دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست-پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیستم، شماره ۵، صفحه ۴۶۹– ۴۴۸ (آذر و دی ۱۳۹۶)

Iran South Med J 2017; 20(5): 448-469

سنجش و ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس

آرش حقشناس (MSc) [۱]، مسعود حاتمی‌منش (PhD) [۲]، محسن میرزائی (PhD) [۳*]،
میرمهرداد میرسنجری (PhD) [۲]، پریسا حسین خضری (MSc) [۱]

[۱] مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی، پژوهشکده میگوی کشور
[۲] گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
[۳] گروه محیط زیست، پژوهشکده انگور و کشمش، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

(دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۷- پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۶)

چکیده

زمینه: امروزه یکی از مهم‌ترین مشکلات جهانی محیط زیست بخصوص در اکوسیستم‌های آبی، آلودگی ناشی از فلزات سنگین است. چرا که این عناصر به دلیل خصوصیاتی همچون ثبات شیمیایی، تجزیه‌پذیری ضعیف و داشتن قدرت تجمع زیستی در سطوح مختلف زنجیره غذایی موجب ایجاد صدمات و خطرات اکولوژیکی فراوانی برای موجودات زنده می‌گردند. لذا مطالعه حاضر به بررسی غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، سرب، کروم، مس، نیکل، روی و آهن) و ارزیابی خطر اکولوژیکی آنها در رسوبات ساحلی منطقه ویژهٔ اقتصادی-پارس جنوبی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: جهت بررسی غلظت فلزات ۱۶ ایستگاه در طول سواحل منطقه مورد مطالعه انتخاب و در هر ایستگاه ۳ نمونه برداشت شد. پس از آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها، غلظت فلزات مذکور با استفاده از دستگاه پلاروگراف تعیین گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد متوسط کل غلظت فلزات در رسوبات به ترتیب (جیوه< کادمیوم < سرب < کروم < نیکل < مس < روی <آهن) به میزان (۰/۰۱۶±۰/۰۳ < ۰/۴۴۷±۰/۰۷ <۸/۵۹±۰/۴۷ < ۱۷/۸۹±۰/۷۳ < ۱۸/۹۶±۰/۸۴ < ۲۸/۵۸±۱/۷۷ < ۴۵/۱۸±۱۲/۰۳۵ < ۵۶/۰۶۵±۲/۰۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده است. به علاوه بررسی شاخص‌های محیط زیستی؛ شاخص زمین انباشتگی، شاخص بار آلودگی و فاکتور آلودگی، بیانگر وضعیت آلودگی پایین و تا حدودی متوسط در منطقه بود. همچنین بررسی خطر اکولوژیکی و خطر محیط زیستی فلزات سنگین نشان داد، به ترتیب خطر به صورت (جیوه< کروم < روی < نیکل < سرب < مس < کادمیوم) می‌باشد.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج به دست آمده می‌توان بیان کرد وضعیت آلودگی در منطقه برای فلزات (جیوه، روی، کروم، سرب و نیکل) پایین و برای فلز کادمیوم و مس متوسط است. بالابودن غلظت فلزات کادمیوم در مقایسه با مقدار متناظر آنها در پوستهٔ زمین، بـه همراه مقادیر بالای فاکتور آلودگی، آلودگی اصلاح شده برای فلزات کادمیوم و مس از تأثیر فعالیت‌های انسانی در آلودگی و انباشت این فلزات در رسوبات منطقه حکایت دارد. همچنین بر اساس محاسبه شاخص خطر اکولوژیکی فلزات می‌توان بیان کرد در بین عناصر اندازه‌گیری شده، رسوبات از نظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار دارد.

واژگان کلیدی: ارزیابی خطر اکولوژیکی، شاخص بار آلودگی، رسوبات، فاکتور آلودگی، فلزات سنگین

* ملایر، دانشگاه ملایر، پژوهشکده انگور و کشمش
Email: mohsenmirzayi27@yahoo.com

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

مقدمه

اکوسیستم‌های آبی یکی از مهم‌ترین و غنی‌ترین اکوسیستم‌های جهان هستند که نقش مهمی در زندگی بشر و سایر موجودات زنده دارند (۱). به طوری که کیفیت این اکوسیستم‌ها به عنوان یکی از فاکتورهای اساسی جهت کنترل وضعیت سلامت و بیماری‌های انسانی و حیوانی در نظر گرفته می‌شود (۲). اما با این حال امروزه بشر به منظور فراهم نمودن زندگی بهتر، با فعالیت‌های گوناگون خود در زمینه صنعتی و غیرصنعتی تا حدود زیادی در این بخش از طبیعت نیز دخالت نموده و مشکلاتی را برای محیط زیست اطراف خود به ویژه در اکوسیستم‌های آبی وجود آورده، که آلودگی آب، ورود آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف ناشی از فعالیت‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی از مهم‌ترین این نوع معضلات محیط زیستی به شمار می‌آیند (۳). زیرا این عناصر دارای خواص و ویژگی‌هایی همچون سمیت، پتانسیل سرطان‌زایی و جهش‌زایی زیاد، پایداری بسیار طولانی، تجمع‌پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی هستند (۴). فلزات سنگین موجود در اکوسیستم‌های آبی دارای دو منشاء طبیعی زمین‌شناسی و یا انسانی هستند. منشاء طبیعی عمدتاً ناشی از هوازدگی خاک و سنگ‌ها، فرسایش محیط، آتش سوزی جنگل‌ها و فوران آتشفشان‌ها می‌باشند (۵). منشاء انسانی ناشی از تخلیه پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی، تخلیه زایدات کشاورزی، معدن‌کاری، رواناب شهری و غیره. هستند (۶). اگرچه وجود برخی از فلزات (مانند آهن، منگنز، کبالت، مس و روی) به عنوان عناصر غذایی به میزان بسیار کم برای انجام فعالیت‌های زیستی موجودات زنده ضروری هستند (۷). اما یافته‌ها نشان می‌دهند که رسوبات اکوسیستم‌های دریایی حاوی مقادیر عظیمی از آلاینده‌ها محیط‌زیستی همچون جیوه، سرب و کادمیوم هستند که به طور بالقوه برای محیط‌های آبی بخصوص موجودات زنده و استفاده کننده‌گان آنها سمی و خطرناک هستند (۴، ۸ و ۹). در این میان یکی از محیط‌های که به شدت تحت تأثیر آلودگی‌های شدید ناشی از فعالیت‌های انسانی و تا حدودی طبیعی قرار گرفته‌اند، رسوبات موجود در مصب‌ها و نوارهای ساحلی هستند (۱۰). به همین جهت رسوبات سطحی این نواحی به منظور ارزیابی دقیق آلودگی عناصر سنگین بکار گرفته شده است (۱۱) چرا که رسوبات دائماً آلاینده‌ها را جذب کرده و در نتیجه به مراتب آلودگی بیشتری نسبت به ستون آب دارند (۱۲). علاوه بر جذب مداوم آلاینده‌ها، ذرات معلق موجود در ستون آب قبل از ته‌نشینی بر روی رسوبات، آلاینده‌های موجود در ستون آب را جذب نموده، که نتیجه این فرآیند تجمع بیشتر آلودگی‌ها در رسوبات می‌باشد (۹). همچنین فلزات سنگین در فرم‌های (آلی، معدنی و پایدار) (Fractions) شیمیایی مختلفی در رسوبات وجود دارند، که این فرم‌های مختلف خود موجب تحرک، دستیابی زیستی (bioavailability) و پتانسیل سمیت (potential toxicity) متفاوتی برای آنها شده است (۱۳ و ۱۴). بنابراین بررسی خصوصیات کیفی رسوبات سطحی و اندازه‌گیری آلودگی فلزات سنگین در نواحی ساحلی یک ابزار مدیریتی مهم برای ارزیابی و سنجش سلامتی اکوسیستم‌های ساحلی و نواحی بین جزر و مدی هستند (۷)، زیرا تجمع بالای فلزات سنگین در این اجزا می‌تواند منجر به تغییرات اکولوژیکی جدی شود (۱۵). اصولاً آلودگی اکوسیستم‌های آبی به فلزات سنگین می‌تواند از طریق بررسی آب، رسوبات و موجودات زنده و همچنین طیف وسیعی از شاخص‌های

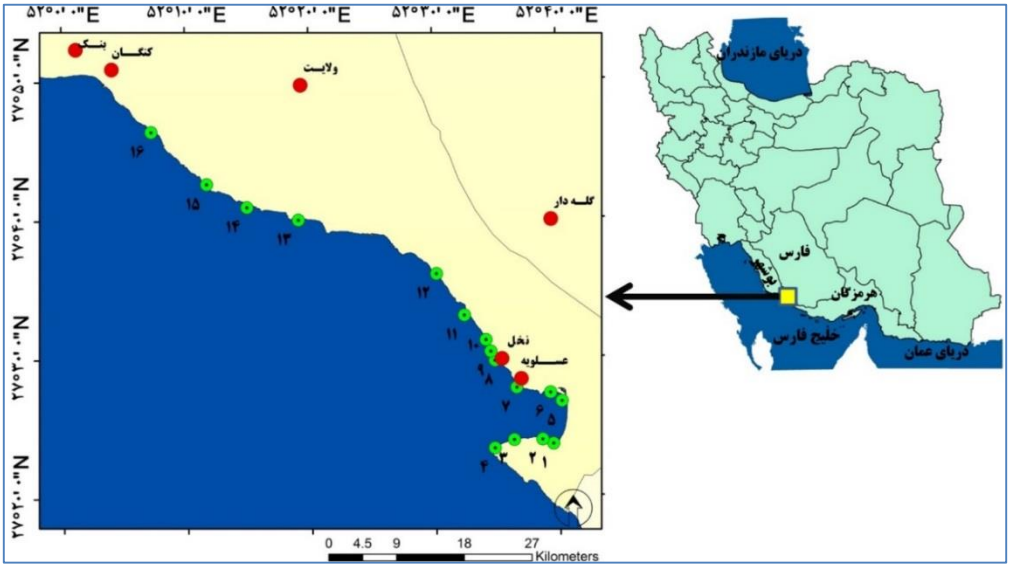
[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

محیط زیستی همچون ارزیابی خطر اکولوژیکی، شاخص زمین انباشت شیمایی، فاکتور آلودگی، شاخص بار آلودگی و غیره مورد تأیید قرار گیرد. اما در این میان یکی از شاخص‌هایی که به دلیل اهمیت فراوان در چند سال اخیر توجهات قابل ملاحظه‌ای را به خود جلب کرده، شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سمی در محیط‌های آبی است (۱۶). چرا که این شاخص بر اساس میزان غلظت و فاکتور سمیت هر فلز، پتانسیل خطر اکولوژیکی آنها و همچنین خطر محیط زیستی مجموع فلزات را مشخص می‌نماید (۷). خلیج‌فارس یکی از مهم‌ترین پهنه‌های آبی جهان است که از نظر ساختار بوم‌شناسی و تقسیم‌بندی محیط‌های دریایی در منطقه فلات قاره واقع گردیده و محیط مناسبی برای زندگی موجودات زنده مختلف می‌باشد. اما متأسفانه در چند دهۀ اخیر تحت تأثیر صدمات و بحران محیط زیستی مختلف همچون آلودگی نفتی و فلزات سنگین ناشی از منابع طبیعی و انسانی همچون استحصال نفت، تخلیه پساب‌های شهری، ورود رواناب شهری و غیره. قرار گرفته است (۱۷ و ۱۸). که در میان می‌توان به فعالیت‌های صنعتی در نواحی مختلف سواحل این پهنه آبی همچون «منطقه ویژه اقتصادی- انرژی پارس» که با هدف بهره‌برداری از ذخایر گاز و نفتِ میدان مشترک پارس جنوبی احداث و در حال توسعه است، اشاره نمود. که ورود بیش از حدِ این عوامل تهدیدکننده (آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی) ناشی از فعالیت چنین صنایعی، موجب بروز اختلال در عملکرد اکوسیستم شده و سبب پدید آمدن مشکلات فراوانی برای بخش زنده اکوسیستم نیز شده است (۱۹). این مسأله به نوبۀ خود می‌تواند مشکلاتی را برای سلامت و زندگی انسان نیز ایجاد نماید. به همین جهت بررسی و ارزیابی خطر محیط زیستی غلظت فلزات سنگین در این اکوسیستم از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. زیرا اگر چه محققان زیادی به بررسی آلودگی و سنجش غلظت فلزات سمی در این اکوسیستم پرداخته‌اند اما اطلاعات اندکی در مورد ارزیابی خطر اکولوژیکی آنها در رسوبات ساحلی منطقه وجود دارد. به همین جهت انجام چنین مطالعه‌ای به منظور دستیابی به اطلاعات کمی و کیفی از میزان آلودگی و اثرات آن بر محیط‌های آبی این نواحی بسیار ضروری است. بنابراین با توجه به مطالب بیان شده و اهمیت اکوسیستم دریایی خلیج‌فارس مطالعه حاضر به سنجش و ارزیابی خطر اکولوژیکی برخی فلزات سنگین در رسوبات نواحی ساحلی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی در سواحل استان بوشهر در خلیج فارس می‌پردازد.

محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل محدوده «منطقه ویژه اقتصادی- انرژی پارس» در جنوبِ شرق استان بوشهر، که در خلیج‌فارس واقع شده، است. این منطقه در محدودۀ جغرافیایی طول شرقی ۰۶ ˚۵۲ تا ۳۴ ˚۵۲ و عرض شمالی ۲۳ ˚۲۷ تا ۴۶ ˚۲۷، از جنوب شرقی استان بوشهر (دماغه نایبند) تا جنوب غرب بندرکنگان (برکه چوپان)، واقع در خلیج‌فارس قرار دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]



شکل ۱) موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های نمونه‌برداری

جدول ۱) نام و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه شده

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی اعشار- دقیقه – درجه	عرض جغرافیایی اعشار- دقیقه – درجه	عمق برداشت نمونه (متر)
۱	هاله	۵۲ ۳۸/۵۵	۲۷ ۲۴/۳۹۰	۴
۲	دهانه خور بساتین	۵۲ ۳۹/۲۹۰	۲۷ ۲۴/۱۱۰	۳
۳	نای بند	۵۲ ۳۶/۱۶۰	۲۷ ۲۴/۳۴۰	۱/۳
۴	شاهد (فانوس دریایی)	۵۲ ۳۴/۵۸۱	۲۷ ۲۴/۲۸۷	۲
۵	خوربیدخون ۱	۵۲ ۳۹/۴۷۰	۲۷ ۲۷/۱۵۰	۴
۶	خوربیدخون ۲	۵۲ ۴۰/۴۷۰	۲۷ ۲۷/۵۳۰	۳
۷	نخل‌تقی	۵۲ ۳۴/۲۸۵	۲۷ ۲۹/۵۷۱	۲/۵
۸	روبروی آب‌شیرین‌کن هیوندایی	۵۲ ۳۴/۴۷۰	۲۷ ۳۰/۴۸۰	۸
۹	روبروی خروجی فازهای ۱ تا ۳	۵۲ ۳۴/۱۴۰	۲۷ ۳۰/۵۷۴	۱۲
۱۰	روبروی خروجی فازهای ۴ و ۵	۵۲ ۳۹/۹۲۴	۲۷ ۳۱/۸۷۲	۱۸
۱۱	روبروی خروجی آب‌شیرین‌کن پتروشیمی	۵۲ ۳۲/۲۱۳	۲۷ ۳۳/۴۲۶	۱۱
۱۲	شیرینو	۵۲ ۲۹/۵۱۳	۲۷ ۳۶/۵۳۴	۴
۱۳	سیراف	۵۲ ۱۹/۷۹۷	۲۷ ۳۹/۹۰۹	۲
۱۴	فاز ۱۳ (اختر)	۵۲ ۱۵/۱۳۷	۲۷ ۴۰/۹۰۶	۱۰
۱۵	فاز ۱۴	۵۲ ۱۰/۳۵۳	۲۷ ۴۰/۰۶۹	۱۲
۱۶	برکه چوپان	۵۲ ۰۶/۷۴۰	۲۷ ۴۶/۳۶۴	۳/۵

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها

جهت سنجش غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در سراسر طول سواحل محدوده مورد مطالعه ۱۶ ایستگاه انتخاب و در هر ایستگاه ۳ نمونه در نقاط مختلف به‌طور همزمان از رسوبات سطحی (عمق ۰ تا ۵ سانتی‌متری)

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

محل نمونه‌برداری برداشت گردید (جدول ۱). ایستگاه و نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که تا حد امکان بتواند وضعیت ورود آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و منابع آنها را به دریا نشان دهد (شکل ۱). و در نهایت سطوح فلزات سنگین (جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، مس، روی و آهن) در نمونه‌های جمع‌آوری شده از رسوبات کف دریا اندازه‌گیری شد. در کل تعداد ۴۸ نمونه از رسوبات کف دریا در ۱۶ ایستگاه نمونه‌برداری با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار وان وین گرب ۲۰×۲۰ سانتی‌متر برداشت شد. این نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص، جمع‌آوری، و پس از کدگذاری در کلمن یخ قرارداده شدند، بعد از انجام نمونه‌برداری، نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا انجام آزمایشات نگهداری شدند.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

جهت آماده‌سازی نمونه به منظور انجام عمل هضم ابتدا؛ نمونه‌های جمع‌آوری شده، در آون در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. یک گرم از هر نمونه خشک شده در لوله‌های هضم PTFE (Polytetrafluoroe thylene) ریخته شد و۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد (Merck، آلمان) و اسید پرکلریک ۷۰ درصد (Merck، آلمان) با نسبت ۱:۴ به آن اضافه گردید. لوله‌های PTFE [1] به مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بر روی هیتر قرار داده شدند و بعد از آن به آرامی دما تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳ ساعت افزایش یافت. محتوای هر لوله از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه blank نیز در کنار سایر نمونه‌ها مانند نمونه‌های مورد بررسی تهیه شد (در واقع این نمونه‌ها حاوی ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد و اسید پرکلریک ۶۷ درصد با نسبت ۱:۴ می‌باشند و فرایند هضم و قرائت آنها شبیه نمونه‌های اصلی رسوب بوده است. با این تفاوت که فقط از نمونه‌های رسوب به این لوله‌ها اضافه نشده است و هدف از آنالیز این نمونه‌ها حذف اثر خطای آزمایشگاهی ناشی از آلودگی اسیدهای استفاده شده جهت هضم و وسایل آزمایشگاهی مانند لوله‌های هضم به فلزات سنگین است. در نهایت نمونه‌ها توسط دستگاه پلاروگراف مدل VA Computrace ۷۹۷ ساخت شرکت Metrohm کشور سوئیس اندازه‌گیری گردید (۲۰) همچنین جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری تمام داده‌های به‌دست آمده از نرم‌افزارهای SPSS ویرایش ۲۱ و Office Excel ۲۰۱۰ استفاده شد.

شاخص‌های محیط زیستی

در این مطالعه از معیارهای مختلف شامل؛ فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح شده و شاخص ریسک اکولوژیکی، جهت بررسی سنجش میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین استفاده شد.

الف) شاخص Igeo (Geoaccumulation index) (زمین انباشت ژئوشیمیایی) ضریب زمین انباشت

شاخص زمین انباشتگی که توسط مولر (Muller) معرفی شده است روشی متداول برای تخمین شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین می‌باشد. که از به‌دست آوردن غلظت فلزات سنگین در

[1] Poly Tetra fluoroe Thylene

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

نمونه رسوب به غلظت زمینه آن فلز، به‌دست می‌آید. این شاخص بر پایه رابطه ۱ استوار است (۲۱).

$$I_{geo} = Log_2 \frac{C_n}{1.5B_n} \qquad (۱)$$

در این معادله؛ Igeo: شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات، Cn: غلظت فلز سنگین در رسوب (میلی‌گرم برکیلوگرم) و Bn: غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل، جدول ۲) ضریب ۱/۵ به منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی رسوبات و تأثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، منظور شده است. مولر ۷ رده مختلف را برای این شاخص عنوان کرد که در آن، بالاترین رده مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است (۲۲) (جدول ۳)

جدول ۲) غلظت عناصر در میانگین شیل (بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم)

آهن	کروم	مس	وناديم	کبالت	نیکل	روی	سرب	کادمیوم	جیوه
۴۷۰۰	۹۰	۴۵	۱۳۰	۱۹	۵۰	۹۵	۲۰	۰/۳۸	۰/۴

جدول ۳) درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر (۱۹۶۹)

وضعیت آلودگی رسوب یا ذرات معلق	رده شاخص تجمع ژئوشیمیایی ر یا درجه آلودگی	عدد به دست آمده برای شاخص تجمع ژئوشیمیایی
کاملاً غیرآلوده	۰	۰
غیرآلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
متوسط آلودگی	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۲-۳
آلودگی شدید	۴	۳-۴
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۴-۵
آلودگی بسیار شدید	۶	۵

ب) فاکتور آلودگی CF (Contaminiation factor)

اصولاً مقادیر ضریب آلودگی و درجه آلودگی به ترتیب می‌توانند توصیفی از آلودگی مربوط به عنصر سنگین مورد بررسی و آلودگی محیط رسوب را ارائه دهد، ضریب آلودگی از تقسیم‌کردن غلظت عنصر در نمونه برداشت شده به غلظت همان عنصر در نمونه زمینه (در این پژوهش از میانگین شیل به عنوان زمینه استفاده شده است) به‌دست می‌آید (جدول ۴). ضریب آلودگی هاکنسون (Hakanson)، از رابطه ۲ به دست می‌آید (۲۳):

$$CF = \frac{C_i}{C_n} \qquad (۲)$$

در این رابطه Ci: غلظت عنصر در نمونه و Cn: غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شیل) است.

ج) درجه آلودگی (Degree of contamination)

اصولاً مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون (Hakanson) گفته می‌شود (۲۳) (جدول ۴)

$$Cd = \sum_{i=1}^{8} CF^i \qquad (۳)$$

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

جدول ۴) رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی (CF) و درجه آلودگی (Cd) رسوبات			
ضریب آلودگی مقدار	ضریب آلودگی رسوب	مقدار درجه آلودگی	کیفیت رسوب
CF≤۱	ضریب آلودگی پایین	Cd≤۶	درجه آلودگی پایین
۱≤ CF≤۳	ضریب آلودگی متوسط	۶≤Cd≤۱۲	درجه آلودگی متوسط
۳ ≤ CF≤۶	ضریب آلودگی قابل توجه	۱۲≤ Cd≤۲۴	درجه آلودگی قابل توجه
CF≥۶	ضریب آلودگی بسیار بالا	Cd≥۲۴	درجه آلودگی بسیار بالا

د) شاخص آلودگی اصلاح شده mCd (Modified degree of contamination)

به خاطر وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی توسط هاکنسون ارائه شده بود (۲۲)، ابراهیم رابطه اصلاح شده ۵ را بر اساس شاخص درجه آلودگی ارائه نمود (۲۴):

$$mCd = \frac{\sum_{I=1}^{8} C_f^i}{n} \qquad (۴)$$

در این معادله؛ CF فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. رابطه ۵ این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوان تعداد متنوعی از فلزات سنگین را بدون محدودیت مورد بررسی و مطالعه قرار داد. استفاده از رابطه جدید و محاسبه شاخص آلودگی اصلاح شده به ما امکان بررسی فلزات بیشتر را می‌دهد و مطالعه با محدودیت کمتری انجام می‌شود. بر طبق رابطه عمومی این شاخص، به دلیل میاگین گرفتن، تأثیرات منفرد مقادیر انباشتگی آلاینده‌ها، در نتیجه نهایی از الگوی عمومی آلودگی در منطقه، مستهلک و مخفی شده و از بین خواهد رفت. ابراهیم، دسته‌بندی سطح آلودگی رسوبات را بر اساس مقادیر کمی شاخص اصلاح شده درجه آلودگی به صورت جدول ۵ ارائه نموده است (۲۴).

