



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

آرش حقشناس (MSc)<sup>۱</sup>، مسعود حاتمی منش (PhD)<sup>۲</sup>، محسن میرزائی (PhD)<sup>۳\*</sup>

میرمهرداد میرسنجری (PhD)<sup>۲</sup>، پریسا حسین خضری (MSc)<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی، پژوهشکده میگوی کشور

<sup>۲</sup> گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

<sup>۳</sup> 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 خصوصیات همچون ثبات شیمیایی، تجزیه پذیری 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 ویژه 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  $0.03 \pm 0.016$  >  $0.447 \pm 0.07$  >  $8.59 \pm 0.47$  >  $17.89 \pm 0.73$  >  $18.96 \pm 0.84$  >  $28.58 \pm 1.77$  >  $45.18 \pm 12.035$  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 پوسته زمین، به 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

## 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 منشأ طبیعی زمین‌شناسی و یا انسانی هستند. منشأ طبیعی عمدتاً ناشی از هوازدگی خاک و سنگ‌ها، فرسایش محیط، آتش‌سوزی جنگل‌ها و فوران آتشفشان‌ها می‌باشند (۵). منشأ 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

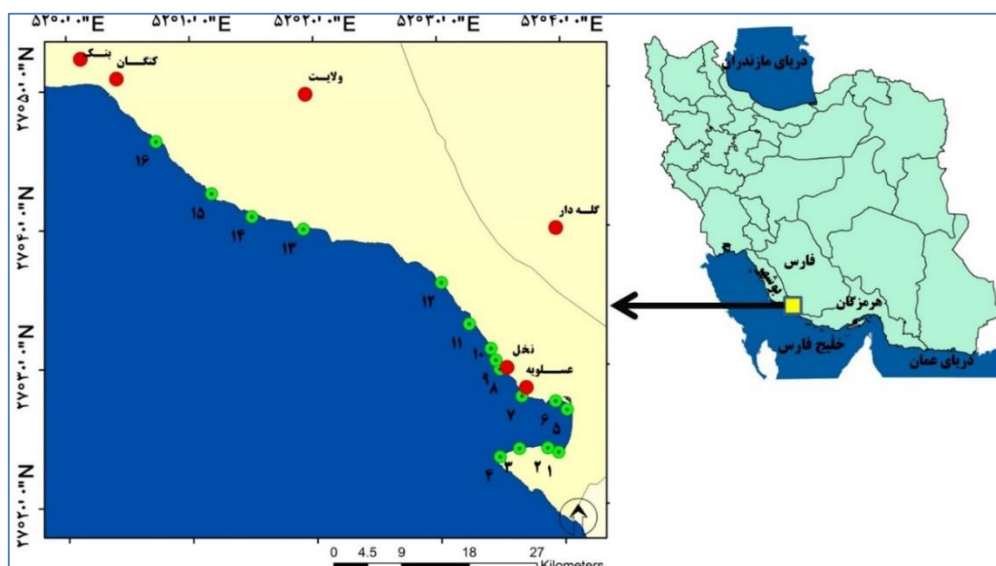
محیط‌زیستی همچون جیوه، سرب و کادمیوم هستند که به طور بالقوه برای محیط‌های آبی بخصوص موجودات زنده و استفاده‌کنندگان آنها سمی و خطرناک هستند (۴، ۸ و ۹). در این میان یکی از محیط‌های که به شدت تحت تأثیر آلودگی‌های شدید ناشی از فعالیت‌های انسانی و تا حدودی طبیعی قرار گرفته‌اند، رسوبات موجود در مصب‌ها و نوارهای 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

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 خلیج فارس 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 جنوب شرق استان بوشهر، که در خلیج فارس واقع شده، است. این منطقه در محدوده جغرافیایی طول شرقی  $52^{\circ} 06'$  تا  $52^{\circ} 34'$  و عرض شمالی  $27^{\circ} 23'$  تا  $27^{\circ} 46'$ ، از جنوب شرقی استان بوشهر (دماغه نایبند) تا جنوب غرب بندرکنگان (برکه چوپان)، واقع در خلیج فارس قرار دارد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

