مجله مهندسی بهداشت محیط، بهار ۱۴۰۰، سال ۸، شماره ۳: ۲۷۱-۲۹۱

ارزیابی آلودگی، سمیت و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی مناطق ساحلی استان بوشهر: یک مطالعه مروری سیستماتیک

مسعود حاتمی‌منش[۱]، فریبا هدایت‌زاده[۲]*، ناهید محمودی[۳]

[۱] دانشجوی دکترای محیط زیست و کارشناس اکولوژی محیط‌های آبی سازمان محیط‌زیست کشور، تهران، ایران

[۲] دانشجوی دکترای محیط‌زیست، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

[۳] کارشناسی ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۱۰/۰۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین به دلیل خطرات اکولوژیکی و سمیت آن‌ها برای موجودات زنده به عنوان یکی از آلاینده‌های خطرناک محسوب می‌شوند. لذا مطالعه حاضر به منظور بررسی میزان آلودگی، سمیت و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل استان بوشهر با استفاده از روش سیستماتیک صورت گرفت.

مواد و روش‌ها: جهت انجام این مطالعه مروری، میزان غلظت فلزات در رسوبات سواحل بوشهر با جستجوی مقالات منتشر شده طی ۹ سال (۲۰۲۰-۲۰۱۲) از طریق پایگاه‌های اطلاعاتی Springer، Google Scholar، ProQuest، Web of Science، SID و Magiran به‌دست آمد. در نهایت، بررسی جامع آلودگی، سمیت و خطرات فلزات در رسوبات با استفاده از شاخص‌های متعدد صورت گرفت.

یافته‌ها: در نتیجه بررسی مطالعات استخراج شده از پایگاه‌های داده، ۲۴ مقاله انتخاب گردید. نتایج بررسی نشان داد که میانگین غلظت فلزات در رسوبات به ترتیب به صورت Cd<Pb<Cu<Cr<Ni<Zn می‌باشد و میزان شاخص بار آلودگی فلزات در رسوبات سواحل مختلف از ۰/۱۵ تا ۱/۹۹ متغیر است. روند خطر اکولوژیکی برای فلزات نیز به صورت Zn<Cr<Cu<Ni<Pb<Cd مشاهده شد و میزان خطر محیط‌زیستی بالقوه فلزات در محدوده ۲۵۷/۳۸- ۳/۷۶ به دست آمد. به‌علاوه نتایج آنالیز واحد سمیت و ارزیابی خطر اصلاح شده فلزات نشان داد میزان سمیت و خطر از سمیت و آلودگی خیلی کم تا شدیداً آلوده متغیر است.

نتیجه‌گیری: براساس یافته‌ها از دیدگاه کنترل سمیت و خطرات اکولوژیکی، لازم است از انتقال فلزات به ویژه Cd، Pb و Ni ناشی از فعالیت‌های انسانی غالب در محدوده سواحل بوشهر جلوگیری شود. هم‌چنین با توجه به بیشترین میزان بار آلودگی و خطرات اکولوژیکی در بیدخون - عسلویه باید تعیین منابع آلودگی جهت کنترل و مدیریت مؤثر ورود آلاینده‌ها در این منطقه صورت گیرد.

کلمات کلیدی: فلزات سنگین، رسوبات سطحی، خطرات اکولوژیکی، شاخص mHQ، سواحل بوشهر.

***نویسنده مسئول:** دانشجوی دکترای محیط¬زیست، گروه محیط¬زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط¬زیست، دانشگاه ملایر، همدان، ایران

ایمیل: hedayatzadeh.fariba@gmail.com - شماره تماس : ۰۹۳۷۹۶۸۷۸۵۲

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

مقدمه

آلودگی محیط‌زیست به فلزات سنگین یکی از مسائل و تهدیدات انسانی و محیطی اجتناب ناپذیری است که جوامع بشری با آن روبه‌رو است [۱]. اگرچه به طور طبیعی حضور برخی از فلزات به منظور انجام فعالیت‌های بیولوژیکی موجودات زنده ضروری هستند، اما انتشار آلاینده‌ها از منابع مختلف منجر به افزایش غلظت این عناصر در سطوح خطرناک در محیط‌زیست برای موجودات زنده شده است [۲]. این آلاینده‌ها به دلیل ویژگی‌هایی چون عدم تجزیه زیستی، قابلیت انباشت زیستی و نیز پتانسل بزرگ‌نمایی زیستی در سطوح بالای زنجیره‌های غذایی، می‌توانند سلامت موجودات زنده را به شدت تهدید نمایند [۳-۴]. فرم‌های قابل تحرک و دسترسی زیستی فلزات عموماً از فعالیت‌های انسانی نظیر معدن‌کاری، وسایل حمل و نقل، فعالیت‌های صنعتی و پتروشیمی، کاربرد سموم در کشاورزی و غیره در محیط آزاد و رهاسازی می‌شوند [۵-۶]. یکی از اکوسیستم‌هایی که به شدت تحت تأثیر آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی به ویژه فلزات سنگین ناشی از منابع انسانی و طبیعی قرار دارند، اکوسیستم‌های آبی است [۷-۸]. به دنبال حضور فلزات سنگین در محیط‌های آبی این عناصر می‌توانند با اجزاء و ترکیبات مختلف محیط‌های آبی واکنش دهند و با بخش‌ها و فازهای مختلف ژئوشیمیایی در رسوبات ترکیب شوند [۲]. با ترکیب و تجمع فلزات در رسوبات سطحی، این رسوبات از یک طرف می‌تواند به عنوان یک ذخیره‌گاه جهت تجمع، ذخیره و بی‌خطرسازی فلزات درمحیط‌های آبی و از سوی دیگر می‌توانند طی تغییر وضعیت محیط به عنوان یک منبع تولید و رهاسازی فلزات در محیط عمل نمایند [۹-۱۰]. از این‌رو، رسوبات سطحی می‌تواند به عنوان یکی از مخازن یا منابع مهم و تهدید کننده سلامت انسان و موجودات زنده آبی در نظر گرفته شوند [۱۱-۱۲]. بنابراین، درک عمیق از آلودگی رسوبات می‌تواند در توسعه فرآیند تصمیم‌گیری برای محافظت از موجودات زنده آبی، محیط‌زیست دریایی و بهبود سلامت سواحل و جوامع انسانی اطراف آن کمک کننده باشد. در این میان، نواحی ساحلی یکی از مناطق حساس و شکننده اکوسیستم‌های آبی است که می‌توانند به شدت تحت تأثیر آلاینده‌های انسانی ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشتی‌رانی، فعالیت‌های ماهی‌گیری، تخلیه فاضلاب و رواناب شهری، و سوخت‌های فسیلی قرار گیرند [۱۳]. بنابراین، ارزیابی پتانسیل سمیت (Toxicity potential; TP) و خطرات اکولوژیکی (Ecological risk; ER) فلزات سنگین در رسوبات ساحلی در طی زمان در محیط‌های آبی به علت فراوانی، سمیت، قابلیت دسترسی زیستی، پایداری و پتاسیل سمیت و خطرات اکولوژیکی آن‌ها برای موجودات زنده به منظور و حفاظت از موجودات زنده و مدیریت مناسب اکوسیستم‌های آبی بسیار ضروری است [۱۴]. به همین جهت در چند دهه اخیر محققان مختلفی نظیر Arfaeinia و همکاران (۲۰۱۹)[۱۲]، Ustaoğlu و همکاران (۲۰۲۰)[۱۳]، Zhangو همکاران (۲۰۱۹)[۱۴]، Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷)[۱۵]، Liuو همکاران (۲۰۱۸)[۱۶] به ارزیابی آلودگی، سمیت، خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی نواحی مختلف پرداخته‌اند.