جدول ۵) درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر مبنای شاخص آلودگی اصلاح شده (mCd)	
محدوه شاخص (mCd)	وضعیت آلودگی رسوب
۰≤ mCd ≤ ۱/۵	درجه بسیار پایین از آلودگی
۱/۵ ≤ mCd ≤ ۲	درجه پایین از آلودگی
۲ ≤ mCd ≤ ۴	درجه متوسط از آلودگی
۴ ≤ mCd ≤ ۸	درجه بالا از آلودگی
۸ ≤ mCd ≤ ۱۶	درجه بسیار بالا از آلودگی
۱۶ ≤ mCd ≤ ۳۲	به شدت بسیار بالا آلوده
mCd ≥ ۳۲	آلودگی با درجه مافوق زیاد

و) شاخص بار آلودگی Pollution Load Index(PLI)

این شاخص جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده است و می‌توان تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار ما قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات از به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

$$PLI = \sqrt[7]{CF_{Fe} \times CF_{Hg} \times CF_{cd} \times CF_{Pb} \times CF_{Cr} \times CF_{Zn} \times CF_{Cu} \times CF_{Ni}} \quad (۵)$$

در این فرمول CF فاکتور آلودگی بوده از که فرمول (۲) به‌دست می‌آید در این رابطه Ci: غلظت فلزات سنگین در نمونهٔ رسوب و Cn: میزان فراوانی فلز مورد نظر در زمینه محلی است. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر(غیر آلوده) تا ۱۰ بسیار آلوده تغییر می‌کنند که به‌طور معمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از یک نشان دهندهٔ آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (۷).

ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی اولین بار توسط هاکنسون به منظور ارزیابی خطر آلودگی رسوبات به‌وسیله فلزات سنگین استفاده گردید. که براساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی به‌وسیله محققان مختلفی همچون یی (Yi) و همکاران و وانگ (Wang) و همکاران بکار گرفته شده است (۲۵ و ۲۶). براساس رویکرد هاکنسون فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات جیوه، کادمیوم، مس، سرب، نیکل، کروم و روی به ترتیب برابر ۴۰، ۳۰، ۵، ۵، ۲ و ۱ می‌باشد. که در این تحقیق پتانسیل خطر اکولوژیکی براساس معادله زیر محاسبه گردید (۷).

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (۶)$$

$$RI = \sum_{i=1}^{7} E_r^i \quad (۷)$$

در معادلات E_r^i: شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، Ci و C_0^i به ترتیب مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار مقادیر طبیعی (Background value)، T_r^i : برابر فاکتور پاسخ سمیت فلز، جدول ۶، میزان خطر اکولوژیکی و محیطی فلزات سنگین مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

جدول ۶) ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین

خطر اکولوژیکی و محیط زیستی	شاخص خطر RI	خطر اکولوژیکی هر فلز	E_r^i
خطر پایین	$RI \leq ۱۵۰$	خطر پایین	$E_r^i \leq ۴۰$
خطر متوسط	$۱۵۰ \leq RI \leq ۳۰۰$	خطر متوسط	$۴۰ \leq E_r^i \leq ۸۰$
خطر قابل ملاحضه(زیاد)	$۳۰۰ \leq RI \leq ۶۰۰$	خطر قابل ملاحضه	$۸۰ \leq E_r^i \leq ۱۶۰$
خطر خیلی زیاد	$RI \geq ۶۰۰$	خطر زیاد	$۱۶۰ \leq E_r^i \leq ۳۲۰$
-	-	خطر خیلی زیاد	$E_r^i \geq ۳۲۰$

یافته‌ها

محدوده تغییرات غلظت (حداقل و حداکثر غلظت) هشت فلز سنگین اندازه‌گیری شده در رسوبات کف دریا در منطقه ساحلی استان بوشهر (منطقه اقتصادی- ویژه پارس جنوبی) برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب برای کادمیوم (۰/۰۷±۰/۵۰۳ و ۰/۱۵±۰/۴۱۳)، سرب (۲/۴۴±۱۰/۰۸ و ۰/۲۱±۷/۹۸)، روی (۲/۰۳±۴۹/۶و ۶/۶۱±۴۳/۲۹)، مس (۰/۰۸±۳۳/۸۹ و ۵/۰۲±۲۶/۵۳) و آهن (۵/۱۸±۶۰/۶۵ و ۶/۳۴±۴۸/۴۴)، نیکل (۱/۳۶±۲۱/۳۳ و ۰/۵۳±۱۶/۱۷)، جیوه (۰/۰۰۴±۰/۰۴۹ و ۰/۰۰۲±۰/۰۱۲) و کروم (۲/۸۴±۲۰/۰۲ و ۰/۸۷±۱۶/۰۴۶) بوده است. همچنین یافته‌ها نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین غلظت فلزات مورد بررسی مربوط به فلز آهن

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

و جیوه به میزان (۵/۱۸±۶۰/۶۵) و (۰/۰۰۲±۰/۰۱۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب بدست آمد، توالی غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات سواحل مختلف استان بوشهر به ترتیب به صورت (جیوه< کادمیوم < سرب < کروم < نیکل < مس < روی <آهن) به‌دست آمد (جدول ۷).

جدول ۷) میانگین غلظت فلزات مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف(میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک)

ایستگاه	غلظت فلزات سنگین(میلی‌گرم بر کیلوگرم)							
	آهن	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	جیوه	کادمیوم
۱	۵/۱۲±۵۸/۸۳	۱/۸۹±۲۸/۵۴	۲/۱±۴۸/۵۷	۱/۰۵±۸/۸۶	۱/۷۳±۱۹/۹۳	۱/۹۴±۱۸/۱۵	۰/۰۰۱±۰/۰۱۹	۰/۰۵±۰/۵
۲	۵/۹±۵۶/۱۲	۱/۴۳±۲۸/۵۳	۵/۲۷±۴۵/۴۴	۰/۷۲±۸/۷۵	۲/۴۳±۱۸/۷۶	۱/۴۶±۱۷/۴۶	/۰۰۱±۰/۰۱۵	۰/۰۷±۰/۵۰۳
۳	۵/۶۱±۵۸/۹۹	۳/۲۵±۲۸/۵	۴/۲۸±۴۷/۸۲	۱/۰۸±۹/۵	۲/۳۴ ±۱۹/۸	۲/۲۸±۱۸/۱۹	۰/۰۰۵±۰/۰۱۵	۰/۱۴±۰/۴۷۷
۴	۹/۴±۵۷/۲۰	۴/۴۲±۲۷/۴۴	۳/۸۷±۴۶/۵	۸/۲۹±۸/۴۸	۵/۱۴±۱۸/۷۶	۳/۳۵±۱۷/۸۴	۰/۰۰۲±۰/۰۱۲	۰/۲۵±۰/۴۲۷
۵	۵/۵±۵۹/۵۴	۲/۴۱±۲۹/۷۱	۲/۰۳±۴۹/۶	۱/۳۹±۹/۷۳	۳/۱۹±۲۰/۰۱	۲/۰۹±۱۸/۷	۰/۰۰۷±۰/۰۱۹	۰/۱۸±۰/۴۷
۶	۵/۱۸±۶۰/۴۸	۳/۹۵±۲۹/۴۴	۶/۶±۴۷/۹۶	۱/۶۹±۹/۷۷	۱/۳۶±۲۱/۳۳	۱/۹۱±۱۹/۲۵	۰/۰۰۴±۰/۰۴۹	۰/۱۷±۰/۴۷۵
۷	۵/۳۶±۴۸/۴۴	۱/۸۲±۲۷/۳۳	۴/۵۶±۴۴/۰۴	۰/۲۱±۷/۹۸	۱/۰۹±۱۸/۷۳	۰/۹±۱۷/۳۱	۰/۰۰۵±۰/۰۲۷	۰/۱۳±۰/۴۳۸
۸	۶/۴۱±۵۶/۳۷	۵/۰۲±۲۶/۵۳	۵/۵۵±۴۶/۷۳	۱/۶۳±۸/۸۸	۲/۷۲±۱۹/۷۸	۲/۷±۱۸/۵۱	۰/۰۰۱±۰/۰۳۳	۰/۲±۰/۴۶
۹	۷/۵۴±۶۰	۳/۹۶±۳۰/۲۷	۷/۹±۴۸/۶۳	۲/۲۴±۱۰/۰۸	۲/۹۵±۲۰/۹۵	۲/۸۴±۲۰/۰۲	۰/۰۰۱±۰/۰۳۸	۰/۱۸±۰/۴۸۳
۱۰	۷/۴۴±۵۷/۸۳	۰/۵۴±۲۶/۵۵	۱/۲۳±۴۷/۷۷	۱/۳۳±۸/۸۳	۱/۲۳±۱۹/۳۶	۰/۸۷±۱۸/۱۷	۰/۰۱±۰/۰۴۶	۰/۰۱۱±۰/۴۷
۱۱	۷/۷۳±۵۶/۹۹	۲/۸۷±۲۹/۴۸	۸/۵۰±۴۴/۵۵	۱/۷۲±۹/۰۶	۲/۴۸±۱۹/۸۶	۲/۷۴±۱۸/۶۹	۰/۰۱۸±۰/۰۴۱	۰/۱۷±۰/۴۷۸
۱۲	۷/۶۸±۶۰/۶۵	۳/۰۳±۲۹/۴۷	۶/۱۲±۴۷/۶۹	۱/۸۵±۹/۳۲	۲/۷۱±۲۰/۵۴	۲/۶۵±۱۹/۶۴	۰/۰۰۵±۰/۰۳۸	۰/۱۹±۰/۴۶۴
۱۳	۵/۰۷±۵۴/۹۶	۰/۹۷±۲۸/۶۶	۵/۳۷±۴۴/۳۳	۱/۳۱±۸/۳۴	۱/۹۷±۱۸/۰۳	۱/۷۸±۱۷/۵۷	۰/۰۰۷±۰/۰۳	۰/۱۵±۰/۴۱۳
۱۴	۶/۳۴±۵۳/۶۳	۰/۹۹±۲۸/۷۲	۶/۶۱±۴۳/۲۹	۱/۱±۸/۲۲	۱/۷۱±۱۷/۸۷	۱/۷۵±۱۷/۴۸	۰/۰۰۸±۰/۰۲۹	۰/۱۴±۰/۴۱۸
۱۵	۵/۸±۵۸/۷۸	۳/۰۸±۳۳/۸۹	۷/۶۷±۴۴/۸	۱/۱۳±۸/۹۶	۱/۴۶±۱۹/۱۷	۳/۵۷±۱۶/۶۱	۰/۰۰۶±۰/۰۳	۰/۱۷±۰/۴۶
۱۶	۵/۴۱±۵۸/۳۷	۰/۵±۲۹/۶۶	۰/۸۹±۴۷/۴۹	۰/۴۵±۸/۳۹	۰/۵۳±۱۶/۱۷	۱/۱±۱۷/۹۵	۰/۰۰۳±۰/۰۲۸	۰/۰۷±۰/۴۶۱
میانگین کلی	۲/۵۲±۵۶/۰۶۵	۱/۷۷±۲۸/۰۸	۱/۰۳۵±۴۵/۹۲	۰/۴۷۵±۸/۵۹	۰/۸۴±۱۸/۹۶	۰/۷۳±۱۷/۸۹	۰/۰۱۶±۰/۰۲۹	۰/۰۷±۰/۴۴۷

یافته‌های حاصل از نتایج محاسبه میزان شاخص زمین انباشتگی در جدول ۸ آورده شده است. این یافته‌ها نشان می‌دهد مقادیر فلزات سنگین برای تمامی نمونه‌ها به جز فلز کادمیوم کمتر از صفر بوده که نشان‌دهنده غیرآلوده بودن منطقه می‌باشد (جدول ۸).

