطالعه در شکل ۸ ارائه‌شده است. نتایج ارزیابی خطر اکولوژیکی و محیط زیستی فلزات سنگین کادمیوم، جیوه، نیکل و سرب در نمونه‌های آب و رسوب در ایستگاه‌های موردمطالعه در بندر هندیجان نشان داد که کادمیوم در رسوب در حد قابل‌ملاحظه و در آب در حد متوسط خطر ایجاد می‌نماید و خطر نیکل و سرب در آب و رسوب پایین است و خطر جیوه در رسوب پایین و آب در حد متوسط تا قابل‌ملاحظه‌ای است (شکل ۸).



شکل ۸: مقادیر و سطوح شاخص RI فلزات سنگین موردمطالعه در بندر هندیجان (سال ۱۳۹۹).

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت آثار تخریبی فلزات سنگین و آلاینده‌های نفتی درتهدید حیات زیست‌شناختی موجودات ساکن و متأثر از پیکره‌های آبی، بررسی و پایش وضعیت کیفی رسوبات سواحل، دریاها و اقیانوس‌ها همواره از اهم ملاحظات زیست‌محیطی مرتبط محسوب می‌شود. تصفیه شیمیایی فلزات سنگین در محیط‌های طبیعی دشوار است و این فلزات در سه مخزن رسوب، آب و موجودات زنده تجمع می‌یابند، از بین این سه مخزن، ظرفیت ذخیره‌سازی فلزات سنگین در رسوبات محیط‌های آبی بالاتر است (Hossain *et al*., 2021). مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات محیط‌های ساحلی، آبی و بستر دریاها می‌تواند گام مؤثری برای یافتن منشأ رسوبات و الگوی پراکنش عناصر و ارزیابی زیست‌محیطی وضعیت آلاینده‌ها برای مدت موجود در یک منطقه باشد؛ بنابراین اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین می‌تواند تصویر واقعی از آلودگی‌های یک محیط را فراهم سازد (کاظمی درسنکی و نعیمی، ۱۴۰۱). اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست‌شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی می‌توانند وارد آب‌های فوقانی شوند. لذا، اندازه‌گیری غلظت میانگین کل فلز سنگین می‌تواند تصویری واقعی از آلودگی یک محیط آبی را فراهم آورد (کوسج و همکاران، ۱۴۰۰). بر اساس نتایج مطالعه حاضر غلظت سرب نیکل و جیوه در آب بیشتر از رسوبات بود و غلظت کادمیوم در رسوب بیشتر از آب بود (شکل ۲). کوسج و همکاران (۱۴۰۰) نشان دادند که منابع انتشار کادمیوم نیکل و سرب و مس نقطه‌ای است و با فعالیت‌های مرتبط با بندرگاه‌ها ارتباط دارد. قسمت اعظم نیکل به‌صورت کلوئیدی بوده و شدیداً در مصب‌ها و سواحل رسوب می‌کند نیکل ازجمله عناصر مهم آلاینده محیط‌زیست و نیز از اجزای تشکیل‌دهنده نفت است که علت آن می‌تواند به نفت‌خیز بودن منطقه برگردد. هم‌چنین بالا بودن غلظت نیکل می‌تواند ناشی از منابع نقطه‌ای و یا احتمالاً لجن حاصل از لایروبی اسکله‌ها یا ورود لجن فاضلاب شهری باشد؛ زیرا که فاضلاب شهری هم‌مقدار قابل‌توجهی از نیکل با خود دارد (Haghshenas *et al*., 2017).

در مطالعه Tian و همکاران (۲۰۲۰) نشان داده شد که نیکل در مناطق ساحلی در اب و رسوبات عمدتاً منبع ژئوژنیک و سرب و کادمیوم و جیوه عمدتاً منشأ انسانی دارند. در مقابل مطالعات بسیاری از محققین، آلودگی رسوبات به نیکل را اصولاً ناشی از منابع انسانی می‌دانند. این منابع شامل فاضلاب‌های شهری و صنعتی، تردد کشتی‌ها، قایق‌ها و نفت‌کش‌ها و نفت خام است. ازآنجاکه نیکل یکی از عمومی‌ترین فلزات در آب‌های سطحی می‌باشد، درنتیجه آلودگی به نیکل، احتمالاً به علت ورود منابع آلوده شهری و پساب‌های صنعتی اعم از مواد شوینده، سموم، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی و نهایتاً فاضلاب‌ها به منطقه باشد. هم‌چنین شستشو و ریزش سوخت و مواد روغنی توسط شناورها و قایق‌های موتوری و تفریحی منطقه نیز می‌تواند عامل آلاینده باشد (کوسج و همکاران، ۱۴۰۰).