در این راستا یکی از محیط‌های آبی مهم که از نظر انسانی، اقتصادی، اکولوژیکی، گردشگری، و غیره دارای اهمیت فراوانی می‌باشد، اما متأسفانه در چند دهه اخیر تحت تأثیر اقدامات و فعالیت‌های ناپایدار کننده محیطی نظیر تولید و بهره‌برداری از مواد نفتی، حمل و نقل دریایی، فعالیت‌های صنعتی، تجاری و تفریحی مختلف و در نتیجه بحران‌های محیط زیستی مختلف هم‌چون آلودگی فلزات سنگین ناشی از منابع طبیعی و انسانی قرار گرفته است، خلیج فارس به ویژه نواحی ساحلی استان بوشهر است. چرا که گسترش شهرها، افزایش روز افزون تراکم جمعیت انسانی در سواحل این استان، فقدان وجود سیستم تصفیه فاضلاب خانگی و صنعتی، ورود رواناب‌های شهری و کشاورزی از نواحی اطراف با

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

املاح و آلودگی‌های آلی و معدنی بسیار به طور مستقیم و غیرمستقیم این سواحل و موجودات زنده آن را در معرض حضور و خطرات اکولوژیکی ناشی از این آلاینده‌ها قرار داده است [۱۷]. به همین جهت، بررسی و ارزیابی میزان سمیت و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی این اکوسیستم از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از این رو، در مطالعه حاضر به بررسی این موضوع مهم با استفاده از روش سیستماتیک پرداخته شده است. اخیراً از این روش برای تجزیه و تحلیل داده‌های آلودگی محیط زیست استفاده شده است تا امکان تجزیه و تحلیل جامع آلودگی فراهم شود [۱۸]. به عنوان مثال، Tong و همکاران (۲۰۲۰)[۱۹] در پژوهشی به بررسی سیستماتیک و ارزیابی غلظت، توزیع مکانی، درجه آلودگی و ارزیابی خطر سلامت انسان ناشی از فلزات سنگین در خاک‌های شهری سراسر چین بین سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۹ پرداختند. Kumar و همکاران (۲۰۱۹)[۲۰] نیز در پژوهشی به بررسی متا-آنالیز میزان فلزات سنگین در بدنه آب‌های سطحی با استفاده از شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین و تجزیه و تحلیل آماری چند متغیره در سطح جهان پرداختند. Alipour و همکاران (۲۰۲۱)[۲۱] نیز در پژوهشی به صورت سیستماتیک جهانی و متا-آنالیز به بررسی غلظت و خطرات احتمالی عناصر بالقوه سمی در فیله ماهی Pampus argenteus پرداختند. Hedayatzadeh و همکاران (۲۰۲۰)[۲۲] با استفاده از روش سیستماتیک و متا-آنالیز به ارزیابی آلودگی، پتانسیل سمیت، خطرات اکولوژیکی و بیولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خوریات ماهشهر و بندر امام خمینی در سواحل استان خوزستان پرداختند. به دلیل اهمیت منطقه مورد بررسی، مطالعات متعدد و بسیار پراکنده‌ای در زمینه بررسی وضعیت آلودگی به ویژه از نظر فلزات سنگین در بخش‌های مختلف این منطقه انجام شده است. با توجه به این‌که این مطالعات متعدد نتایج متفاوتی را در پی داشته‌اند، چنین تغییراتی درک مسئولان از وضعیت آلودگی منطقه و در نهایت توسعه راه‌کارهای پیش‌گیری و مدیریت یک‌پارچه و طولانی مدت را با مشکل مواجه می‌کند. جهت رفع این مسئله استفاده از روش متا-آنالیز پیشنهاد مناسبی است چرا که با استفاده از این روش می‌توان به صورت جامع مطالعات قبلی را بررسی و نتایج آن‌ها را ادغام کرد و در نهایت می‌توان با روش یکسان همه نتایج این مطالعات را در چهارچوب ارزیابی خطرات پوشش داد تا برای تمام منطقه به یک جمع بندی واحد رسید. لذا جهت غلبه بر برخی از موارد ذکر شده در پژوهش حاضر داده‌های مطالعات قبلی در زمینه فلزات سنگین در رسوبات سواحل خلیج فارس-استان بوشهر (۱۳۹۹-۱۳۹۱) استفاده شد و به طور سیستماتیک آلودگی فلزات سنگین در رسوبات با استفاده از اصول اساسی روش متا-آنالیز ارزیابی شد. به علاوه جهت انجام یک بررسی جامع آلودگی فلزات سنگین در رسوبات این مناطق ساحلی، از شاخص‌های متعددی چون شاخص بار آلودگی فلزات سنگین، خطرات اکولوژیکی ناشی از فلزات سنگین و نیز میزان سمیت فلزات سنگین استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

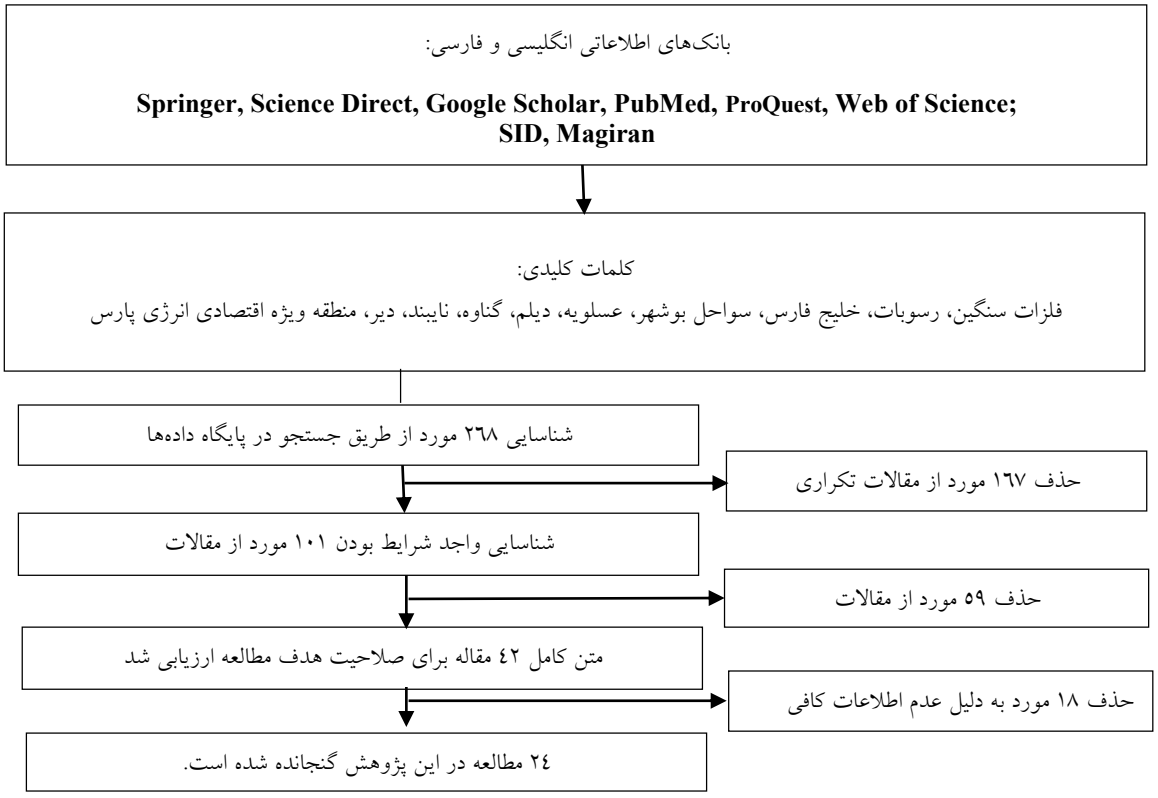
جمع آوری داده‌ها

این پژوهش شامل مقالات به زبان‌های فارسی و انگلیسی است. چندین پایگاه داده الکترونیکی خارجی و داخلی Springer، Google Scholar، PubMed، ProQuest، Web of Science، SID، و Magiran برای جمع‌آوری داده‌های پایش فلزات سنگین در رسوبات سواحل استان بوشهر در بخش شمالی خلیج فارس مورد استفاده قرار گرفت. اصطلاحات اصلی فارسی جستجو در این پایگاه داده‌ها "فلزات سنگین"، "رسوبات"، "سواحل بوشهر" و "خلیج فارس"، و اصطلاحات انگلیسی "Heavy metals"، "Sediments"، "Bushehr coasts" و "Persian Gulf" بود و مطالعات را از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۸ (۲۰۲۰-۲۰۱۲) پوشش داد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

سرانجام، تعداد ۲٦۸ مطالعه (به تفکیک پایگاه‌های داده Springer (۲٦)، Science Direct (۳۸)، Google Scholar (۸٤)، PubMed (٦)، ProQuest (۷)، Web of Science (۱٤)، SID (۵۸)، Magiran (۳۵)) جمع‌آوری و ۲٤ مورد از آن‌ها انتخاب شد. مطالعاتی که برای این تحقیق انتخاب شدند توسط دو نفر از نویسندگان اسکرین شدند، به این ترتیب که مقالات هدف در وهله اول می‌بایست شامل بررسی آلودگی رسوبات سطحی در سواحل خلیج فارس در استان بوشهر بود. ثانیاً، آن‌ها باید دارای اطلاعاتی از جمله نقاط نمونه‌برداری، گزارش‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین و زمان بررسی بودند. در کلیه مطالعات بررسی شده، غلظت کل فلزات سنگین در رسوبات اساساً با هضم از طریق یک اسید یا مخلوطی از اسیدها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته بودند و در این زمینه کنترل دقیق و اطمینان حاصل شد. در نهایت، پس از جستجو و حذف تعدادی از مطالعات، چکیده مقالات باقی‌مانده مورد مطالعه قرار گرفت و براساس محتوای چکیده نیز مطالعاتی که با چارچوب مطالعه هم‌خوانی نداشتند حذف شدند و در نهایت متن و به ویژه روش کار ٤۲ مقاله باقی‌مانده بررسی شد و مطالعاتی که در سنجش فلزات مورد نظر با روش آنالیز تقریباً مشابه و نیز ایستگاه‌های ساحلی بودند، جهت استخراج اطلاعات مورد نیاز استفاده شدند. جستجوی فهرست و پیشینه پژوهش در شکل ۱ به تفصیل شرح داده شده است.