جدول ۸) مقادیر شاخص انباشت ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	مقدار شاخص انباشت ژئوشیمیایی							
	آهن	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	جیوه	کادمیوم
۱	-۶/۹۰۴	-۱/۲۴۱	-۱/۵۵۲	-۱/۷۵۹	-۱/۹۱۳	-۲/۹۷	-۵/۱۴	۰/۲۲۵
۲	-۶/۹۷۲	-۱/۲۴۲	-۱/۶۴۸	-۱/۷۷۷	-۱/۹۹۹	-۳/۰۱۶	-۵/۷	۰/۱۶
۳	-۶/۹	-۱/۲۴	-۱/۵۷۵	-۱/۶۵۸	-۱/۹۲۲	-۲/۹۶	-۵/۵۶۵	۰/۲۲۵
۴	-۶/۹۴۵	-۱/۱۲۹	-۱/۶۱۵	-۱/۸۲۱	-۲	-۲/۹۹۴	-۵/۹۳	۰/۱۳۷
۵	-۶/۸۸۷	-۱/۱۸۳	-۱/۵۲۲	-۱/۶۲۳	-۱/۹۰۶	-۲/۹۲۷	-۵/۲۷	۰/۲۶
۶	-۶/۸۶۴	-۱/۱۹۷	-۱/۵۷	-۱/۶۱۷	-۱/۸۱۳	-۲/۸۸۴	-۳/۵۳	۰/۳
۷	-۷/۱۸۵	-۱/۳۰۴	-۱/۶۹۳	-۱/۹۰۹	-۲/۰۰۱	-۳/۰۳۷	-۴/۵۵۱	-۰/۰۳۹
۸	-۶/۹۶۶	-۱/۳۴۶	-۱/۶۰۸	-۱/۷۵۶	-۱/۹۲۲	-۲/۹۴۱	-۴/۳۱	۰/۰۵۳
۹	-۶/۸۷۶	-۱/۱۵۶	-۱/۵۵	-۱/۵۷۳	-۱/۸۴	-۲/۸۲۸	-۴/۱۹۵	۰/۳۳
۱۰	-۷/۱۸۳	-۱/۲۹۲	-۱/۸۵۷	۲/۰۲۸	-۲/۱۶۱	-۳/۱۱	-۳/۸۹	-۰/۶۷۲
۱۱	-۶/۹۵-	-۱/۱۹۵	-۱/۶۷۷	-۱/۷۲۷	-۱/۹۱۶	-۲/۹۲۷	-۴/۰۲	۰/۰۸۷
۱۲	-۶/۸۶	-۱/۱۹۶	-۱/۵۷۹	-۱/۶۸۶	-۱/۸۶۸	-۲/۸۵۵	-۴/۰۳	۰/۲۱۱
۱۳	-۷/۰۰۳	-۱/۲۳۵	-۱/۶۸۴	-۱/۸۴۶	-۲/۰۵۶	-۳/۰۱۶	-۴/۴۸	-۰/۱۲۳
۱۴	۷/۰۳۸	-۱/۲۳۲	-۱/۷۲	-۱/۸۶۷	-۲/۰۹۶	-۳/۰۲۴	-۴/۵۵	۰/۱۰۶
۱۵	-۶/۹	-۰/۹۹	-۱/۶۶۹	-۱/۷۴۳	-۱/۹۶۷	-۳/۰۹۷	-۴/۵۱	۰/۰۳۱
۱۶	-۷/۰۳۸	-۱/۲۳۳	-۱/۷۲	-۱/۸۶۷	-۲/۱۲۶	-۳/۰۱۷	-۴/۵۴	۰/۰۹۳

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

نتایج بررسی فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه‌ها در طبقه ضریب آلودگی پایین تا آلودگی متوسط قرار دارند. به طوری که برای فلز مس همه ایستگاه‌ها و کادمیوم به جزء ایستگاه ۱۰ بقیه ایستگاه‌ها از لحاظ فاکتور آلودگی در طبقه متوسط قرار دارند(مطابق جدول ۴؛ Cf کمتر از ۱ نشان‌دهنده آلودگی پایین؛ ۳≤CF ≤۱ نشان‌دهنده آلودگی متوسط ،۶≤CF≤۳ آلودگی قابل ملاحظه و میزان بیشتر از ۶ نشان دهنده آلودگی بسیار بالا می‌باشد). اما سایر فلزات(آهن، روی، سرب، کروم و کادمیوم) در همه ایستگاه‌ها دارای فاکتور یا ضریب آلودگی پایین بوده‌اند(جدول ۹).

جدول ۹) نتایج مقادیر شاخص فاکتور آلودگی و درجه آلودگی مربوط به فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات ساحلی مورد مطالعه

ایستگاه	فاکتور آلودگی فلزات سنگین								درجه آلودگی	
	آهن	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	کادمیوم	جیوه	درجه آلودگی	رده*
۱	۰/۰۱۲	۱/۴۲۷	۰/۹۷	۰/۴۴۳	۰/۴۱	۰/۲۰	۱/۷۵۳	۰/۰۴۷	۵/۲۵۶	کم
۲	۰/۰۱۱	۱/۴۲۶	۰/۹۰۸	۰/۴۳۷	۰/۳۷۵	۰/۱۹۵	۱/۶۷۶	۰/۰۳۷	۵/۰۷	کم
۳	۰/۰۱۲	۱/۴۲۴	۰/۹۵۶	۰/۴۷۵	۰/۳۹۵	۰/۲۰۲	۱/۷۴۳	۰/۳۷۵	۵/۲۵۸	کم
۴	۰/۰۱۳	۱/۳۷۱	۰/۹۳	۰/۴۲۴	۰/۳۷۵	۰/۲	۱/۶۵	۰/۰۳	۴/۹۹۲	کم
۵	۰/۱۲	۱/۴۸	۰/۹۹۲	۰/۴۸۶	۰/۴	۰/۲۱	۱/۸۱	۰/۰۴۷	۵/۴۲۹	کم
۶	۰/۰۱۳	۱/۴۷	۰/۹۵۹	۰/۴۸۸	۰/۴۲۶	۰/۲۱۳	۱/۸۴۶	۰/۱۲۲.	۵/۴۵۳	کم
۷	۰/۰۱	۱/۳۶۶	۰/۸۸	۰/۳۹۹	۰/۳۷۴	۰/۱۹۲	۱/۴۶	۰/۰۶۷	۴/۷۵۳	کم
۸	۰/۰۱۱	۱/۳۲۶	۰/۹۳۴	۰/۴۴۴	۰/۳۹۶	۰/۲۰۵	۱/۵۵۶	۰/۰۸۳	۴/۹۵۸	کم
۹	۰/۰۱۲	۱/۵۱۳	۰/۹۷۲	۰/۵۰۴	۰/۴۱۸	۰/۲۲۲	۱/۸۸۶	۰/۰۹۵	۵/۶۲۷	کم
۱۰	۰/۰۱	۱/۳۷۷	۰/۷۸۶	۰/۳۶۷	۰/۳۳۵	۰/۱۸۳	۰/۹۴	۰/۱۱۵	۴/۸۱۵	کم
۱۱	۰/۰۱۲	۱/۴۷۳	۰/۸۹	۰/۴۵۳	۰/۳۹۷	۰/۲۰۷	۱/۵۹۴	۰/۱۰۲	۵/۱۳۱	کم
۱۲	۰/۰۱۲	۱/۴۷۳	۰/۹۵۳	۰/۴۶۶	۰/۲۱	۰/۲۲	۱/۷۳۶	۰/۰۹۵	۵/۳۶۷	کم
۱۳	۰/۰۱۱	۱/۴۳۳	۰/۸۸۶	۰/۴۱۷	۰/۳۶	۰/۲	۱/۳۷۶	۰/۰۷۵	۴/۷۵۶	کم
۱۴	۰/۰۱۱	۱/۴۳۶	۰/۸۶۵	۰/۴۱	۰/۳۵۷	۰/۲۹۵	۱/۳۹۳	۰/۰۷۲	۴/۷۴۲	کم
۱۵	۰/۰۱۲	۱/۷۱	۰/۸۹۶	۰/۴۴۸	۰/۳۸۳	۰/۱۸۴	۱/۴۳۳	۰/۰۷۵	۵/۲۲۸	کم
۱۶	۰/۱۱	۱/۴۳۶	۰/۸۶۵	۰/۴۱	۰/۳۴۳	۰/۱۹۵	۱/۶	۰/۰۷۲	۵/۵	کم
مجموع	۰/۱۹۲	۲۳/۱۴	۱۴/۶۵۳	۷/۰۷۷	۶/۱۵	۳/۲۲	۲۵/۵۵۳	۱/۱۷۵		

همچنین بررسی وضعیت درجه آلودگی فلزات در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که همه ایستگاه دارای درجه آلودگی پایین هستند(Cd≤۶)(جدول ۹). همچنین نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی اصلاح شده نشان داد، که وضعیت آلودگی رسوبات منطقه از نظر غلظت فلزات اندازه‌گیری شده، در دو طبقه درجه بسیار پایین آلودگی و درجه پایین آلودگی قرار دارند (بر اساس جدول ۵)، به طوری که برای مس و کادمیوم درجه آلودگی پایین بوده (طبقه ۲) و برای سایر فلزات درجه بسیار پایین (طبقه ۱) ارزیابی شده است (جدول ۱۰).