شاخص توصیف‌کننده آلودگی در نمونه‌های رسوب نشان داد که آلودگی کادمیوم در سطح متوسط بود (شکل ۳) و در نمونه‌های آب‌نیکل در سطح متوسط است (شکل ۴). مقایسه سطوح برآورده شده شاخص CF در نمونه‌های آب و رسوب نشان می‌دهد که مقادیر شاخص در آب بیشتر است بااین‌وجود سطح آلودگی در حد کم و متوسط برآورد شد. بر اساس نتایج مطالعه حاضر علی‌رغم اینکه برخی شاخص‌ها در مقایسه با شیل میانگین از سطوح رده‌بندی پایین برخوردار هستند، حتی در این شرایط که مقدار زمینه محیط مشخص نیست تا به توان شرایط فعلی منطقه را با شرایط نرمال و پاک و با شرایط طبیعی مقایسه نمود بااین‌حال شاخص PLI بالای یک، نشان‌دهنده آلایندگی محیط است، به‌خصوص کادمیوم در شرایط بسیار شدید آلایندگی قرار دارد. غلظت جیوه و نیکل سرب در آب در مقایسه با رسوب بیشتر و غلظت کادمیوم در آب و رسوب بالا است. این ممکن است به علت لایروبی رسوبات در منطقه باشد. هدایت زاده و همکاران (۱۳۹۹) طی مطالعه خود، میزان آلایندگی فلزات سنگین را در رسوبات ماهشهر و بندر امام طی یک دوره دوازده‌ساله بررسی کردند، نتایج آن مطالعه نشان داد که فلزات جیوه نیکل سرب مهم‌ترین آلاینده‌های منطقه هستند و نیکل و جیوه آلایندگی شدیدتری در منطقه ایجاد می‌کنند.

در نمونه‌های رسوب، غنی‌شدگی کادمیوم و سرب در سطح به‌شدت زیاد، نیکل در سطح بسیار زیاد و جیوه در سطح زیاد بود. در نمونه‌های آب غنی‌شدگی کادمیوم و نیکل به‌شدت زیاد و سرب کم بود (شکل‌های ۶ و ۷). در مطالعه جویباری و همکاران (۱۴۰۱) غلظت فلزات سنگین و

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

شاخص‌های آلودگی رسوبات در کانون گردوغبار هندیجان بررسی شد نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات نیکل و سرب در مناطق جنوبی هندیجان در طول خط ساحلی روند افزایشی دارد. ایشان بیان کردند که می‌توان تردد شناورها، آلودگی‌های ناشی از تعمیر و نگهداری شناورها و کشتی‌ها در اسکله بحرکان و فاضلاب شهری هندیجان را علت افزایش این دو فلز در نظر گرفت.

در مطالعه حاضر ارزیابی ریسک خطر محیط‌زیستی نشان داد که جیوه و کادمیوم در آب بسیار شدید آلاینده و در رسوب در سطح خیلی شدید ایجاد آلایندگی کرده‌اند (شکل ۸). سرب در آب کمتر و در رسوب به‌شدت آلاینده است. کادمیوم در رسوب به‌شدت آلاینده است. نتایج نشان می‌دهد که کادمیوم مهم‌ترین فلزی است که در منطقه ایجاد آلودگی کرده است؛ و فلزات جیوه و نیکل نیز خطراتی را ایجاد می‌نمایند و سرب در رسوب ایجاد خطر می‌کند. بر اساس شاخص خطر اکولوژیکی فلزات می‌توان بیان کرد در بین عناصر اندازه‌گیری شده، رسوبات ازنظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار دارند. دلیل افزایش کادمیوم احتمالاً ورود پساب‌های صنعتی، رواناب‌ها و حمل ذرات رسوبی حاوی این فلز به دریا است. نوسان در جریانات ورودی به دریا، اعم از بارندگی‌ها، پساب‌ها، زهکشی آب و رواناب‌ها از عوامل مهم تغییر معنادار غلظت فلز کادمیوم در آب دریا است. هم‌چنین منبع اصلی کادمیم موجود در دریاها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری است. فراوانی کادمیوم به‌طورکلی در طبیعت پایین است و بیشتر دارای منشأ انسانی است (Haghshenas *et al*., 2017). در مطالعه جویباری و همکاران (۱۴۰۱) ارزیابی ریسک خطر فلزات در هندیجان نشان داد که منطقه دارای خطر زیست‌محیطی کمی است و در بین فلزات موردمطالعه آرسنیک و کادمیوم بیشترین ریسک خطر را داشتند.