شکل ۱: فرآیندهای انتخاب پیشینه پژوهش جهت بررسی متا-آنالیز آلودگی، سمیت و خطرات فلزات سنگین در رسوبات سطحی مناطق ساحلی استان بوشهر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

پس از بررسی ۲٤ مطالعه برگزیده، ایستگاه‌های مطالعاتی (شامل بنادر و سواحل متعدد استان بوشهر) و نیز فلزات سنگینی را که در اکثر پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته بودند تعیین گردید، سپس میانگین غلظت فلزات سنگین مورد نظر (Cd، Pb، Ni، Cu، Zn، Cr) در رسوبات سطحی این سواحل از مقالات متعدد منتشر شده طی ۹ سال اخیر (۱۳۹۹-۱۳۹۱) استخراج شد. اطلاعات مورد نیاز شامل نام محقق/محققان، منطقه مطالعاتی، فلزات سنگین بررسی شده و نیز تعداد ایستگاه‌های مطالعاتی که از این مقالات جهت نگارش پژوهش حاضر استخراج شد در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: اطلاعات مستخرج از ۲٤ مقاله مرتبط در خصوص میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل مختلف استان بوشهر طی دوره ۹ ساله (۱۳۹۹-۱۳۹۱)

محقق/محققان	منطقه مطالعاتی	Pb (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	تعداد ایستگاه
Davari و همکاران (۲۰۱۲)[۳۳]	بیدخون	۹٦/۱۸	٤۷/۵۳	۲۰۱/۱۷	٦۸/۵۲	-	۱/۹٦	۱۰
	بساتین	۱۳۷/۹۵	٦۳/۷۸	۲۰۳/۵	۸۲/۰۵	-	۱/۸٦	٦
	ملگنزه	۵۳/۲۸	۲٦/۳	۸۸/٦۹	٤۱/۸۹	-	۱/۳٤	٦
Razaghi و همکاران (۲۰۱۲)[۲٤]	نایبند	۲/۸۷	۳/۳۳	۲٤/۹۹	۲/۷۹	–	۰/۸٤	۳
Biati و همکاران (۲۰۱۲) [۲۵]	بوشهر	۳۰/٦۷	-	٤٦/۳٤	-	-	-	۳
	گناوه	۳۰/۳٤	-	٤٦/٦۷	-	-	-	۳
	دیلم	۳۰/٦۷	-	۳۹	-	-	-	۳
Salahshur و همکاران (۲۰۱۲) [۲٦]	بوشهر	۲۱/۱۳	–	۲٦/۲	–	–	۱/۲۵	۳
Amini و همکاران (۲۰۱۳) [۲۷]	نایبند	۲۰/۰۵	۲۷/۰۱	٤۲/۰۳	۱۸/۹	-	۵/٤۵	–
Alahverdi و همکاران (۲۰۱۳) [۲۸]	بوشهر	٤۲/٤	۸/۳	–	۳۸/۱	–	۷/٤۰	٦
Hosseini و همکاران (۲۰۱٤) [۲۹]	دیلم	۲/۸۲	۱۲/۵۳	-	۳۰/۹۱	-	۰/۲۳	۳
	گناوه	۱/۲۳	۱٤/٦۱	-	٤۷/٦۲	-	۰/۱۹	۳
	دیر	۵/٦۱	۱۹/۱۳	-	۳۹/۸۳	-	۰/۳۵	۳
	بوشهر	۳/۱٤	۱۸/٦٤	-	۵۵/۲۳	-	۰/۵۷	۳
Dehghani و همکاران (۲۰۱٤) [30]	نایبند	٤/٤٦		–	–	–	۱/۳۱	۲۰
Safahieh و همکاران (۲۰۱٦) [۳۱]	بوشهر	۵۰/۱۲	۱٤/۵٤	–	–	۱۳/۳۸	۰/۷٦	۵
Saadatmand و همکاران (۲۰۱٦) [۳۲]	کلات	۰/۵۸	۱۵/۸	-	۳/٦۳	-	-	–
	دیر	۰/۷۳	۷/٦	-	۲/۳٦	-	-	–
	نایبند	۰/۳٦	۱۵/۹۵	-	۲/۷	-	-	–
Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷) [۱۵]	منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس- عسلویه	۸/۵۹	۲۸/۵۸	٤۵/۱۸	۱۸/۹٦	۱۷/۸۹	۰/٤۵	۱٦

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

محقق/محققان	منطقه مطالعاتی	Pb (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)	تعداد ایستگاه
Kamalifar و همکاران (۲۰۱۶) [۳۳]	بیدوخون	۳۲	۲۷/٤	۱٤٦	٥٦	–	۱/۲۹	٦
Delshab وهمکاران(۲۰۱۷)[۳٤]	عسلویه	۳/۳۹	۱٥/٤۳	۲۱/۰۸	۱۹/۰٤	۱٦/۱۳	–	–
Haghshenas و همکاران (۲۰۱۸) [۳٥]	سواحل استان بوشهر	۱۱/٥۳	۳٤/۹۹	٥۲/٤	–	–	۲/٤۱	٥٤
Rostamipaydar و همکاران (۲۰۱۸) [۳٦]	دیلم	۱۰/۱۳	–	–	–	٥٤/۲۷	۰/۲٥	۲۰
Bibak و همکاران (۲۰۱۸) [۳۷]	بوشهر	۲/۷۷	٥/٥	۱۱/٤٥	۱۳/٤	۱٤/۲۹	۰/۱۸	۳
	نایبند	٦/۳٥	۳/٤٥	٤/۷٥	۸/۱۹	۱۰/۱۹	BDL	۳
	عامری	۱۲/۲۷	٥/٥	۱٤/۲	۱۸/۰۷	۱٦/۸۲	۰/۰۷	۳
	امام حسن	۳/۰۳	۳/۷٥	۸/٤٥	۱۱/۰۸	۱۰/۹٦	۰/۱	۳
Keshavarzifard و همکاران (۲۰۱۹) [۷]	عسلویه	٤/۹۳	۲۳/۹۷	۳۲/۸۷	۲۳/٥۳	٤٥/۸۷	۰/۲٤	۱٥
Abbasi و همکاران (۲۰۱۹)[۳۸]	سواحل استان بوشهر	۷/۳٤	۹/۹۷	۲۳/۳۷	۳۷/٤۳	۳۳/٦	۰/۱٤	–
Aghadadashia و همکاران (۲۰۱۹) [۳۹]	منطقه ویژه اقتصادی پارس عسلویه	۸/۰۷	۱۷/۱۸	٥٥/٥۳	٤۷/۷۷	٥۸/٤۸	۰/۱۱	۳٥
Seifiو همکاران (۲۰۱۹) [٤۰]	سواحل استان بوشهر	٥۰/۰۸	۳۸/۱٤	۹٥/٥۸	٥۹/۱۳	۷۹/۱٥	۲/۳۹	۱۲
Arfaeinia و همکاران (۲۰۱۹) [۱۲]	عسلویه	۹/۳۹	۱٦۷/۰۲	۱۹۹/۹۸	٤/٥٥	۱۳/۱۳	٥/۲٦	٤۱
Moradi و Solgi (۲۰۲۰) [٤۱]	بوشهر	–	۱٥/۹۸	۳۱/۷۸	٤/۸۹	–	–	۱۰
Mirzae و همکاران (۲۰۲۰) [٦]	عسلویه	۹/٥۱	۲۹/٦۲	٤۷/۹۹	۲۰/۱۳	۱۸/۹۹	۰/٤۳	۱٦
Allami و همکاران (۲۰۲۰)[٤۲]	کنگان	٥/۳	۱۱/٥۹	-	۱۱/٥۱	-	-	–

پردازش داده‌ها

در این پژوهش بـه طور جامع وضـــعیت آلودگی و میزان خطرات و ســمیت فلزات ســنگین در رسوبات سواحل بوشهر ارزیابی گردید. به منظور بازتاب بهتر وضــعیت آلودگی فلزات ســنگین مورد مطالعه در رسوبات این مناطق در سواحل خلیج فارس، محاســبه برخی شــاخص‌ها صــورت گرفت. روش‌های ارزیابی از قبیل شـــاخص بار آلودگی (PLI)، شـــاخص آنالیز واحد ســمیت (TU)، شــاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (RI) و شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ) به شرح زیر است:

شاخص بار آلودگی (Pollution load index; PLI)

شـــاخص PLI به منظور تعیین میزان و ســـطوح آلودگی رسوبات ایجاد شده است. این شاخص با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه است [٤۳]:

رابطه (۱) $\sqrt[n]{PLI = (CF1 * CF2 * CF3 * \dots CFn)}$

یا

رابطه (۲) $PLI=(CF1*CF2*CF3*\dots CFn)^{1/n}$

در این فرمول CF فـاکتور آلودگی بوده کـه از رابطـه (۳) به‌دســت می‌آید در این رابطه C_i: غلظت عنصر در نمونه و C_n: غلظت همان فلز در ماده مرجع (میانگین شـیل) است، میانگین

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

شیل برای فلزات کروم، مس، نیکل، روی، سرب و کادمیوم به ترتیب برابر ۹۰، ٤٥، ٥٠، ۹٥، ۲۰ و ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود.