جدول۱۰) نتایج مقادیر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده مربوط به عناصر اندازه‌گیری شده در رسوبات منطقه

ایستگاه	درجه آلودگی اصلاح شده فلزات سنگین							
	آهن	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	کادمیوم	جیوه
Mcd*	۰/۰۱۲	۱/۴۴۶	۰/۹۱۶	۰/۴۴۲	۰/۳۸۴	۰/۲۰۱	۱/۵۹۷	۰/۰۷۳

* شاخص آلودگی اصلاح شده mCd (Modified degree of contamination)

به طور کلی بررسی شاخص بار آلودگی فلزات نشان می‌دهد که مقادیر PLI برای تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

است. که این موضوع نشان‌دهنده عدم آلودگی منطقه به فلزات سنگین است. همچنین براساس جدول می‌توان بیان کرد که ایستگاه ۹ (روبروی خروجی فازهای ۱ تا ۳) و ۷ (ایستگاه نخل تقی)به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی به میزان ۰/۴و ۰/۳ می‌باشد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱) مقادیر شاخص بار آلودگی رسوبات ساحلی منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی به تفکیک ایستگاه

ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶
شاخص PLI	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۳۹	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۴	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۵

ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

نتایج بررسی خطر اکولوژیکی و ریسک محیط‌زیستی فلزات سنگین در جدول ۱۲ آورده شده است. به طور کلی این یافته‌ها نشان می‌دهد اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی، از نظر خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در طبقه خطر پایین تا متوسط قرار دارند. به طوری که برای کادمیوم خطر اکولوژیکی در طبقه متوسط بوده و برای سایر فلزات در طبقه بدون خطر می‌باشند. به علاوه روند تغییرات خطر کلی هر فلز در منطقه نشان می‌دهد به ترتیب خطر به صورت (جیوه < کروم < روی< نیکل < سرب < مس < کادمیوم) ارزیابی می‌گردد. در واقع بیشترین و کمترین خطر به ترتیب مربوط به فلز کادمیوم و جیوه است. همچنین یافته‌های بررسی شاخص خطر محیط زیستی این فلزات نشان داد که باتوجه به مقادیر به‌دست آمده (کمتر از ۱۵۰) خطر محیط زیستی این فلزات پایین بوده است (جدول ۱۲).

جدول ۱۲) نتایج مقادیر شاخص خطر اکولوژیکی و محیط زیستی به فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات ساحلی مورد مطالعه

ایستگاه	فلزات سنگین							
	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	کادمیوم	جیوه	RI*
۱	۷/۱۳۷	۰/۹۷	۲/۲۲	۱/۹۹۳	۰/۴۰۳	۵۲/۶۲	۱/۹۱	۶۷/۲۲
۲	۷/۱۴	۰/۹۰۸	۲/۱۸۸	۱/۸۷۶	۰/۳۹	۵۰/۳	۱/۱۵۳	۶۴/۳
۳	۷/۱۲	۰/۹۵۶	۲/۳۷۵	۱/۹۷۹	۰/۴۰۴	۵۲/۶۳	۱/۵	۶۶/۶۴
۴	۶/۸۵	۰/۹۳	۲/۱۲۲	۱/۸۷۶	۰/۳۹۶	۴۹/۵۴	۱/۲۵	۶۲/۸۸
۵	۷/۴۲	۰/۹۹۲	۲/۴۳۴	۲/۰۰۱	۰/۴۱۵	۵۳/۹	۲	۶۹/۰۷
۶	۷/۳۵	۰/۹۵۹	۲/۴۴۵	۲/۱۳۶	۰/۴۲۶	۵۵/۴۵	۴/۹۳	۷۳/۶۲
۷	۶/۸۳۳	۰/۸۸	۱/۹۹۶	۱/۸۷۳	۰/۳۸۵	۴۳/۸۲	۲/۷۴	۵۸/۴۶۸
۸	۶/۶۳۴	۰/۹۳۴	۲/۲۲	۱/۹۷۸	۰/۴۱۱	۴۶/۷	۳/۳	۶۲/۱۷۸
۹	۷/۵۷	۰/۹۷۲	۲/۵۲	۲/۱	۰/۴۴۵	۵۶/۶	۳/۸۴	۷۴/۰۰۲
۱۰	۶/۸۸۷	۰/۷۸۶	۱/۸۳۸	۱/۶۷۶	۰/۳۶۵	۴۲/۲	۴/۶	۵۸/۳۵۴
۱۱	۷/۳۶۹	۰/۸۹	۲/۲۶۵	۲/۰۵۳	۰/۴۱۵	۴۷/۸	۴/۱	۶۴/۸۲
۱۲	۷/۳۷	۰/۹۵۳	۲/۳۳	۲/۰۵۳	۰/۴۳۶	۵۳/۱۲	۳/۸۳	۶۹/۰۴
۱۳	۷/۱۶۶	۰/۸۸۶	۲/۰۸۵	۱/۸	۰/۳۹	۴۱/۳۲	۳	۵۶/۶۳
۱۴	۷/۱۸	۰/۸۶۵	۲/۰۵۵	۱/۷۸۶	۰/۳۸۸	۴۱/۸	۲/۹۳	۵۶/۹۷۷
۱۵	۸/۴۷	۰/۸۹۶	۲/۲۴	۱/۹۱۷	۰/۳۷	۴۶	۳	۶۲/۸۹۶
۱۶	۷/۱۸	۰/۸۶۵	۲/۰۵۵	۱/۷۱۸	۰/۳۹۰	۴۸/۰۳	۲/۹۳	۶۳/۱۱
مجموع	۱۱۵/۷۰۳	۱۴/۶۵	۳۵/۳۸۵	۳۰/۷۴	۶/۴۳۵	۷۹۰/۶	۴۷	

*شاخص ریسک (خطر) RI (Risk Index) یا خطر اکولوژیکی محیط زیستی

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

بحث

اصولاً منشاء آلاینده‌های محیط زیستی در سیستم‌های ساحلی متعدد است و این آلاینده‌ها از راه‌ها و فرآیندهای متفاوتی وارد سیستم‌های آبی و در نتیجه سواحل می‌گردند (۲۷). بنابراین ارزیابی شرایط آلودگی در این اکوسیستم‌ها به منظور پیشگیری، کنترل و هشدار به جوامع بشری از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این میان یکی از روش‌های ارزیابی شرایط آلودگی در محیط، آنالیز و بررسی آنها در رسوبات منطقه است. جهت بررسی میزان آلودگی در رسوبات روش‌های متعددی وجود دارد که از جمله می‌توان به مقایسه با مقادیر مرجع، حد طبیعی و نرمال منطقه، مقایسه با استانداردهای جهانی و نیز مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده در سایر نقاط جهان اشاره کرد. که در این مطالعه به اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین وضعیت آلودگی منطقه مورد مطالعه پرداخته شد. به طور کلی یافته‌ها نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین غلظت برای فلز آهن و جیوه به میزان (۶۰/۶۵±۵/۱۸ و ۰/۰۱۲±۰/۰۱۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به‌دست آمد. و در نهایت روند تغییرات غلظت فلزات مختلف به‌ترتیب میانگین غلظت (از بیشترین به کمترین) به صورت آهن، روی، مس، نیکل، کروم، سرب، کادمیوم و جیوه به دست آمد.

بررسی میانگین غلظت فلز آهن در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین و کمترین غلظت آن به ترتیب به میزان (۶۰/۶۵±۵/۱۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه‌های شرینو مشاهده شد، اصولاً مقادیر بالای آهن می‌تواند به سبب حمل و نقل نفت خام و رنگ‌آمیزی شناورها و کشتی‌ها باشد (۲۸) و کم‌ترین میزان در ایستگاه نخل‌تقی به دست آمد. برای سایر فلزات به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت به این صورت مشاهده شد؛ برای فلز مس بیشترین میزان آلودگی به میزان (۳۳/۸۹±۰/۰۸) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه فاز ۱۴ به دست آمد. فلز مس عموماً در ترکیب رنگ مورد استفاده در صنایع وجود دارد، که ممکن است آلودگی ایجاد شده، ناشی از عملیات رنگ‌آمیزی در صنایع موجود همچنین رهاسازی این عناصر، از رنگ بدنه کشتی‌ها و شناورها و نیز در پساب‌های شهری و خانگی باشد (۲۹)، و کمترین میزان این فلز در ایستگاه روبه روی آب شیرین‌کن هیوندایی (۲۶/۵۳±۵/۰۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بیشترین آلودگی سرب به میزان (۱۰/۰۸±۲/۴۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه روبه روی خروجی فازهای ۱ تا ۳ است، که باتوجه به موقعیت این ایستگاه و نظر به توسعه منطقه مذکور و فعالیت‌های متعدد صنعتی در نواحی اطراف آن، در نتیجه بار آلودگی ناشی از فعالیت‌های فعلی همچون ورود فاضلاب فازهای مربوطه به‌ویژه ترکیبات نفتی، در کنار ورود تخلیه آب توازن کشتی‌ها، و فاضلاب‌های صنعتی و شهری باشد، به علاوه قابل ذکر است که کمترین غلظت آن به میزان (۸/۹۸±۰/۲۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم درایستگاه نخل تقی اندازه‌گیری شد.

بیشترین و کمترین غلظت کادمیوم به میزان (۰/۵۰۳±۰/۰۷ و ۰/۴۱۳±۰/۱۵) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه دهانه خور بساتین و سیراف؛ به دست آمد. دلیل این امر احتمالاً مربوط به ورود پساب‌های صنعتی، رواناب‌ها و حمل ذرات رسوبی حاوی این فلز به دریا می‌شود. 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 (۳۰). همچنین منبع اصلی کادمیم موجود در دریاها، فاضلاب‌های صنعتی و شهری است (۳۱). فراوانی کادمیوم به طور کلی در طبیعت پایین است و بیشتر دارای منشأ انسانی می‌باشد (۳۲).

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

برای فلز روی بیشترین غلظت به میزان (۴۹/۶±۲/۰۳) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه خوربید خون ۱ مشاهده شد. روی بیست و پنجمین عنصر فراوان در پوسته زمین است که بین ۰/۰۰۰۵ و ۰/۰۲ درصد پوستهٔ زمین را تشکیل می‌دهد. فلز روی می‌تواند به شکل ZnCO3 رسوب نماید. اصولاً میزان بالای آن می‌تواند نشان دهنده فعالیت‌های بشری و نرخ بالای رسوب‌گذاری باشد (۳۳). علاوه بر این کمترین مقدار روی به میزان (۴۳/۲۹±۶/۶۱) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه روبه‌روی فاز ۱۴ اندازه‌گیری شد. در اطراف ایستگاه‌های نمونه‌برداری مناطق مسکونی قرار دارند و فاضلاب این مناطق به صورت تصفیه نشده وارد محیط دریایی می‌شود. این عامل خود می‌تواند باعث افزایش آلاینده‌های مختلف از جمله فلزات در این ایستگاه‌ها گردد. از طرفی آلاینده‌های حاصل از پساب‌های شهری، که در نزدیکی این ایستگاه واقع شده، ممکن است باعث بالا بودن روی این منطقه شده باشد. کیل‌مید (Kilemade) و همکاران، غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی را در رسوبات بندر Cork اندازه‌گیری کردند و دریافتند که این رسوبات دارای غلظت بالایی از این فلزات سنگین می‌باشد. علت وجود این آلودگی‌ها را عواملی چون فاضلاب‌ها، فاضلاب‌های شهری و صنعتی در منطقه عنوان کردند (۳۴).

بیشترین و کمترین آلودگی فلز کروم به میزان (۲۰/۰۲±۲/۸۴ و ۱۶/۰۴۶±۰/۸۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم، به ترتیب در ایستگاه روبه روی خروجی فازهای ۱ تا ۳ و برکه چوپان اندازه‌گیری شد. که علت آن را احتمالاً می‌توان بالاتر بودن فعالیت صنعتی مرتبط با فازهای ۱ تا ۳ و پساب حاصل از آنها در کنار تخلیه آب توازن ناشی از تردد کشتی‌ها در این محل باشد. کروم به طور کلی در PH بین ۶ تا ۸ محلول است. این عنصر به دلیل تمایل کم به انحلال در آب و غالباً با اکسیدهای آهن پیوند دارد و بیشتر توسط ذرات دانه ریز و به صورت فاز معلق حمل و در رسوبات ته‌نشین می‌شود. کروم و ترکیباتش کاربردهای صنعتی متنوعی بخصوص در صنعت آبکاری و چرم دارد. و مطابق شواهد موجود با نزدیک شدن به محل ورود پساب‌های مراکز صنعتی و شهری غلظت آن افزایش می‌یابد (۳۵)، که این مطلب نشان دهندهٔ تأثیر عوامل انسان‌زاد بر آلودگی کروم در رسوبات ساحلی منطقه می‌باشد.