حلالیت فلز کادمیوم در آب بالا است (جویباری و همکاران، ۱۴۰۱) اما در مطالعه حاضر غلظت کادمیوم در رسوب بیشتر از آب بود. بررسی غلظت فلزات سنگین Cd,Pb و Cu در رسوبات سطحی سواحل جزرومدی بندر دیلم خلیج‌فارس میزان فلز کادمیوم در تمامی ایستگاه‌ها بالاتر از استاندارد جهانی است. بنابراین رسوبات منطقه ازنظر کادمیوم دارای آلودگی زیادی است. میزان کادمیوم از میزان استانداردهای USEPA، کیفیت رسوب آمریکا NOAA و کیفیت رسوب کانادا ISQGS بیشتر بوده است (سیدی و همکاران ۱۴۰۰). بالا بودن میزان کادمیوم می‌تواند به دلیل تردد قایق‌های تفریحی، اسکله صیادی، تأثیرپذیری از فاضلاب منطقه باشد (استانی و همکاران، ۱۴۰۰) ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود که در مطالعاتی که در آینده انجام می‌شود منشأ طبیعی یا انسان‌ساخت فلزات سنگین به‌خصوص کادمیوم شناسایی شود.

مطالعه جویباری و همکاران (۱۴۰۱) نشان داد که با توجه به الگوی توزیع فلزات می‌توان بیان کرد که فعالیت‌های مرتبط با اسکله صیادی بحرکان از یک‌سو و سکوهای نفتی دور از ساحل میدان نفتی هندیجان از سویی دیگر، موجب تغلیظ فلزات نیکل، سرب، روی و مس در جنوب گستره موردمطالعه شده است. فعالیت‌های کشاورزی نیز غلظت فلزات کادمیوم و آرسنیک را در این گستره کنترل کرده، منشأ غلظت کروم نیز پساب‌های کشاورزی، آلودگی‌های ترافیکی و آلودگی‌های باقی‌مانده حاصل از جنگ هشت‌ساله عراق و ایران تعیین شد (جویباری و همکاران، ۱۴۰۱).

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که کیفیت زیست‌محیطی، در تمامی نقاط نمونه‌برداری، در زمره مناطق آلوده محسوب می‌شود. بر اساس یافته‌های پژوهش حاضر پیشنهاد می‌شود که پهنه‌بندی فلزات سنگین آب و رسوب در بندر هندیجان انجام شود و مقادیر میانگین زمینه فلزات مختلف تعیین شود و شاخص‌های ژئوشیمی در هندیجان با مناطق دیگر مقایسه شود و نیز ارزیابی ریسک زیست‌محیطی ناشی از حوادث لنج‌ها و کشتی‌ها در بندر هندیجان انجام شود و راهکارهای کاهش یا حذف آلودگی از رسوبات و آب بندر هندیجان ارائه شود. در تحقیق حاضر به دلیل محدودیت‌های مالی امکان تحقیق بر روی پارامترهای بیشتری از فلزات سنگین و تکرار نمونه‌ها و ایستگاه‌های بیشتر مقدور نبود لذا پیشنهاد می‌شود به دلیل اهمیت موضوع، پایش فلزات به‌صورت مستمر و با تعداد پارامترهای بیشتری از فلزات سنگین صورت گیرد. خطرات بالقوه اکولوژیکی در آینده در رسوبات محیط‌های آبی دلیل قانع‌کننده‌ای برای نظارت پیوسته بر فلزات سنگین در رسوبات است و توصیه می‌شود که استراتژی‌های مختلفی برای کاهش و پیشگیری از خطرات زیست‌محیطی این فلزات سنگین در محیط‌های آبی برای حفاظت و مدیریت این محیط‌ها در درازمدت اتخاذ شود (Islam Al Sadikul *et al*., 2023). مقایسه با مقادیر فلزات سنگین در مناطق دیگر یکی از راه‌های بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