رابطه (۳) $$CF = \frac{C_i}{C_n}$$

براساس طبقه‌بندی Muller (۱۹٦۹)؛ CF<۱، بیانگر سطوح کم آلودگی؛ ۳>CF≥۱، بیانگر سطوح متوسط آلودگی؛ ٦>CF≥۳، بیانگر سطوح قابل توجه آلودگی؛ CF≥٦، بیانگر سطوح بسیار زیاد آلودگی است. میزان شاخص PLI از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ بسیار آلوده تغییر می‌کنند که به طور معمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است [٤۳].

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه(Risk Index; RI)

شاخص RI اولین بار توسط Hakanson (۱۹۸۰) به منظور ارزیابی خطر آلودگی رسوبات به‌وسیله فلزات سنگین استفاده گردید [٤٤]. که براساس میزان سمیت فلزات روش‌های اصلاحی به‌وسیله محققان مختلفی چون Yi و همکاران (۲۰۱۱)[٤٥] و Wang و همکاران (۲۰۱۳)[٤٦] به کار گرفته شده است. براساس رویکرد Hakanson فاکتور پاسخ سمیت برای فلزات Cd، Cu، Pb، Ni، Cr و Zn به ترتیب برابر ۳۰، ٥، ٥، ٥، ۲ و ۱ است. در پژوهش حاضر RI یا PERI براساس روابط زیر محاسبه گردید [٤٤].

رابطه (٤) $$PER = \Sigma E_r^i$$

رابطه (٥) $$E_r^i = T_r^i C_f^i$$

رابطه (٦) $$C_f^i = C_0^i / C_n^i$$

که PER به عنوان مجموع کل فاکتورهای خطر برای فلزات سنگین در رسوبات محاسبه می‌شود، E_r^i فاکتور خطر اکولوژیکی احتمالی بالقوه است، T_r^i فاکتور پاسخ سمیت برای یک ماده معین است که برای نیاز سمیت و حساسیت محاسبه می‌شود، C_f^i فاکتور آلودگی است، C_0^i غلظت فلزات در رسوبات و C_n^i مقدار مرجع برای فلزات است. طبقات مقادیر E_r^i و PERI براساس خطرات اکولوژیکی بالقوه در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۲: خطرات اکولوژیکی برای هر فلز و مجموع فلزات سنگین [٤٤]

E_r^i	خطر اکولوژیکی برای هر فلز	RI یا PER	خطر اکولوژیکی بالقوه
$>E_r^i$٤۰	خطر اکولوژیکی کم	RI<۹٥	خطر اکولوژیکی کم
۸۰≤ E_r^i<٤۰	خطر اکولوژیکی متوسط	۱۹۰≤ RI<۹٥	خطر اکولوژیکی متوسط
۱٦۰≤ E_r^i<۸۰	خطر اکولوژیکی قابل توجه	۳۸۰≤ RI<۱۹۰	خطر اکولوژیکی قابل توجه
۳۲۰≤ E_r^i<۱٦۰	خطر اکولوژیکی زیاد	RI>۳۸۰	خطر اکولوژیکی بسیار زیاد
≤ E_r^i۳۲۰	خطر اکولوژیکی بسیار زیاد		

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

تجزیه و تحلیل واحد سمیت(Toxic unit (analysis;TU

شاخص TU فلزات به منظور ارزیابی میزان سمیت فلزات سنگین در رسوبات ارائه شده است. بر مبنای این شاخص، پتانسیل سمیت حاد رسوب را می‌توان به صورت مجموع واحدهای سمی ارزیابی و برآورد نمود. در این شاخص واحد سمی (Toxicity unite; TU) از تقسیم غلظت فلز در نمونه رسوب به مقدار شاخص (Probable effect level; PEL) آن فلز به‌دست می‌آید (رابطه ۷). مقدار PEL بیانگر میزان غلظت بالای مواد شیمیایی است که می‌تواند باعث ایجاد عوارض نامطلوب در رسوبات منطقه شود. مقدار PEL برای فلزات Cd، Cr، Pb، Ni، Zn و Cu به‌ترتیب برابر ٤/٢، ١٦٠، ١١٢، ٤٢/٨، ٢٧٠ و ١٠٨ است [٤٧]. علاوه بر این، به منظور ارزیابی سمیت حاد مجموع چند فلز در نمونه مورد نظر می‌توان از شاخص $\sum$TUs استفاده نمود (رابطه ٨) [٤٧].

$$TU=\frac{Cm}{PEL}$$ رابطه (۷)

$$\sum TUs = TUmetal1 * TUmetal2 * TUmetal3 * \dots * TUmetaln)$$ رابطه (۸)

که Cm غلظت فلز سنگین در رسوبات و PEL مقدار سطوح اثر احتمالی فلزات سنگین در رسوبات است. در معادله دوم $\sum$TUs مجموع واحدهای سمی فلزات سنگین در رسوبات است. در صورتی که مقادیر $\sum$TUs بیشتر از ٤ باشد سمیت حاد وجود دارد، و اگر $\sum$TUs کمتر از ٤ باشد سمیت وجود ندارد [٤٧].

- شاخص خطر اصلاح شده (Modified hazard quotient; mHQ)

شاخص mHQ درجه و میزان خطر هر فلز برای محیط‌های آبی و موجودات زنده آن را نشان می‌دهد. در حقیقت شاخص mHQ به منظور ارزیابی آلودگی رسوبات منطقه، از مقایسه غلظت فلزات در رسوت با توزیع اثرات سینوپتیک اکولوژیکی نامطلوب برای سطوح آستانه کمی (Threshold effect level; TEL)، (Probable effect level; PEL) و (Sever effect level; SEL) به‌دست می‌آید [٤٨]. این شاخص با استفاده از رابطه (۹) محاسبه می‌گردد (میزان TEL برای Cd، Cr، Pb، Ni، Cu و Zn به ترتیب برابر ٠/٥٩٦، ٣٧/٣، ٣٥، ١٨، ٣٥/٧ و ١٢٥)؛ میزان SEL برای Cd، Cr، Pb، Ni، Cu و Zn به ترتیب برابر ١٠، ١١٠، ٢٥٠، ٧٥، ١١٠ و ٨٢٠، و مقدار PEL برای فلزات Cd، Cr، Pb، Ni، Zn و Cu به ترتیب برابر٤/٢، ١٦٠، ١١٢، ٤٢/٨، ٢٧١ و ١٠٨ است [٤٩].

$$mHQ = \left[C_i\left(\frac{1}{TEL_i}+\frac{1}{PEL_i}+\frac{1}{SEL_i}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

در این رابطه Ci غلظت فلز اندازه‌گیری شده در نمونه رسوب، TEL (حد مجاز یا آستانه اثر)، PEL (حد احتمال اثر) و SEL (سطح اثر شدید) است. درصورتی که میزان شاخص mHQ بیشتر یا مساوی ٣/٥ باشد آن‌گاه رسوبات شدیداً آلوده (خیلی شدید) به حساب می‌آیند؛ اگر میزان $3/5 < mHQ \leq 3$ بیان‌گر آلودگی خیلی زیاد؛ $3 < mHQ \leq 2/5$ آلودگی زیاد؛ $2/5 > mHQ \geq 2$ آلودگی قابل ملاحظه؛ $2 > mHQ \geq 1/5$ آلودگی متوسط؛ $1/5 > mHQ \geq 1$ آلودگی پایین؛ $1 > mHQ \geq 0/5$ آلودگی خیلی پایین و درصورتی که $0/5 > mHQ$ باشد بیان‌گر عدم وجود آلودگی یا آلودگی ناچیز در رسوبات منطقه است [٤٩].