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). خلیج فارس 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 دهه 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 نفت میدان مشترک پارس جنوبی احداث و در حال توسعه است، اشاره نمود. که ورود بیش از حد 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 نوبه خود می‌تواند مشکلاتی



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	نخل تقی	۵۲ ۳۴/۲۸۵	۲۷ ۲۹/۵۷۱	۲/۵
۸	روبروی آب شیرین کن 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 آب شیرین کن 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

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)

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها

جهت سنجش غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در

میلی لیتر رساننده 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 میلی لیتر 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 به دست آمده از نرم‌افزارهای SPSS ویرایش ۲۱ و ۲۰۱۰ Office Excel 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 (Geoaccumulation index) Igeo

(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 به دست آوردن غلظت فلزات سنگین در

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 قرار داده 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 و ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد (Merck، آلمان) و اسید پرکلریک ۷۰ درصد (Merck، آلمان) با نسبت ۱:۴ به آن اضافه گردید. لوله‌های PTFE<sup>۱</sup> 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

<sup>11</sup> Poly Tetra fluoroe Thylene

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)

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

$$I_{geo} = \text{Log}_2 \frac{C_n}{1.5B_n} \quad (1)$$

در این معادله؛  $I_{geo}$ : شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی در رسوبات،  $C_n$ : غلظت فلز سنگین در رسوب (میلی‌گرم بر کیلوگرم) و  $B_n$ : غلظت

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

آهن	کروم	مس	ونادیم	کالت	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

$$CF = \frac{C_i}{C_n} \quad (2)$$

در این رابطه  $C_i$ : غلظت عنصر در نمونه و  $C_n$ : 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)

$$Cd = \sum_{i=1}^8 CF^i \quad (3)$$

### ب) فاکتور آلودگی (Contamination 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) به دست می‌آید (جدول ۴). ضریب آلودگی هاکنسون (Hakanson)، از رابطه ۲ به دست می‌آید (۲۳):

کیفیت رسوب	مقدار درجه آلودگی	ضریب آلودگی رسوب	ضریب آلودگی مقدار
درجه آلودگی پایین	$Cd \leq 6$	ضریب آلودگی پایین	$CF \leq 1$
درجه آلودگی متوسط	$6 \leq Cd \leq 12$	ضریب آلودگی متوسط	$1 \leq CF \leq 3$
درجه آلودگی قابل توجه	$12 \leq Cd \leq 24$	ضریب آلودگی قابل توجه	$3 \leq CF \leq 6$
درجه آلودگی بسیار بالا	$Cd \geq 24$	ضریب آلودگی بسیار بالا	$CF \geq 6$

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).

#### 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):

$$mCd = \frac{\sum_{i=1}^8 C_f^i}{n} \quad (4)$$

در این معادله؛ CF فاکتور آلودگی و n تعداد پارامترهای مورد بررسی است. رابطه ۵ این امکان را فراهم می‌سازد

محدوده شاخص (mCd)	وضعیت آلودگی رسوب
$0 \leq mCd \leq 1/5$	درجه بسیار پایین از آلودگی
$1/5 \leq mCd \leq 2$	درجه پایین از آلودگی
$2 \leq mCd \leq 4$	درجه متوسط از آلودگی
$4 \leq mCd \leq 8$	درجه بالا از آلودگی
$8 \leq mCd \leq 16$	درجه بسیار بالا از آلودگی
$16 \leq mCd \leq 32$	به شدت بسیار بالا آلوده
$mCd \geq 32$	آلودگی با درجه مافوق زیاد

قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات از به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است.

و) شاخص بار آلودگی (PLI) Pollution Load Index این شاخص جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده است و می‌توان تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار ما

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

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،  $C_i$  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.