است و نیز از مقادیر شیل میانگین که در منابع علمی وجود دارد برای برآورد شاخص‌ها استفاده می‌شود و بایستی از میزان مقادیر فلزات سنگین در قبل از آلوده شدن محیط آگاه بود (Zhou *et al*., 2022 ؛Pradit *et al*., 2022) در مطالعه حاضر مقایسه‌ای بین میانگین غلظت فلزات سنگین در پژوهش حاضر با مقادیر فلزات سنگین در شیل که در مطالعات دیگر ارائه‌شده است، انجام گرفت، ازآنجایی‌که مطالعاتی نظیر پژوهش حاضر در منطقه اندک است، نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد جهت صحت‌سنجی و به‌منظور اعتباربخشی به پژوهش‌های علمی که در آینده انجام خواهد شد لازم است با بررسی‌های متعدد علمی مقادیر عناصر زمینه برآورد شود تا بتوان با دقت بیشتری آلایندگی فلزات در منطقه را بررسی نمود.

منابع

استانی، م، ماشین‌چیان مرادی، ع. و قوام مصطفوی پ.، ۱۴۰۰. بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات ساحلی بندرعباس، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیطزیست، ۱۵(۵۵): صفحات ۲۵-۱۳.

جویباری، س ا.، پیروان، ح.، رضایی، پ. و غلامی، ح.، ۱۴۰۱. بررسی و تحلیل غلظت فلزات سنگین و شاخص‌های آلودگی رسوبات در کانون گردوغبار هندیجان، استان خوزستان، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۴۱ (۳): صفحات ۳۳۱- ۳۱۲.

سیدی، ج.، موسوی ده موردی، ل. و خاکی، ا.، ۱۴۰۰. بررسی غلظت فلزات سنگین Cd, Pb و Cu در رسوبات سطحی سواحل جزرومدی بندر دیلم خلیج‌فارس، علوم و تکنولوژی محیطزیست،۲۳(۱۲): صفحات ۲۱۰-۲۰۱.

کاظمی درسنکی، ر. و سادات نعیمی، ا.، ۱۴۰۱. آلودگی فلزات سنگین در آب و رسوبات سواحل خلیج‌فارس: مطالعه مروری روایتی. مجله طب دریا، ۴ (۴): صفحات ۲۰۵-۱۹۸.

کوسج، ن.، جعفریان، ح. ا.، رحمانی، ع.، پاتیمار، ع. و قلی پور، ح.، ۱۴۰۰. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و بررسی منشأ آلودگی‌های زیست‌محیطی رسوبات مناطق قشم، بندر خمیر و بندر لافت استان هرمزگان در خلیج‌فارس، علوم و فنون شیلات، ۱۰ (۲): صفحات ۱۶۳-۱۵۱.

هدایت زاده، ف.، ایلدرمی، ع.، حسن‌زاده، ن. و بهرامی فر، ن.، ۱۳۹۹. مطالعه سیستماتیک و متاآنالیز آلودگی، پتانسیل سمیت، خطرات اکولوژیکی و بیولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خوریات ماهشهر و بندر امام خمینی (نواحی ساحلی استان خوزستان)، زیست‌شناسی دریا، ۱۲ (۲): صفحات ۸۰-۵۵.

Abrahim, G. M. S. and Parker, R. J., 2008. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand, Estuar. Coast Shelf Science, 136: 227–238.

Adomako, D., Nyarko, B. J. B., Dampare, S. B., Serfor-Armah, Y., Osae, S., Fianko, J. R. and Akaho, E. H., 2008. Determination of toxic elements in waters and sediments from River Subin in the Ashanti Region of Ghana. Environmental Monitoring Assessment, 141: 165-175.