آنالیزهای آماری

نتایج حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم افزار آماری SPSS (نسخه ٢٢) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون شاپیروویلک صورت گرفت. برای بررسی اختلاف معنی‌داری میانگین داده‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مورد مطالعه از

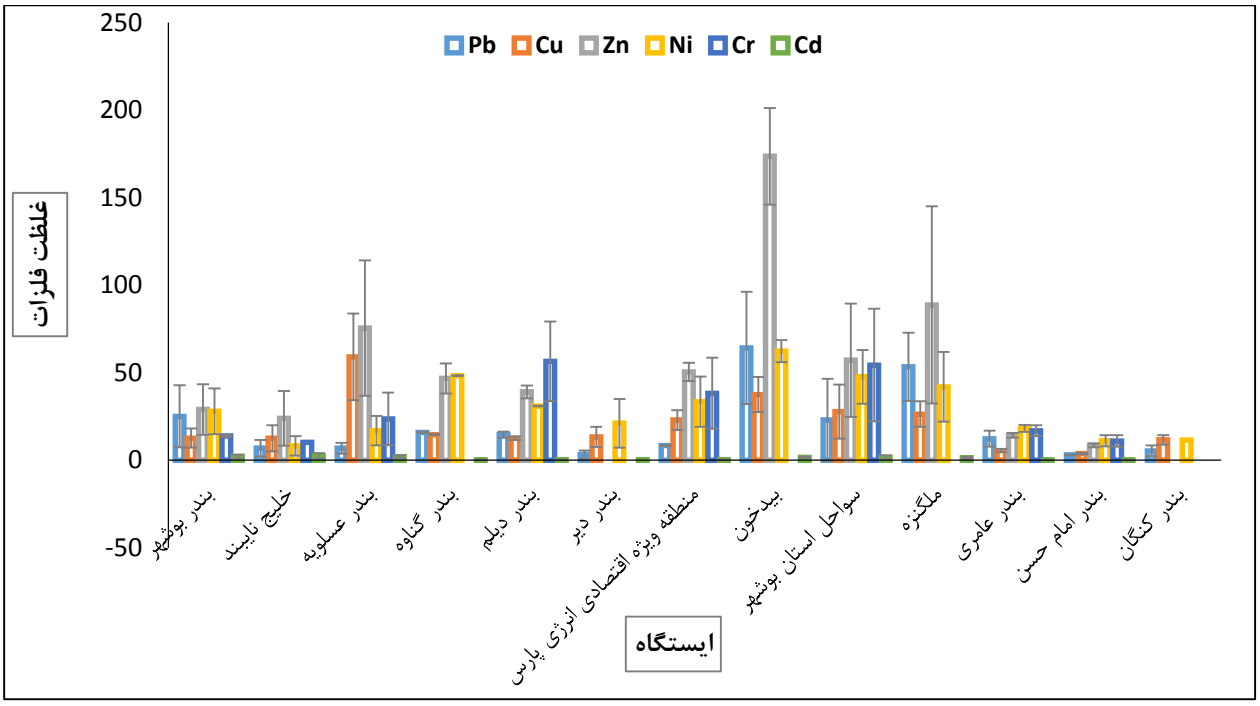
[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) استفاده شد. جهت ترسیم نمودارها نیز از نرم افزار Excel استفاده گردید.

یافته‌ها

در شکل ۲ میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی (Pb، Cu، Zn، Ni، Cr، Cd) در بین ایستگاه‌های مختلف ارائه گردیده است. براساس یافته‌ها، محدوده تغییرات غلظت برای فلزات Pb (۶۴/۰۹-۳/۰۳)؛ Cu (۵۹/۰۱-۳/۷۵)، Zn (۱۷۳/۵۹-۸/۴۵)، Ni (۶۲/۲۶-۸/۱۴)، Cr (۵۶/۳۸-۱۰/۱۹) و Cd (۲/۵۳-۰/۰۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بوده است. میانگین غلظت نیز برابر ۱۸/۵۷، ۱۹/۹۸، ۵۵/۱۳، ۲۹/۱۵، ۲۸/۰۳ و ۱/۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک به ترتیب برای این فلزات Pb، Cu، Zn، Ni، Cr و Cd مشاهده شد. براساس نتایج آزمون آماری آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) جهت مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی بین ایستگاه‌های مختلف، میانگین غلظت برای فلزات Pb، Zn، Ni و Cr در بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی داری را نشان داد ($P<0/05$)، در حالی که سایر فلزات (Cu و Cd) فاقد اختلاف معنی دار آماری بین ایستگاه‌های مطالعاتی بودند ($P>0/05$). براساس نتایج و همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد، بیشترین میانگین غلظت فلزات Pb، Zn و Ni در بیدخون در بندر عسلویه، و Cr در بندر دیلم مشاهده گردید. در شکل ۳، میانگین فاکتور آلودگی (CF) هر کدام از فلزات و نیز شاخص بار آلودگی (PLI) تمام فلزات در ایستگاه‌های مختلف مطالعاتی ارائه شده است. میانگین فاکتور CF برای عناصر Pb، Cu، Zn، Ni، Cr و Cd به ترتیب به میزان ۰/۹۳، ۰/۴۴، ۰/۵۸، ۰/۳۱ و ۳/۲۱ مشاهده گردید.



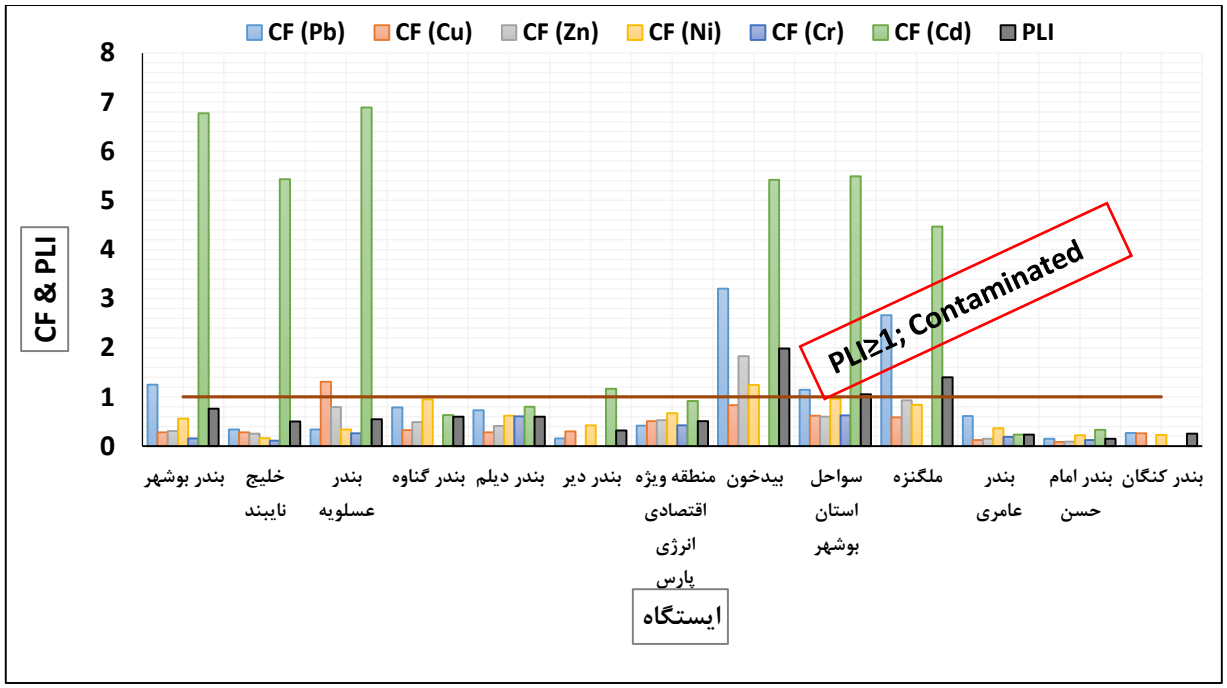
شکل ۲: مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف مطالعاتی طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۹۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه فاکتور CF، بیشترین میزان CF برای Cd و سپس Pb و کمترین میزان برای Cu و Cr به دست آمد. نتایج محاسبه شاخص بار آلودگی (PLI) فلزات سنگین در رسوبات بررسی شده نیز نشان داد مقادیر PLI سواحل بنادر مختلف از ۰/۱۵ تا ۱/۹۹ متغیر می‌باشد. بیشترین میزان شاخص PLI به ترتیب در رسوبات بیدخون به میزان (۱/۹۹)، سواحل ملگنزه (۱/٤۰)، کل سواحل بوشهر (۱/۰٦)، بندر بوشهر (۰/۷٦)، بندر گناوه و دیلم (۰/٦۰)، و بندر عسلویه (۰/۵۵) و منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس (۰/۵۱) مشاهده شد. بندر امام حسن (۰/۱۵)، بندر عامری (۰/۲٤) و کنگان (۰/۲۵) نیز کمترین میزان PLI را داشتند.