در این فرمول CF فاکتور آلودگی بوده از که فرمول (۲) به دست می‌آید در این رابطه  $C_i$ : غلظت فلزات سنگین در نمونه رسوب و  $C_n$ : 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 دهنده 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

$E_r^i$	خطر اکولوژیکی هر فلز	شاخص خطر RI	خطر اکولوژیکی و محیط زیستی
$E_r^i \leq 40$	خطر پایین	$RI \leq 150$	خطر پایین
$40 < E_r^i \leq 80$	خطر متوسط	$150 < RI \leq 300$	خطر متوسط
$80 < E_r^i \leq 160$	خطر قابل ملاحظه	$300 < RI \leq 600$	خطر قابل ملاحظه (زیاد)
$160 < E_r^i \leq 320$	خطر زیاد	$RI \geq 600$	خطر خیلی زیاد
$E_r^i \geq 320$	خطر خیلی زیاد	-	-

۴۹/۶±۲/۰۳ و ۴۳/۲۹±۶/۶۱، مس (۳۳/۸۹±۰/۰۸ و ۲۶/۵۳±۵/۰۲ و آهن (۶۰/۶۵±۵/۱۸ و ۴۸/۴۴±۶/۳۴)، نیکل (۲۱/۳۳±۱/۳۶ و ۱۶/۱۷±۰/۵۳)، جیوه (۰/۰۴۹±۰/۰۰۴ و ۰/۰۱۲±۰/۰۰۲) و کروم (۲۰/۰۲±۲/۸۴ و ۱۶/۰۴۶±۰/۸۷) بوده است. همچنین یافته‌ها نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین غلظت فلزات مورد بررسی مربوط به فلز آهن

### 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 (۰/۵۰۳±۰/۰۷ و ۰/۴۱۳±۰/۱۵)، سرب (۱۰/۰۸±۲/۴۴ و ۷/۹۸±۰/۲۱) روی

و جیوه به میزان (۶۰/۶۵±۵/۱۸) و (۰/۰۱۲±۰/۰۰۲) مختلف استان بوشهر به ترتیب به صورت (جیوه > کادمیوم > سرب > کروم > نیکل > مس > روی > آهن) به دست آمد (جدول ۷).

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

ایستگاه	غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم)						
	آهن	مس	روی	سرب	نیکل	کروم	جیوه
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	۰/۰۱±۰/۰۱۹
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	۰/۰۱±۰/۰۱۵
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
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
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
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
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
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
۹	۷/۵۴±۶۰	۳/۹۶±۳۰/۲۷	۷/۹±۴۸/۶۳	۲/۴۴±۱۰/۰۸	۲/۹۵±۲۰/۹۵	۲/۸۴±۲۰/۰۲	۰/۰۰۱±۰/۰۳۸
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
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
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
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±۰/۰۰۳
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
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±۰/۰۰۳
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
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	۰/۰۰۱±۰/۰۲۹

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

آلودگی متوسط،  $3 \leq CF \leq 6$  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).

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؛  $1 \leq CF \leq 3$  نشان‌دهنده

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		
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	۰/۰۳۷۵	۵/۲۵۸	کم
۴	۰/۰۱۳	۱/۳۷۱	۰/۹۳	۰/۴۲۴	۰/۳۷۵	۰/۲	۱/۶۵	۰/۰۳	۴/۹۹۲	کم
۵	۰/۰۱۲	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	۰/۰۱۱	۱/۴۳۶	۰/۸۶۵	۰/۴۱	۰/۳۴۳	۰/۱۹۵	۱/۶	۰/۰۷۲	۵/۵	کم
مجموع	۰/۰۹۲	۲۳/۱۴	۱۴/۶۵۳	۷/۰۷۷	۶/۱۵	۳/۲۲	۲۵/۵۵۳	۱/۱۷۵		

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).