Das Sharma, S., 2019. Risk Assessment and Mitigation Measures on the Heavy Metal Polluted Water and Sediment of the Kolleru Lake in Andhra Pradesh, India. Pollution, 5(1).

El-Alfy, M. A., El-Amier, Y. A. and El-Eraky, T. E., 2020. Land use/cover and eco-toxicity indices for identifying metal contamination in sediments of drains, Manzala Lake, Egypt. Heliyon, 6 (2020) e03177.

Haghshenas, A., Hatami-manesh, M., Mirzaei, M., Mir Sanjari, M. and Khezri, P., 2017. Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone. Iran South Med Journal, 20 (5): 448-469.

Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, Water Research, 14, 5: 97-101.

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]

Hossain, M., Ahmed, K., Liyana E, Hossein, S., Jolly, Y. N., Kabir, M. J., Akter, S. and Rahman, S., 2021. A case study on metal contamination in water and sediment near a coal thermal power plant on the eastern coast of Bangladesh. Environments, 8(10):108.

Islam A. l., Sadikul, M., Hossain, M. E., Nahar, K. and Majed, N., 2023. Assessment of Environmental Hazard and Heavy Metal Contamination in Dhaleshwari River Sediment: A Toxicity based Study on Pollution. Pollution, 9(1): 67-83.

Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, R. J. and Nematpour K., 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. Environ Monit Assess, 147(1-3): 107-16

Kanat. G., Ikizoglu, B., Erguven, G. and Akgun, B., 2018. Determination of Pollution and Heavy Metal Fractions in Golden Horn Sediment Sludge (Istanbul,Turkey). Pol. Journal Environment Stud, 27: 6.

Li, X., Henglun Shen, Y., Zhao, Y., Cao, W. and Hu, C., 2019. Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metals in Water, Sediments, and Aquatic Macrophytes: A Case Study of the Junction of Four Rivers in Linyi City, China. International Journal Environmental Research and Public Health, 16: 2861.

Maanan, M., El Barjy, M., Hassou, N. and Zourarah, B., 2018. Origin and potential ecological risk assessment of trace elements in the watershed topsoil and coastal sediment of the Oualidia lagoon, Morocco. Journal Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 24(3).

Manno, E., Varrica, D. and Dongarrá, G., 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. Atmospheric Environment, 40: 5929-5941

Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veranderungen seit. Umschau, 79(24): 778-783.

Pradit S, Noppradit, P., Jitkaew P., Sengloyluan, K., Thawanrat, K., Laerosa A. and Sirivithayapakor, S., 2022. Heavy Metal Contamination and Ecological Risk Assessment in the Sediment Cores of the Wetlands in Southern Thailand. Marine Science and Engineering. 10, 1921: 1-13.

Qishlag, A., Moore, F. and Forghani, G., 2007. Impact of untreated wastewater irrigation on soils and crops in Shiraz suburban area, SW Iran. Environmental Monitiring Assessment, 149: 254-262.

Qin, Y. and Tao, Y., 2022. Pollution status of heavy metals and metalloids in Chinese lakes:Distribution, bioaccumulation and risk assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety 248: 114293. Available

Thomilson, D. C., Wilson, D. J., Harris, C. R. and Jeffrey, D. W., 1980. Problem in heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. Helgol Wiss Meeresunlter, 33(1–4): 566-575.

Tian, K., Wua, Q., Liua, P., Hua, W., Huang, B., Shid, B., Zhou, B. Y., Kwone, B. O., Choie, K. K., Ryuf, J., Seong, K. and Wang, T., 2020. Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea. Environment International, 136: 105512.

Xu, X., Lu, X., Han, X. and Zhao, N., 2015. Ecological and health risk assessment of metal in resuspended particles of urban street dust from an industrial city in China. Current Science, 108 (1): 10.

Zhou, W., Cao, Q., Hong, M., Lei, Y., Wen, D. and Zang, D., 2022. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in seawater and sediments in Jieshi Bay, Shanwei, China. Frontiers in Marine Science, 9: 1-15. 10.3389/fmars.2022.1011564

[Downloaded from jmb.ahvaz.iau.ir on 2026-06-07]