نتایج بررسی خطر اکولوژیکی (E_r^i) هر کدام از فلزات سنگین مورد بررسی و نیز شاخص ریسک محیط‌زیستی بالقوه (PER) در جدول ۳ آورده شده است. به طور کلی این یافته‌ها نشان می‌دهند از نظر خطر اکولوژیکی فلزات سنگین سواحل منطقه مطالعاتی برای پنج فلز Pb، Cu، Zn، Ni و Cr در طبقه خطر کم قرار دارند (E_r^i< ٤۰). اما فلز Cd در سواحل بنادر مختلف دارای خطر اکولوژیکی کم تا خیلی زیاد بوده است (۰ < E_r^i < ۳۲۰). به‌علاوه، روند تغییرات خطر کلی هر فلز در منطقه به صورت Cd > Pb> Ni > Cu > Cr > Zn ارزیابی گردید. در واقع بیشترین و کمترین خطر به ترتیب مربوط به فلز Cd و Zn بوده است. هم‌چنین یافته‌های بررسی شاخص PER این فلزات نشان داد که با توجه به مقادیر به دست آمده که در محدوده ۲۵۷/۳۸–۳/۷٦ می‌باشد، خطر محیط زیستی (PER) کل این فلزات در منطقه از خطر کم (<۹۵) تا خطر قابل ملاحظه (۳۸۰–۱۹۰) دارای نوسان می‌باشد.



شکل ۳: میانگین فاکتور آلودگی (**CF**) و شاخص بار آلودگی (**PLI**) فلزات در ایستگاه‌های مختلف طی دوره ۱۳۹۹–۱۳۹۱

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

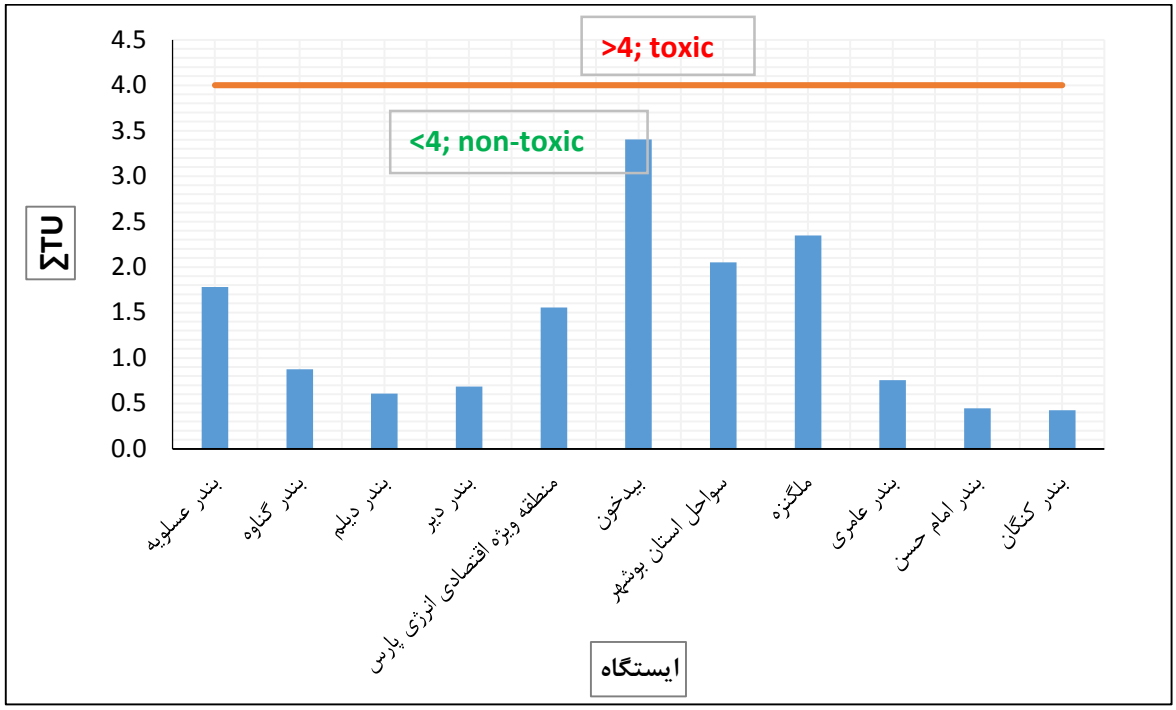
جدول۳: مقایسه میانگین شاخص خطر اکولوژیکی هر فلز (Er_r^i) و ریسک محیط‌زیستی بالقوه (**PER**) در بین ایستگاه‌های مختلف طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۹۱

ایستگاه	Er_r^i						PER
	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	
بندر بوشهر	٦/٢٦	١/٤٠	١/٣٠	٢/٧٩	٠/٣١	٢٠٣/٢٠	٢١٤/٢٦
خلیج نایبند	١/٧٠	١/٣٨	٠/٢٥	٠/٨١	٠/٢٣	١٦٣	٢٥٧/٣٨
بندر عسلویه	١/٧٠	٦/٥٦	٠/٧٩	١/٦٨	٠/٥٢	١٩٧/٦٧	٢٠٨/٩٢
بندر گناوه	٣/٩٥	١/٦٢	٠/٤٩	٤/٧٦	–	١٩	٢٩/٨٢
بندر دیلم	٣/٦٤	١/٣٩	٠/٤١	٣/٠٩	١/٢١	٢٤	٣٣/٧٣
بندر دیر	٠/٧٩	١/٤٩	–	٢/١١	–	٣٥	٣٩/٣٩
منطقه ویژه اقتصادی	٢/٠٨	٢/٥٤	٠/٥٣	٣/٣٤	٠/٨٥	٢٧/٥٠	٣٦/٨٤
بیدخون	١٦/٠٢	٤/١٦	١/٨٣	٦/٢٣	–	١٦٢/٥٠	١٩٠/٧٤
سواحل استان بوشهر	٥/٧٥	٣/٠٨	٠/٦٠	٤/٨٣	١/٢٥	١٦٤/٦٧	١٨٠/١٧
ملگنزه	١٣/٣٢	٢/٩٢	٠/٩٣	٤/١٩	–	١٣٤	١٥٥/٣٦
بندر عامری	٣/٠٧	٠/٦١	٠/١٥	١/٨١	٠/٣٧	٧	١٣/٠١
بندر امام حسن	٠/٧٦	٠/٤٢	٠/٠٩	١/١١	٠/٢٤	١٠	١٢/٦١
بندر کنگان	١/٣٣	١/٢٩	–	١/١٥	–	–	٣/٧٦

یافته‌های حاصل از محاسبه ∑TU فلزات مورد مطالعه (Pb، Cu، Zn، Ni، Cr و Cd) در رسوبات سطحی بنادر و مناطق ساحلی مختلف استان بوشهر در شکل ٤ ارائه شده است. نتایج بررسی این شاخص نشان داد میزان پتانسیل سمیت (∑TU) فلزات در بنادر مختلف از ٠/٤٢ تا ٣/٤٠ متغیر می‌باشد. در واقع میزان سمیت حاد فلزات در تمامی رسوبات سواحل ایستگاه-های مطالعاتی کمتر از ٤ بوده که این امر بیانگر عدم سیمت حاد مجموع فلزات در این نواحی است. به علاوه، با توجه به اینکه شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات (∑TU) سمیت ناشی از مجموع فلزات مورد بررسی را ارائه می‌دهد، لذا در این بخش از مطالعه با محاسبه‌ی درصد نسبت TU/∑TU، درصد سهم نسبی هر کدام از فلزات سنگین در سمیت کل رسوبات مناطق ساحلی به فلزات تعیین شد. براساس نتایج محاسبه شده درصد سهم نسبی فلزات مختلف در سمیت کل فلزات سنگین در رسوبات بنادر و مناطق مختلف ساحلی استان بوشهر برای فلزات Pb (١٤/٠١)، Cu (١٦/٨٠)، Zn (١٧/٢٩)، Ni (٤٨/٨٢)، Cr (١٣/٣٧) و Cd (٢٥/٠٢) مشاهده شد.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]



شکل ٤: مقایسه میانگین شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات (∑TU) در بین ایستگاه‌های مختلف طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۹۱