همچنین بررسی وضعیت درجه آلودگی فلزات در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که همه ایستگاه دارای درجه آلودگی پایین هستند ( $Cd \leq 6$ ) (جدول ۹). همچنین نتایج حاصل از بررسی شاخص آلودگی اصلاح شده نشان داد، که وضعیت آلودگی رسوبات منطقه از نظر غلظت فلزات

جدول ۱۰) 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
Mcd*	۰/۰۱۲	۱/۴۴۶	۰/۹۱۶	۰/۴۴۲	۰/۳۸۴	۰/۲۰۱	۱/۵۹۷

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

می‌دهد که مقادیر PLI برای تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱

به طور کلی بررسی شاخص بار آلودگی فلزات نشان

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

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	۰/۳۴	۰/۳۴	۰/۳۶	۰/۴	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۳۵	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۳۵

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).

### 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

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	۰/۸۸۶	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	۱/۸۸۶	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	۱/۸۱۸	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

## 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  $(۶۰/۶۵ \pm ۵/۱۸)$  و  $(۰/۰۱۲ \pm ۰/۰۱۵)$  میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به دست آمد. و در نهایت روند تغییرات غلظت فلزات مختلف به ترتیب 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  $(۶۰/۶۵ \pm ۵/۱۸)$  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 نخل تقی 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

$(۳۳/۸۹ \pm ۰/۰۸)$  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  $(۲۶/۵۳ \pm ۵/۰۲)$  میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. بیشترین آلودگی سرب به میزان  $(۱۰/۰۸ \pm ۲/۴۴)$  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  $(۸/۹۸ \pm ۰/۲۱)$  میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه نخل تقی اندازه‌گیری شد.

بیشترین و کمترین غلظت کادمیوم به میزان  $(۰/۵۰۳ \pm ۰/۰۷)$  و  $(۰/۴۱۳ \pm ۰/۱۵)$  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).

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 دهنده تأثیر عوامل انسان‌زاد بر آلودگی کروم در رسوبات ساحلی منطقه می‌باشد.

بیشترین و کمترین آلودگی نیکل ( $۳۳/۳۶ \pm ۱/۲۱$ ) و ( $۱۷/۵۳ \pm ۰/۱۶$ ) 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 نفت خیز بودن منطقه برگردد. همچنین بالا بودن غلظت نیکل در این ایستگاه 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 ( $۰/۰۴ \pm ۰/۰۲۹$ ) 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

برای فلز روی بیشترین غلظت به میزان ( $۴۹/۶ \pm ۲/۰۳$ ) 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 پوسته زمین را تشکیل می‌دهد. فلز روی می‌تواند به شکل  $ZnCO_3$  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 ( $۴۳/۲۹ \pm ۶/۶۱$ ) 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 ( $۲۰/۰۲ \pm ۲/۸۴$ ) و ( $۱۶/۰۴۶ \pm ۰/۸۷$ ) میلی‌گرم بر کیلوگرم، به ترتیب در ایستگاه روبه‌روی 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

کادمیوم، سرب و مس در رسوبات شمال غرب خلیج فارس - 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 میزان ۰/۰۲۷ و ۰/۰۳ میلی‌گرم بر گرم به‌دست آوردند (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 آنها کنترل می‌شود (۴۲). به طور کلی 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.

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 متفاوت اعم از شهری، صنعتی اشاره نمود که تغییرات غلظت عناصر و ارزیابی‌های محیطی را پیچیده می‌نماید.