بیشترین و کمترین آلودگی نیکل (۳۳/۳۶±۱/۲۱ و ۱۷/۵۳±۰/۱۶) میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب در ایستگاه خوربید خون ۲ و برکه چوپان و اندازه‌گیری شد، اصولاً قسمت اعظم نیکل به صورت کلوئیدی بوده و شدیداً در مصب‌ها و سواحل رسوب می‌کند. نیکل از جمله عناصر مهم آلاینده محیط زیست و نیز از اجزای تشکیل دهنده نفت می‌باشد که علت آن می‌تواند به نفت‌خیز بودن منطقه برگردد. همچنین بالا بودن غلظت نیکل در این استگاه خوربید خون ۲ می‌تواند ناشی از منابع نقطه‌ای و یا احتمالاً لجن حاصل از لایروبی اسکله‌ها یا ورود لجن فاضلاب شهری باشد. زیرا که فاضلاب شهری هم مقدار قابل توجهی از نیکل به این با خود دارند (۱۹ و ۳۵).

بشترین آلودگی جیوه (۰/۰۰۴±۰/۰۴۹/) میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه‌های خوربید خون ۲ به دست آمد که مطابق مطالعات گذشته منابع ورود جیوه به محیط، آلودگی‌های نفتی، حمل و نقل و احتراق سوخت فسیلی و پساب‌های شهری و صنعتی است (۳۵ و ۳۶). به طور معمول غلظت جیوه موجود در نفت خام و گاز طبیعی، ۰/۵ نانوگرم بر گرم تا ۱۰ میکروگرم بر گرم می‌باشد. همچنین استاتوپولو (Stathopoulou) و همکاران، نیز مقادیر بالای جیوه در رسوبات سطحی نزدیک

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

صنایع پتروشیمی بخصوص صنعت نفت، و محل ساخت و تعمیرکشتی‌ها مشاهده کردند (۳۷). کمترین مقدار جیوه در ایستگاه فانوس دریایی به میزان (۰/۰۱۲±۰/۰۰۲) میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. قابل ذکر است که فاکتورها و عوامل متعددی می‌توانند در گستردگی نتایج به دست آمده دخیل باشند. از جمله این موارد می‌توان به شرایط اکولوژیکی و فیزیکی پویا در این منطقه، فعالیت‌های گسترده و متقاوت اعم از شهری، صنعتی اشاره نمود که تغییرات غلظت عناصر و ارزیابی‌های محیطی را پیچیده می‌نماید.

جهت تعیین میزان آلایندگی رسوبات به عناصر سنگین بایستی میزان غلظت عناصر در منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. که در این میان مقایسه با استانداردهای موجود برای همان منطقه یکی از این روش‌ها است، در این مطالعه به دلیل عدم وجود استاندارد خاص برای آلودگی منطقه مورد مطالعه، از استانداردهای جهانی و موجود در دیگر کشورها استفاده شد. اگر چه در مقایسه‌ها باید محتاط بود زیرا تفاوت‌های مختلفی در خصوصیات و یا پارامترهای فیزیکی- شیمیایی، بین غلظت آنها در محل و زمان‌های مختلف وجود دارد (۳۸). و در واقع میانگین غلظت آنها بسته به نوع فلز و محل اندازه‌گیری کمتر یا بیشتر بوده است. اما به طور کلی غلظت فلزات در رسوبات منطقه مورد مطالعه همسان با مقادیر تعیین شده برای دیگر مطالعات انجام شده در منطقه خلیج‌فارس بوده است (جدول ۱۳). از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه عظیمی و همکاران، که به بررسی سطوح فلزات سنگین کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج‌فارس- بندر امام خمینی پرداختند، اشاره کرد (۳۹). یا می‌توان به مطالعه ربانی و همکاران، اشاره نمود که محدود غلظت جیوه در منطقه عسلویه را بین (۰/۰۳-۰/۰۲ میکروگرم بر گرم) بدست آوردند که نسبت به غلظت به‌دست آمده در این پژوهش به مراتب کمتر می‌باشد (۴۰). پوررحیم و همکاران غلظت جیوه را در رسوبات جاسک و سیریک به ترتیب به میران ۰/۰۲۷ و ۰/۰۳ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آورند (۳۶)، که به ترتیب نسبت به مطالعه حاضر (میانگین کلی ۰/۰۲۹ میلی‌گرم بر گرم) کمتر و بیشتر بوده است. که علت این امر را می‌تواند ریزش رودخانه‌ها به دریا و همچنین میزان فعالیت‌های انسانی متفاوت یا تأثیر فاکتورهای محیطی و زمین‌شناسی همچون تغییرات دینامیک آب در نقاط مختلف بیان کرد. بیلوس (Bilos) و همکاران، گزارش دادند که تغییرات زیاد فلزات سنگین در رسوب یا ذرات معلق به علت تغییرات دینامیک آب می‌باشد (۴۱). از طرفی عامل اصلی ته‌نشینی رسوبات در آب دریا و خورها به‌وسیله جریانات و دینامیک حرکت آبها کنترل می‌شود (۴۲). به طورکلی محیط زیست سواحل بوشهر تحت تأثیر صدمات و مخاطرات فراوان ناشی از فعالیت‌های انسانی به علت افزایش رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های صنعتی مرتبط با صنایع نفت و پتروشیمی، صنعت ماهیگیری و گردشگری قرار دارد. که این موضوع نیاز شدید به پایش دوره‌ای آلاینده‌ها و انجام تحقیقات علمی مناسب را می‌طلبد.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

جدول ۱۳) مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات(میلی‌گرم برکیلوگرم) مورد مطالعه با برخی از سواحل مناطق دیگر

		سرب	مس	روی	نیکل	کروم	کادمیوم	آهن	جیوه	منبع
تالاب انزلی		۲۷/۶	۵۷/۳	۱۲۵/۴	۸۱/۱	۵۱/۱	۰/۳۸	۴۵۴۲۴/۵	–	(۴۳)
سواحل بحرین		۷/۸۴	۳۴/۱۵	۲۱/۴۱	۲۳/۲۰	۴۱/۸	۰/۰۸		–	(۴۴)
عسلویه		۳	۸/۱۷						–۰/۰۳ ۰/۰۲	(۴۰)
خلیج چابهار		۲۸/۸۴	۱۴/۱۵	۰/۴۵	۳۳/۴۶	۱۹/۷۴	۰/۰۸		–	(۴۵)
خلیج فارس خوزستان		۲۳/۵	۲۱/۸		۷۳/۶		۰/۰۵		–	(۳۹)
دریای خزر		۱۷/۰۸	۲۹/۶۵	۷۶/۹۲	۳۷/۰۴	۳۰/۸۴	–	–	–	(۴۶)
سواحل بوشهر(عسلویه)	نای بند	–	۳/۳۸	۱۰/۳۷	۱۵/۴۹	۱۰۴/۱۶	–	۱/۰۱۸	–	(۴۷)
	لاو	–	۲/۴۷	۵/۷۳	۶/۵۷	۱۷/۵۷	–	۰/۲۴	–	(۴۷)
عسلویه		۳/۵۶ –۵/۲۵	–	–	–	–	۱/۱۶ –۱/۴۴	–	–	(۴۸)
میانگین جهانی رسوبات		۱۹	۳۳	۹۵	۵۲	۷۲	۰/۱۷	۴۱۰۰۰	–	(۳۵)
پوسته زمین		۱۴	۵۰	۷۵	۸۰	۱۰۰	۰/۲	۴۱۰۰۰	–	(۳۵)
میانگین در مطالعه حاضر		۸/۵۸	۲۸/۵۸	۴۵/۱۸	۱۸/۹۶	۱۷/۸۹	۰/۴۴۷	۵۶/۰۶۵	۰/۰۳	

از طرف دیگر باتوجه به اینکه که در اکوسیستم‌های آبی موجودات زنده فراوانی در تماس با رسوبات بستر بوده و یا در آن زندگی می‌کنند، رسوبات می‌توانند به عنوان یک مسیر مهم در مواجهه موجودات آبزی به آلاینده‌ها عمل نمایند. به همین جهت استانداردهایی برای رسوبات تدوین گردیده که می‌توان از آنها جهت درجه‌بندی رسوبات آلوده و نیز پیش‌بینی احتمال بروز اثرات سوء زیستی در آبزیانی که در تماس با این رسوبات قرار دارند استفاده نمود. به همین جهت به منظور تعیین میزان آلودگی رسوبات سطحی منطقه مورد مطالعه به فلزات جیوه، سرب، کادمیوم، کروم، نیکل، مس، روی و آهن مقدار میانگین غلظت آنها با استانداردهای کیفیت رسوب کانادا SQGs (Sediment Quality Guidelines) و راهنمای کیفیت رسوب آمریکا NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) مقایسه شد. استانداردهای SQGs و NOAA، برای ارزیابی درجه آلودگی و بررسی میزان تأثیر آلاینده‌ها بر روی موجودات زنده مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴۹). در استاندارد NOAA دو خطر برای آلودگی فلزات در رسوبات بیان شده است که به صورت ERL (Effect RangLow) حدی که کمتر از ۱۰ درصد جوامع بیولوژیکی در خطرند و ERM (Effect Range Medium) حدی که کمتر از ۵۰ درصد جوامع بیولوژیکی در خطرند ارائه شده است. استاندارد کیفیت رسوب (SQGs) با دو شاخص TEC (Threshold effect concentration) و PEC (Probable Effect Concentration) که به ترتیب نشان دهنده آستانه غلظت تأثیر و غلظت تأثیر محتمل می‌باشند، نمایش داده می‌شوند. در استاندارد کیفیت رسوب کانادا دو سطح LEL (Lowest Effect Level) مشخص کننده سطحی از آلودگی است که برای عمده جانوران کفزی قابل تحمل بوده و اثر خاصی در جوامع بیولوژیک مشاهده نمی‌شود، و SEL (Sever Effect Level) نشان دهنده آلودگی شدید است که سلامت موجودات بنتیک را به خطر می‌اندازد و اگر آلودگی از این حد بالاتر باشد. باید آزمایشات دقیق سمیت رسوب تعیین گردد (۵۰). به طور کلی میانگین غلظت سالانه فلزات مورد بررسی جیوه، سرب، کادمیوم، کروم،

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

نیکل، مس و روی در رسوبات منطقه در مقایسه با استانداردهای بیان شده به جز برای دو فلز مس و نیکل که از استاندارد LEL بیشتر بوده‌اند، نسبت به سایر استاندارد غلظت فلزات به مراتب پایین‌تر بود که نشان دهنده عدم آلودگی جدی منطقه به این فلزات بوده است (جدول ۱۴). اما قابل ذکر است با توجه به موقعیت شهر و نظر به توسعه منطقه مذکور و پروژه‌های متعدد در دست اجرا، در این محدوده و بار آلودگی ناشی از فعالیت‌های فعلی صنایع، اتخاذ راه‌کارهای مناسبی که بتواند در جهت کمک به کاهش آلاینده‌ها مؤثر باشد، ضروری است.