در جدول ٤ نیز نتایج محاسبه‌ی شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ) فلزات سنگین مورد بررسی (Pb، Cu، Zn، Ni، Cr و Cd) در رسوبات سطحی بنادر و مناطق مختلف ساحلی استان بوشهر آورده شده است. نتایج شاخص mHQ فلزات سنگین برای فلز Pb نشان داد میزان خطر اصلاح شده در محدوده ۳/۳٤-۰/۰۸ یعنی در طبقات عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی خیلی زیاد بوده است، برای Cu در محدوده ۳/۷۳-۰/۱۲ یعنی در طبقات عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی بیش از حد زیاد، برای فلز Zn در محدوده ٤/٤٦-۰/۰۷ یعنی در طبقه عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی بیش از حد زیاد، برای فلز Ni در محدود ٦/١٦-۰/۷٦ یعنی در طبقه آلودگی خیلی کم تا آلودگی بیش از حد زیاد، و برای فلز Cr در محدوده ۲/۸۸-۰/۳٦ یعنی در طبقات عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی با شدت زیاد مشاهده گردید. علاوه بر این، نتایج نشان داد میزان شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده برای فلز Cd در رسوبات در محدوده ٦/٦٠-۰/۱ یعنی در طبقه عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی بیش از حد زیاد بوده است.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

جدول ٤: میانگین شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده (**mHQ**) در ایستگاه‌های مختلف طی دوره ۱۳۹۹-۱۳۹۱

ایستگاه	mHQ						mHQ
	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	
بندر بوشهر	۱/۱۱	۰/۵۳	۰/۳۱	۳/۳۱	۰/۵۲	۵/۳٦	۱/۸٦
خلیج نایبند	۰/۲٤	۰/۵٦	۰/۲٦	۰/۷٦	۰/۳٦	٤/٦۰	۱/۱۳
بندر عسلویه	۰/۲۲	۳/۷۳	۱/۰٦	۱/۷٤	۱/۰۳	٦/۰۹	۲/۳۱
بندر گناوه	۰/٦۷	۰/٦۳	۰/۵٤	۵/۹۱	–	۰/۳۲	۱/٦۱
بندر دیلم	۰/۵۹	۰/۵۲	۰/٤٤	۳/۵۲	۲/۷۰	۰/٤۲	۱/۳٦
بندر دیر	۰/۰۹	۰/۵۸	–	۲/٤٦	–	۰/٦٦	۰/۹۵
منطقه ویژه اقتصادی	۰/۲۸	۱/۰۸	۰/٦۰	۳/۹٤	۱/۸۳	۰/۵۲	۱/۳۷
بیدخون	۳/۳٤	۱/۹٦	۲/٦٤	٦/۱٦	–	٤/۱۷	۳/٦۵
سواحل استان بوشهر	۱/۰۲	۱/۳۹	۰/۷۲	٦/۰٤	۲/۸۸	٤/٤۹	۲/۷٦
ملگنزه	۲/۵۹	۱/۲۷	٤/٤٦	۵/۰٦	–	۳/۳۰	۳/۳٤
بندر عامری	۰/٤٤	۰/۱۹	۰/۱۳	۱/۸۵	۰/٦٦	۰/۱۰	۰/۵٦
بندر امام حسن	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۰۷	۱/۰۳	۰/٤۰	۰/۱۵	۰/۳۱
بندر کنگان	۰/۱٦	۰/٤۷	–	۱/۰۷	–	–	۰/۵۷

بحث

امروزه یکی از تهدیدات مهم جوامع زیستی و اکولوژیکی سواحل و سایر اکوسیستم‌های آبی به‌خصوص در سواحل استان بوشهر ورود انواع آلاینده‌های آلی و معدنی به‌خصوص فلزات سنگین است. زیرا سواحل مذکور به دلایل مختلفی نظیر توسعه شهرنشینی سریع، افزایش تراکم جمعیت، استحصال و بهره‌برداری از صنایع نفت و پتروشیمی، ورود فاضلاب و رواناب‌های شهری و کشاورزی به شدت در معرض ورود انواع آلاینده نظیر فلزات قرار دارد [۱۷، ۳۵]. از این رو بررسی وضعیت و روند تغییرات آلودگی فلزات سمی در طول سواحل و همچنین ارزیابی سمیت و مخاطرات اکولوژیکی آن‌ها در اکوسیستم‌های آبی به‌منظور مدیریت و حفاظت از این سواحل و موجودات زنده آن‌ها ضروری است. در این راستا آنالیز غلظت فلزات در رسوبات در طی دوره‌های زمانی مختلف یکی از این روش‌ها است.

در مطالعه حاضر، به طور کلی روند میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوبات سواحل ایستگاه‌های مختلف استان بوشهر به‌ترتیب به صورت Zn (۵۵/۱۳) > Ni (۲۹/۱۵) > Cr (۲۸/۰۳) > Cu (۱۹/۹۸) > Pb (۱۸/۵۷) > Cd (۱/۰۳) مشاهده گردید. در این راستا، در مطالعه Mirzaei و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تغییرات مکانی- فصلی فلزات سنگین در رسوبات سواحل استان بوشهر نتایج نشان داد که ترتیب غلظت فلزات در رسوبات به صورت Pb<Ni<Cr<Zn<Fe<Cu مشاهده شد [٦]. در مطالعه Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷) نیز در سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، توالی غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات به صورت Hg<Cd<Pb<Cr<Ni<Cu<Zn<Fe به‌دست آمد [۱۵]. در مطالعه دیگر Haghshenas و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی ریسک اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات مناطق ساحلی استان بوشهر، توالی غلظت کلی فلزات سنگین مورد بررسی در رسوبات سواحل مختلف استان بوشهر

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

به صورت Cd<Pb<Cu<Zn مشاهده شد [۳۵]. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۱٤) نیز در بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات مناطق مختلف استان بوشهر (دیلم، گناوه، دیر، بوشهر)، توالی غلظت فلزات در رسوبات تمام ایستگاه‌ها به ترتیب Cd<Pb<Co<Cu<Ni به دست آمد [۲۹]. در این مطالعات نیز مشابه نتایج این بخش پژوهش حاضر، Zn و Ni دارای بیشترین میزان و فلزات Pb و Cd دارای کم‌ترین میزان نسبت به سایر فلزات بوده‌اند. محققان مختلف غلظت بالای فلزات سنگین نواحی ساحلی را ناشی از منابع طبیعی (نوع و بافت رسوبات، مقدار طبیعی فلز در بافت رسوب، ویژگی ژئوشیمیایی رسوبات، عمق آب، نوع و جهت جریانات دریایی) و انسانی به‌خصوص ورود فاضلاب‌های صنعتی، شهری، حمل و نقل و تردد قایق‌ها و کشتی‌ها بیان نمودند 34، [۳۹]. به‌علاوه براساس نتایج آزمون آماری آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA) میانگین غلظت برای فلزات Pb، Zn، Ni و Cr در بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی داری را نشان داد (P<۰/۰۵)، که بیشترین میانگین غلظت برای فلزات Pb، Zn و Ni در بیدخون در بندر عسلویه، و برای Cr در بندر دیلم مشاهده گردید. در واقع مقایسه بین غلظت فلزات در رسوبات مناطق مطالعاتی نشان داد که ایستگاه‌های مختلف دارای مقادیر مختلفی از فلزات به دلیل تنوع در منابع آلوده کننده هستند. Keshavarzifard و همکاران (۲۰۱۹) و Mirzaei و همکاران (۲۰۲۰) نیز اختلاف و روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در سواحل مختلف استان بوشهر را ناشی از تغییرات نسبت غلظت عناصر ورودی در منبع آلاینده آن‌ها شامل فاضلاب شهری و خانگی، حمل و نقل زیاد، فاضلاب کشاورزی و صنعتی، فعالیت‌های انسانی نظیر لایروبی سواحل و اسکله‌ها، قایق سواری و ماهی‌گیری بیان کردند [۶-۷]. زیرا منابع آلاینده مختلف و خروجی آن‌ها (پساب، فاضلاب یا آلاینده‌های خروجی از دودکش‌ها) برای یک فلز تنها از غلظت یکسانی برخوردار نیست و بسته به ورودی صنعت، فرآیند و تکنولوژی آن، میزان و نوع آلاینده خروجی نیز متفاوت است. Dehghani و همکاران (۲۰۱٤) افزایش فعالیت‌های صنعتی و پالایشگاهی در چند دهه اخیر را عامل مهم افزایش آلاینده‌های مختلف به ویژه فلزات سنگین در رسوبات سطحی سواحل خلیج فارس بیان کردند [۳۰]. در مطالعه Hosseini و همکاران (۲۰۱٤) نیز در بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات مناطق مختلف استان بوشهر، بیشترین غلظت فلزات Ni (۵۵/۲۳)، Co (۲۱/۳۲) و Cd (۰/۵۷) در رسوبات بندر بوشهر و بیشترین غلظت فلزات Cu (۱۹/۱۳) و Pb (۵/٦۱) نیز در رسوبات سواحل دیر مشاهده شد. در این مطالعه بالا بودن غلظت فلزات در رسوبات بندر بوشهر نسبت به دیگر سواحل به وجود واحدهای صنعتی پتروشیمی و تخلیه پساب‌های این واحدها به سواحل، وجود منابع و صنایع عظیم نفتی و عبور و مرور کشتی‌های حامل نفت و نیز صنایع کشتی سازی در اطراف این منطقه عنوان شد [29]. علاوه بر این، عواملی نظیر نوسان در جریانات ورودی به دریا، اعم ازبارندگی‌ها، پساب‌ها، زه‌کشی آب و رواناب، شرایط اکولوژیکی و فیزیکی پویا سواحل به‌خصوص در خلیج فارس، فعالیت‌های گسترده و متفاوت اعم از شهری و صنعتی باعث ایجاد تغییر معنادار غلظت عناصر مختلف در آب و رسوبات ساحلی نیز می‌شود که این امر سنجش و ارزیابی‌های محیطی آلاینده‌ها را پیچیده‌تر می‌کند [۱۳، ۱۵، 34].