جهت تعیین میزان آلاینده‌های 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 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 خلیج فارس بوده است (جدول ۱۳). از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعه عظیمی و همکاران، که به بررسی سطوح فلزات سنگین

جدول ۱۳) مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات (میلی گرم بر کیلوگرم) مورد مطالعه با برخی از سواحل مناطق دیگر									
منبع	جیوه	آهن	کادمیوم	کروم	نیکل	روی	مس	سرب	
(۴۳)	-	۴۵۲۲۴/۵	۰/۳۸	۵۱/۱	۸۱/۱	۱۲۵/۴	۵۷/۳	۲۷/۶	تالاب انزلی
(۴۴)	-		۰/۰۸	۴۱/۸	۲۳/۲۰	۲۱/۴۱	۳۴/۱۵	۷/۸۴	سواحل بحرین
(۴۰)	-۰/۳ ۰/۰۲						۸/۱۷	۳	عسلویه
(۴۵)	-		۰/۰۸	۱۹/۷۴	۳۳/۴۶	۰/۴۵	۱۴/۱۵	۲۸/۸۴	خلیج چابهار
(۳۹)	-		۰/۰۵		۷۳/۶		۲۱/۸	۲۳/۵	خلیج فارس خوزستان
(۴۶)	-	-	-	۳۰/۸۴	۳۷/۰۴	۷۶/۹۲	۲۹/۶۵	۱۷/۰۸	دریای خزر
(۴۷)	-	۱/۰۱۸	-	۱۰۴/۱۶	۱۵/۴۹	۱۰/۳۷	۳/۳۸	-	سواحل بوشهر (عسلویه)
(۴۷)	-	۰/۲۴	-	۱۷/۵۷	۶/۵۷	۵/۷۳	۲/۴۷	-	لاو
(۴۸)	-	-	۱/۱۶ - ۱/۴۴	-	-	-	-	۳/۵۶ - ۵/۲۵	عسلویه
(۳۵)	-	۴۱۰۰۰	۰/۱۷	۷۲	۵۲	۹۵	۳۳	۱۹	میانگین جهانی رسوبات
(۳۵)	-	۴۱۰۰۰	۰/۲	۱۰۰	۸۰	۷۵	۵۰	۱۴	پوسته زمین
	۰/۰۳	۵۶/۰۶۵	۰/۴۴۷	۱۷/۸۹	۱۸/۹۶	۴۵/۱۸	۲۸/۵۸	۸/۵۸	میانگین در مطالعه حاضر

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 بتیک 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، کروم،

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 آبی 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 آبیانی 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 (Sediment Quality Guidelines) SQGs 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

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.

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 استانداردهای 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

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

#### استانداردهای NOAA و SQGs

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

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)

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

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 انباشت ژئوشیمیایی 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

## 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 (۵۴-۵۶). 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 برخوردار است. بنابراین در مطالعه حاضر به بررسی غلظت فلزات سنگین (جیوه، کادمیوم، سرب، کروم، مس، نیکل، روی و آهن) در رسوبات سطحی منطقه ویژه 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. یافته 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 پوسته زمین، به همراه مقادیر بالای

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 و کادمیوم 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.

شده رسوبات نظر فلز کادمیوم در معرض خطر متوسط اکولوژیکی قرار دارد. پژوهش حاضر تحت حمایت سازمان و ارگانی نیست.

#### سپاس و قدردانی

بدین وسیله 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.

فاکتور آلودگی، آلودگی صلاح شده برای 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

## 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

- 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. Altında A, Yiiti S. Assessment of heavy metals concentrations in the food web of lake Beyehir Turkey. *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. Abraham 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 assessment 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 Kong's 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

- 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, Dahrzama 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, Skoullou M. Levels of mercury concentration in sediments of the Saronikos Gulf. In *Proceedings 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 Gulf of 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, Saedi 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

- 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.

Original Article

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

A. Haghshenas (MSc)<sup>1</sup>, M. Hatami-manesh (PhD)<sup>2</sup>, M. Mirzaei (PhD)<sup>3\*</sup>,  
MM. Mir Sanjari (PhD)<sup>2</sup>, P. Hossein Khezri (MSc)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institute of Shrimp, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Department of Environment Sciences, School of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran

<sup>3</sup> 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 moderate 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>