جدول ۱۴) مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات سرب، نیکل، کادمیوم، کروم، روی، جیوه ، مس و آهن(میلی‌گرم بر کیلوگرم) با استانداردهای NOAA و SQGs

راهنما	سرب	مس	روی	نیکل	کروم	جیوه	کادمیوم	آهن	منبع
Metal background guidelines	۵/۰۰	۱۵/۰۰	۱۰۰	۱۰	–	۰/۰۸	۰/۳	–	(۵۱)
ERL	۴۷	۳۴	۱۵۰	۲۰/۹	۸۱	۰/۱۵	۱/۲	–	(۴۹)
ERM	۲۱۸	۲۷۰	۴۱۰	۵۱/۶	۳۷۰	۰/۷۱	۹/۶	–	(۴۹)
TEC	۳۸/۸	۳۱/۶	۱۲۱	۳۵	۴۳/۴	۰/۱۸	۰/۹۹	–	(۴۹)
PEC	۱۲۸	۱۴۹	۴۵۹	۹۱/۳	۱۱۱	۱/۰۶	۴/۹۸	–	(۵۰)
LEL	۳۱	۱۶	۱۲۰	۱۶	۲۶	۰/۲	۰/۶	٪۲	(۵۰ و ۵۲)
SEL	۲۵۰	۱۱۰	۸۲۰	۷۵	۱۱۰	۲	۱۰	٪۴	(۵۲)
میانگین در مطالعه حاضر	۸/۵۸	۲۸/۵۸	۴۵/۱۸	۱۸/۹۶	۱۷/۸۹	۰/۰۳	۰/۴۴۷	۵۶/۰۶۵	

ERL, Effect RangLow; ERM, Effect Range Medium; TEC ,Threshold effect concentration; PEC, Probable Effect Concentration; LEL, Lowest Effect Level; SEL, Sever Effect Level (.values in mg/kg dry weight)

بر اساس شاخص انباشت ژئوشیمیایی مولر (Muller)، کیفیت رسوبات برای تمامی فلزات مورد مطالعه با توجه به منفی بودن مقادیر به‌دست آمده در کلاس صفر (فاقد آلودگی) قرار گرفته‌اند (جدول ۳). که این نتایج با یافته‌های مهدی‌نیا و همکاران که بررسی شاخص انباست ژئوشیمایی در مناطق ساحلی استان بوشهر پرداختند، مطابقت دارد (۵۳). با توجه به میانگین شاخص زمین انباشتگی و نیز درصد طبقات این شاخص، می‌توان بیان داشت که بیشترین انباشت برای فلز کادمیوم در نمونه‌های رسوب منطقه اتفاق افتاده است. میزان بالای شاخص زمین انباشت کادمیوم نسبت به سایر عناصر و همچنین میزان بالای آن نسبت به میانگین کادمیوم در پوسته زمین (جدول ۱۳) نشان‌دهنده اثر فعالیت‌های مختلف انسانی بر افزایش و تغییرات گسترده غلظت آن در منطقه است.

نتایج فاکتور آلودگی نشان داد اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی تا آلودگی متوسط قرار دارند. به طوری که برای فلزات مس و کادمیوم ضریب آلودگی متوسط و برای سایر فلزات پایین بوده است. بالا بودن فاکتور آلودگی کادمیوم و مس در منطقه بررسی شده احتمالاً می‌تواند به دلیل وجود دخالت‌های انسانی و پساب‌های خروجی از صنایع موجود در منطقه باشد. همچنین کم بودن مقدار مرجع کادمیوم در این مطالعه می‌تواند عاملی برای بالا بودن مقدار فاکتور آلودگی محاسبه شده برای کادمیوم باشد. همچنین یافته‌های بررسی درجه آلودگی فلزات مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که از این نظر درجه آلودگی کم بودن و بر اساس درجه آلودگی به ترتیب ایستگاه ۹ (روبروی خروجی فازهای

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

۱ تا ۳) و ۷ (نخل تقی) دارای بیشترین و کمترین درجه آلودگی می‌باشد. بعلاوه نتایج شاخص آلودگی اصلاح شده نشان داد که از این لحاظ محل مورد بررسی در طبقه درجه بسیار پایین از آلودگی تا درجه پایین آلودگی قرار دارند، به طوری که برای مس وکادمیوم درجه آلودگی پایین بوده (طبقه ۲) و برای سایر فلزات درجه بسیار پایین (طبقه ۱) بوده است .

شاخص بار آلودگی به عنوان یک سیستم استاندارد برای تشخیص آلودگی است که مقایسه میزان آلودگی میان سایت‌های مختلف و در زمان‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد (۵۳)، این شاخص امکان ارزیابی کلی از وضعیت سمیت ناشی از سهم چند فلز را در یک نمونه رسوب به محققین می‌دهد (۲۲). نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که مقادیر PLI برای تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱ می‌باشد. که این موضوع نشان‌دهنده عدم آلودگی یا آلودگی بسیار کم در منطقه به فلزات سنگین است. همچنین براساس جدول ۱۱، می‌توان بیان کرد که ایستگاه ۹ و ۷ به ترتیب دارای بیشترین و کمترین بار آلودگی به میزان ۰/۴ و ۰/۳۴ می‌باشد.

نتایج بررسی خطر اکولوژیکی و خطر محیط‌زیستی فلزات سنگین نشان داد، اکثر ایستگاه‌های مورد بررسی، خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در در طبقه خطر پایین تا متوسط قرار دارند. به طوری که برای کادمیوم خطر اکولوژیکی در طبقه متوسط بوده و برای سایر فلزات در طبقه پایین خطر می‌باشند. همچنین یافته‌های بررسی شاخص خطر محیط زیستی این فلزات نشان داد که با توجه به مقادیر به‌دست آمده (کمتر از ۱۵۰) خطر محیط زیستی این فلزات پایین می‌باشد. بررسی شاخص خطر اکولوژیک نیز، منطقه مطالعه شده را از نظر میزان کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

امروزه آلودگی ناشی از عناصر سنگین در اکوسیستم‌های آبی به دلیل خواصی همچون سمیت، پتانسیل سرطان‌زایی و جهش‌زای زیاد، پایداری بسیار طولانی، تجمع‌پذیری بالا در سطوح مختلف زنجیره غذایی یکی از بزرگ‌ترین مشکلات و نگرانی‌های در سراسر جهان می‌باشند (۵۶-۵۴). به همین جهت پایش، بررسی غلظت آنها به منظور شناسایی وضعیت محیط زیست منطقه، خطرات و در نتیجه جلوگیری از ورود آنها از اهمیت زیادی برخورداراست. بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، سرب، کروم، مس، نیکل، روی و آهن) در رسوبات سطحی منطقه ویژهٔ اقتصادی – پارس جنوبی در سواحل استان بوشهر پرداخته شد. که در پایان یافته‌ها نشان داد به ترتیب بیشترین و کمترین میزان غلظت برای فلزات آهن و جیوه برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به دست آمد. به طوری که روند تغییرات غلظت فلزات مختلف به ترتیب به صورت (جیوه< کادمیوم < سرب < کروم < نیکل < مس < روی <آهن) اندازه‌گیری شد. یافتهٔ مقایسه غلظت فلزات در رسوبات مورد مطالعه با پوسته زمین و سایر رسوبات سواحل مناطق مختلف نشان داد که غلظت‌های به‌دست آمده به جز برای فلز کادمیوم برای سایر فلزات به مراتب کمتر از پوسته زمین می‌باشد. به علاوه غلظت آنها در محدوده غلظت فلزات در مطالعات مشابه صورت گرفته توسط سایر محققین در مناطق مختلف بوده است. که از جمله این مطالعات می‌توان به مواردی همچون؛ نوروزی و همکاران (۴۷)؛ دهقانی و همکاران (۴۸) و ربانی و همکاران (۴۰)؛ هاشمی و همکاران (۴۶) اشاره نمود، همچنین، بالابودن غلظت فلزات کادمیوم در مقایسه با مقدار متناظر آنها در پوستهٔ زمین، بـه همراه مقادیر بالای

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

فاکتور آلودگی، آلودگی صلاح شده بـرای فلزات کادمیوم و مس از تأثیر فعالیتهای انسانی در آلودگی و انباشت فلزات سنگین ذکر شده در رسوبات منطقه حکایت دارد. بر مبنای استانداردهای کیفیت رسوب، میانگین غلظت نیکل و مس در نمونه‌ها کمتر از SEL و بیشتر از LEL است. بنابراین غلظت این عناصر در رسوبات در وضعیت آلودگی قرار دارد و اگر این افزایش آلودگی ادامه داشته باشد، می‌تواند بر جوامع زیستی به خصوص جانوران کفزی اثرات منفی ایجاد کند. بررسی خطر اکولوژیکی و خطر محیط زیستی فلزات سنگین نشان داد، برای کادمیوم خطر اکولوژیکی در طبقه متوسط بوده و برای سایر فلزات در طبقه بدون خطر می‌باشند. همچنین براساس محاسبه شاخص خطر اکولوژیکی فلزات می‌توان در بین عناصر اندازه‌گیری شده رسوبات نظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار دارد.

پژوهش حاضر تحت حمایت سازمان و ارگانی نیست.

سپاس و قدردانی

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از سازمان منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس و همچنین جناب آقای مهندس احمدزاده و مهندس پورمحمد شاهین به خاطر راهنمایی‌ها و همکاری‌های بی‌دریغشان در انجام این پروژه را اعلام می‌دارند.

تضاد منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

References:

1.Maanan M, Saddik M, Maanan M, et al. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecol Indic 2015; 48: 616-26.
2.Yipel M, Yarsan E. A risk assessment of heavy metal concentrations in fish and an invertebrate from the Gulf of Antalya. Bull Environ Contam Toxicol 2014; 93(5): 542-8.
3.Mashal Kh, Salahat M, Al-Qinna M, et al. Spatial distribution of cadmium concentrations in street dust in an arid environment. Arabian J Geosciences 2015; 8(5): 3171-82.
4.Al-Taani AA, Batayneh AT, El-Radaideh N, et al. Spatial distribution and pollution assessment of trace metals in surface sediments of Ziqlab Reservoir, Jordan. Environ Monit Assesst 2015;187(2): 32.
5.Yang X, Duan J, Wang L, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. Environ Monit Assesst 2015; 187(3): 111.
6.Shang Z, Ren J, Tao L, et al. Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. Environ Monit Assesst 2015; 187(3): 79.
7.Gurumoorthi K, Venkatachalapathy R. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. Pollution 2016; 2(3): 269-87.
8.Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TV. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Environ Chem Lett 2010; 8(3): 199-216.
9.Zhang L, Liao Q, Shao S, et al. Heavy metal pollution, fractionation, and potential ecological risks in sediments from Lake Chaohu (Eastern China) and the surrounding rivers. Int J Environ Res Public Health 2015; 12(11):14115-31.
10.Veerasingam S, Venkatachalapathy R, Ramkumar T. Historical environmental pollution trend and ecological risk assessment of trace metals in marine sediments off Adyar estuary, Bay of Bengal, India. Environ Earth Sci 2014;71(9): 3963-75.
11.Alyazichi YM, Jones BG, McLean E. Source identification and assessment of sediment

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

contamination of trace metals in Kogarah Bay, NSW, Australia. Environ Monit Assess 2015; 187(2): 20.
12.Arias Almeida JC, Ramírez JJ. Caracterización preliminar de los sedimentos de un embalse tropical: represa La Fe (El Retiro, Antioquia, Colombia). Limnetica 2009; 28(1): 065-78
13.Yang X, Duan J, Wang L, et al. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. Environ Monit Assess 2015; 187(3): 111.
14.Tack FM, Verloo MG. Chemical speciation and fractionation in soil and sediment heavy metal analysis: a review. Int J Environ Anal Chem 1995; 59(2-4): 225-38.
15.Altnda A, Yiiti S. Assessment of heavy metals concentrations in the food web of lake BeyehirTurkey. Chemosphere 2005; 60(4): 522-56.
16.Venkatramanan S, Ramkumar T, Anithamary I, Jonathan MP. Speciation of selected heavy metals geochemistry in surface sediments from Tirumalairajan river estuary, east coast of India. Environmental monitoring and assessment. 2013;185(8): 6563-78
17.Hossein NA, Tavassoly A, Rezaei M, editors. Evaluation of heavy metals in the sediments of the Persian Gulf, Case Study: Port Saheid Rajai. The 7th National Conference & Exhibition on Environmental Engineering. 2014 Dec 10, Tehran. Iran (Persian)
18.Abdollahi SZ, Raoufi Z, Faghiri I, et al. Contamination levels and spatial distributions of heavy metals and PAHs in surface sediment of Imam Khomeini Port, Persian Gulf, Iran. Mar Pollut Bull 2013; 71(1): 336-345.
19.Darvishnia Z, Riahi Bakhtiari A, Kamrani E, et al. Bioaccumulation of Heavy Metals (Pb, Fe & Zn) in the Tissues of Skeletal Coral family, Faviidae and Surrounding Sediments in the South of Qeshm Island-The Persian Gulf. Journal of Aquatic Ecology. 2015; 5(1):77-87. (Persian)
20.Yap CK, Ismail A, Tan S, et al. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel Perna viridis from the west coast of Peninsular Malaysia. Environ Int 2002; 28(1-2): 117-26.
21.Muller G. Index of Geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo J 1969; 2(3): 108-18.
22.Rahman SH, Khanam D, Adyel TM, et al. Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. Appl Sci 2012; 2(3): 584-601.
23.Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. Water Res 1980;14(8): 975-1001.
24.Abrahim GM. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. Auckland: University of Auckland, 2005.
25.Yi Y, Yang Z, Zhang S. Ecological risk assessme nt of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. Environ Pollut 2011; 159(10): 2575-85.
26.Wang J, Liu W, Yang R, et al. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. Disaster Adv 2013; 6(S3): 366-77.
27.Jain CK, Sharma MK. Distribution of trace metals in the Hindon River system, India. Journal of hydrology. 2001 Nov 15; 253(1):81-90.
28.Alsagh A, Barmaki M. Determination of Pollution Caused by Heavy Metals Cu, Zn, Ni and Pb in the Persian Gulf Coastal Sediments. J Environ Sci Technol 2013; 15(2): 1-11. (Persian)
29.Zhou F, Guo H, Hao Z. Spatial distribution of heavy metals in hong kongs marine sediments and their human impacts: a GIS based chemometric approach. Mar Pollut Bull 2007; 54(9): 1372-84.
30.Duzzin B, Pavoni B, Donazzolo R. Macroinvertebrate Communities and sediments as pollution indicators for heavy metals in the river Adige (Italy). Water Res 1995; 22(11): 1353-63.
31.Habibi S, Safahieh A, Pash H. Determination of impurity levels of heavy metal (Cd, Ni, Pb

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

and Cu) Bushehr coastal sediments. J Sci Technol 2013; 11(4): 84-95. (persian)
32.Kanakaraju D, Ibrahim F, Berseli MN. Comparative study of heavy metal concentrations in razor clam (Solen regularis) in Moyan and Serpan, Sarawak. Global J Environ Res 2008; 2(2): 87-91.
33.Hamed MA, Lotfy HR, Kandawa-Schulz M. Chemical forms of copper, zinc, lead and cadmium in sediments of the northern part of the Red Sea, Egypt. Pakistan J Mar Sci 2007; 16(2): 69-78.
34.Kilemade M, Hartl MGJ, Sheehan D, et al. An assessment of the pollutant status of surficial sediment in Cork Harbour in the South East of Ireland with particular reference to polycyclic aromatic hydrocarbons. Mar Pollut Bull 2004; 49(11): 1084-96.
35.Karimi M, Qasmpoorshirazi MR. Geochemical distribution and pollution rate of heavy metals (pb, zn, ni, cr & as) in kor river sediments (south of marvdasht). Journal of Geotechnical Gology (Applied Geology) 2012; 8(2): 133-45. (persian)
36.Pourrahim Z, Dahrazma B, Ghasemi H, Mortazavi M, Taghipour B. Sedimentological assessment and contamination of superficial sediments in sirik and jask harbors with As and Hg. Journal of Stratigraphy And Sedimentology Researches 2009; 25(2): 47-64.
37.Stathopoulou E, Dassenakis M, Skoullos M. Levels of mercury concentration in sediments of the Saronikos Gulf. InProceedings 7th International Conference on Environmental Science and Technology 2001 Sep 3-6, Ermoupolis, Syros island, Greece.
38.Haritonidis S, Malea P. Seasonal and local variation of Cr, Ni and Co concentrations in Ulva rigida C. Agardh and Enteromorpha linza (Linnaeus) from Thermaikos Gulf, Greece. Environ Pollut 1995; 89(3): 319-27.
39.Azimi A, Ali Dadalhy H, Afahieh A, et al. Survey the heavy metals levels, (Mercury, cadmium, lead and copper) Sediments in North West Persian Gulfof north west of Persian Gulf in Emam Khomeini port. J Oceanography 2012; 3(11): 33-41. (Persian)
40.Rabbani M, Asadullah J, Sharif A. Measurement of Heavy Metals lead, nickel and mercury in water and sediments in the Persian Gulf area of operations Assaluyeh. Journal of Environmental Sciences and Technology 2006; 9(3): 23-33. (persian)
41.Bilos C, Colombo JC, Presa MJ. Trace metals in suspended particles, sediments and Asiatic clams (Corbicula fluminea) of the Río de la Plata Estuary, Argentina. Environ Pollut 1998; 99(1): 1-11.
42.Maanan M. Heavy metal concentrations in marine molluscs from the Moroccan coastal region. Environ Pollut 2008; 153(1): 176-83.
43.Jamshidi-Zanjani A, Saeedi M. Metal pollution assessment and multivariate analysis in sediment of Anzali international wetland. Environmental earth sciences. 2013; 70(4):1791-1808.
44.de Mora S, Fowler E, Wyse S, et al. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Gulf of Oman. Mar Pollut Bull 2004; 49(5): 410-24.
44.Bazzi A. Determining the level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar. Iranian Journal of Health and Environment. 2015 Aug 15;8(1):45-56. (Persian)
46.Hashemi SJ, Riahi Bakhtiari A, Lak R. Source Identification and Distribution of Lead, Copper, Zinc, Nickel, Chromium and Vanadium in Surface Sediments of Caspian Sea. J Mazand Univ Med Sci 2013; 22(1): 36-50. (Persian)
47.Noroozi KV, Dobaradaran S, Nabipour I, et al. A new bioindicator, shell of Trachycardium lacunosum, and sediment samples to monitors metals (Al, Zn, Fe, Mn, Ni, V, Co, Cr and Cu) in marine environment: The Persian Gulf as a case. J Environ Health Sci Eng 2016; 14(1): 16.
48.Dehghani M, Nabipour I, Dobaradaran S, et al. Cd and Pb Concentrations in the Surface Sediments of the Asaluyeh Bay, Iran. J Community Health Res 2014; 3(1): 22-30. (Persian)
49.Long ER, MacDonald DD, Smith SL, et al. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

and estuarine sediments. Environ Manage 1995; 19(1): 81-97.
50.Hongyi N, Wenjing D, Qunhe W, et al. Potential toxic risk of heavy metals from sediment of the Pearl River in South China. J Environ Sci 2009; 21(8): 1053-8.
51.SEPA (Swedish Environmental Protection Agency). Quality criteria for lakes and watercourses. Chapter 6: Metals. Suggested revision for EPA guidelines. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency, 1998, 18-23.
52.Persaud D, Jaagumagi R, Hayton A. Guidelines for the protection and management of aquatic sediment quality in Ontario. Standards Development Branch. Toronto: Ontario Ministry of Environment and Energy, 1993, 27.
53.Mehdinia A. Monitoring metal contamination in surface sediments Bushehr. The second conference of the International Landscape Ecology, 2016 Oct 26-27, Isfahan, Iran, 2016 (Persian)
54.Angula E. The Tomlinson Pollution Index applied to heavy metal, Mussel–Watch data: A useful index to assess coastal pollution. Sci Total Environ 1996; 187(1): 19-56.
55.Movahed A, Dehghan AV, Haji Hosseini R, et al. Evaluation of heavy metals in the tissues of different species of shrimps collected from coastal waters of Bushehr, Persian Gulf. Iran South Med J. 2013; 16(2) :100-9. (Persian)
56.Sabet F. Bandegani M, Sadeghi M, et al. Heavy metals in salt and water samples from maharloo lake and their comparison with metal concentrations in samples from sirjan, lar, and firoozabad salt mines. Journal of water & wastewater. 2015; 26(1): 89-96.

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]

Original Article

Measurement and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Pars Special Economic Energy Zone

A. Haghshenas (MSc) [1], M. Hatami-manesh (PhD) [2], M. Mirzaei (PhD)[3*], MM. Mir Sanjari (PhD) [2], P. Hossein Khezri (MSc) [1]

[1] Institute of Shrimp, Tehran, Iran
[2] Department of Environment Sciences, School of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran
[3] Environment Group, Institute of Grapes and Raisins, Malayer University, Malayer, Iran

(Received 27 Dec, 2016 Accepted 6 Mar, 2017)

Abstract

Background: Nowadays, heavy metals pollution in aquatic ecosystems is one of the most significant global environmental issues. Since these metals have characteristics such as chemical stability, low degradability and bioaccumulation ability.Therefore they can affect the food chain at different levels, causing an abundant ecological risks for bioorganisms. This study investigates the concentration of heavy metals (mercury, cadmium, lead, chromium, copper, nickel, zinc and iron) in coastal sediments and assesses its ecological in the Pars Special Economic Energy Zone in the south of Iran.

Materials and Methods: In order to assess the concentration of heavy metals, 16 stations along the coast were selected and three samples were taken from each station. After preparation and digestion of the samples, the concentrations of these metals were determined by using Polarography method.

Results: The results showed that the order of average amount of total concentration of metals in the sediments were (Fe > Zn> Cu > Ni> Cr > Pb > Cd > Hg), reflected as (56.065 ± 2.04 > 45.91±12.035 > 28.58±1.77 > 18.96 ± 0.84 > 8.59±0.47 > 0.447 ± 0.07 > 0.03 ± 0.016) mg/kg respectively. In addition, assessment of indicators of the environmental factors such as; Geo accumulation index (Igeo), Contamination factor (CF), Pollution Load Index (PLI) represents low to modeate pollution in the region. Also, the risk assessment for ecological and environmental effect of heavy metals revealed the order of (Cd >Cu> Pb> Ni> Zn> Cr> Hg) respectively.

Conclusion: According to the results, the pollution in the region affected by heavy metals was low for Hg, Zn, Cr, Pb and Ni.This effect was moderate for Cd and Cu and was high for adjusted cadmium concentrations a by normal amount in the crust of the Earth.High levels of pollution factor along with adjusted pollution for Cd, Cu implies the effects of human activities on pollution and accumulation of these heavy metals in sediments in the region. Based on the calculation of the ecological risk index of metals we can express that among the measured elements, Cadmium sediments are in moderate ecological risk.

Key words: Ecological Risk Assessment, Pollution Load Index (PLI), Sediments, Contamination Factor, Heavy Metals

©Iran South Med J. All rights reserved.

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

Copyright © 2017 Haghshenas, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

[*] *Address for correspondence:* Environment Group, Institute of Grapes and Raisins, Malayer University, Malayer, Iran. Email: mohsenmirzayi27@yahoo.com

Website: http://bpums.ac.ir
Journal Address: http://ismj.bpums.ac.ir

[Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-06]