براساس نتایج حاصل از محاسبه‌ی فاکتور آلودگی (CF)، میزان این فاکتور برای فلز Pb در محدوده ۳/۲۰-۰/۱۵ یعنی در طبقه سطوح آلودگی کم تا قابل توجه، برای فلز Cu در محدوده ۱/۳۱-۰/۰۸ یعنی در طبقه سطوح آلودگی کم تا متوسط، برای فلز Zn در محدوده ۱/۸۳-۰/۰۹ یعنی در طبقه آلودگی کم تا متوسط، برای فلز Ni در محدوده ۱/۲۵-۰/۱٦یعنی در طبقه آلودگی کم تا متوسط، برای Cr در محدوده ۰/٦۳-۰/۱۱ یعنی در طبقه آلودگی کم و برای فلز Cd در محدوده ٦/۸۹-۰/۲۳ یعنی در محدوده آلودگی کم تا بسیار

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

زیاد مشاهده شد. بیشترین میزان فاکتور آلودگی در کل محدوده مطالعاتی مربوط به Cd (۳/۲۱) و Pb (۰/۹۳) و کمترین میزان مربوط به Cu (۰/٤٤) و Cr (0/31) بود. در مطالعه Razaghi و همکاران (۲۰۱٤) در نایبند تغییرات فاکتورهای آلودگی برای فلزات مختلف با روند Ni<Pb<Zn<Cu<Cd<Hg مشاهده شد. در این مطالعه دلیل بالا بودن فاکتور آلودگی Hg و سپس Cd در منطقه به احتمال وجود دخالت‌های انسانی و پساب‌های خروجی از کارخانه‌های پتروشیمی در منطقه نسبت داده شد [۲٤]. در مطالعه دیگری توسط Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷) در سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، نتایج فاکتور آلودگی نشان داد که وضعیت آلودگی در منطقه برای فلزات Hg، Zn، Cr، Pb و Ni کم و برای فلز Cd و Cu متوسط بود [۱۵]. بررسی و مقایسه فاکتور آلودگی هر کدام از فلزات مورد بررسی در رسوبات ایستگاه‌های مختلف نشان داد که این فاکتور برای فلزات Cu، Cr، Zn و Ni در تمام بنادر و مناطق ساحلی استان بوشهر (به استثناء Zn و Ni در بیدخون) در سطوح آلودگی کم (CF<۱)، برای فلز Cd در بندر عسلویه و بوشهر در سطح آلودگی بسیار زیاد، در بیدخون، کل سواحل استان بوشهر و نایبند در سطح آلودگی قابل توجه (٦>CF≥۳) و در سایر ایستگاه‌ها در سطح آلودگی کم تا متوسط (۳>CF≥۱) مشاهده شد، برای فلز Pb نیز در بیدخون در سطح آلودگی قابل توجه و در بندر بوشهر، کل سواحل استان بوشهر و ملگنزه در سطح آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در سطح آلودگی کم یافت شد. در مطالعه Rostamipaydar و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی زیست محیطی فلزات سنگین در رسوبات ساحلی بندر امام و دیلم نشان داد که براساس شاخص فاکتور آلودگی، میزان CF برای تمامی فلزات Cr، Pb، Hg، Cd و As در طبقه آلودگی متوسط قرار دارند [36].

شاخص بار آلودگی (PLI) نیز به عنوان یک فاکتور مناسب جهت تعیین میزان آلودگی است که امکان مقایسه سطوح آلودگی سایت یا سواحل گوناگون در زمان‌های مختلف را فراهم می‌سازد، در این راستا محاسبه شاخص بار آلودگی فلزات در رسوبات سواحل بوشهر نشان داد مقادیر PLI سواحل مختلف بوده است. این موضوع بیانگر نوسان بار آلودگی سواحل از آلودگی بسیار پایین تا آلودگی زیاد بسته به موقعیت و منابع آلودگی آن‌ها نیز می‌باشد. هم‌چنین مقایسه میزان بار آلودگی رسوبات در سواحل مختلف نشان داد سواحل بیدخون در عسلویه (۱/۹۹)، ملگنزه (۱/٤۰) و کل سواحل استان بوشهر (۱/۰٦) دارای بیشترین بار آلودگی (PLI>۱) و بندر امام حسن (۰/۱۵) دارای کمترین میزان بار آلودگی هستند. در مطالعه Mirzaei و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی بار آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سواحل استان بوشهر نتایج نشان داد که مقدار شاخص بار آلودگی در تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱ مشاهده شد و نشان دهنده‌ی بار آلودگی کم در منطقه مورد مطالعه بود [٦]. در مطالعه دیگری توسط Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷) در سنجش آلودگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، نتایج شاخص بار آلودگی فلزات نشان داد که مقادیر PLI برای تمام ایستگاه‌ها کمتر از ۱ است و این موضوع بیانگر عدم آلودگی منطقه به فلزات سنگین می‌باشد [۱۵].

نتایج ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین سواحل مطالعاتی بیان‌گر خطر اکولوژیکی کم برای فلزات Pb، Cu، Ni، Zn و Cr بود (E_r^i < ٤۰)، فلز Cd در سواحل ایستگاه‌های مختلف دارای خطر اکولوژیکی کم تا خیلی زیاد بوده است (۳۲۰>E_r^i>۰). به‌علاوه، براساس خطر اکولوژیکی برای هر فلز ترتیب Er برای فلزات مختلف به صورت Zn<Cr<Cu<Ni<Pb<Cd مشاهده شد و بیشترین خطر مربوط به Cd و Pb و کمترین خطر مربوط به Zn و Cr یافت شد. هم‌چنین یافته‌های بررسی شاخص PRI این فلزات نشان

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

داد کـه بـا توجـه بـه مقـادیر بـه‌دسـت آمده که در محدوده ۲۵۷/۳۸–۳/۷۶ می‌باشـد، خطر محیط زیستی بالقوه این فلزات در منطقـه از کم (۹۵>) تا خطر قابل ملاحضـه (۳۸۰–۱۹۰) دارای نوسـان می‌باشـد. بالا بودن خطر محیط‌زیسـتی فلزات می‌تواند ناشی از غلظت زیاد این آلاینده‌ها در برخی از سواحل بـه علت حضـور منابع آلاینده مختلف در محدوده اطراف و داخل نواحی ساحلی این بوم‌سازگان باشد [۱۷، ۳۵، ۴۰]. در مطالعه Mirzaei و هـمکـاران (۲۰۲۰) در بررسـی تغییرات خطر اکولوژیکی فلزات سـنگین در رسـوبات سواحل استان بوشهر نتایج نشـان داد که مقادیر Er و PRI برای فلزات مورد مطالعه (Cr، Pb، Cd، Cu، Zn و Ni) در تمام فصـول به ترتیب کمتر از ٤٠ و ١٥٠ مشاهده شد. به‌علاوه، در این مطالعه مشابه نتایج پژوهش حـاضـر، ترتیـب میزان Er برای فلزات مختلف بـه صـورت Cr<Zn<Ni<Pb<Cu<Cd مشاهده شد و فلز Cd و Cr بـه ترتیـب بیشـترین و کمترین میزان Er را در تمـام سایت‌های نمونه برداری به خود اختصاص دادند [٦]. در مطالعه Haghshenas و همکاران (۲۰۱۷) نیز ترتیب خطر اکولوژیکی برای فلزات بـه صـورت Hg<Cr<Zn<Ni<Pb<Cu<Cd مشـاهده شـد که با نتایج مطالعه حاضـر هم‌خوانی دارد [۱۵]. در پژوهش دیگری توسـط Haghshenas و همکـاران (۲۰۱۸) ارزیابی ریسـک اکولوژیکی فلزات سـنگین در رسوبات مناطق سـاحلی اسـتان بوشـهر نشـان داد که ترتیب خطر اکولوژیکی برای فلزات به صـورت Zn<Pb<Cu<Cd است و بیشترین و کمترین خطر بـه ترتیـب مربوط بـه فلز Cd و Zn اسـت [۳۵]. بنابراین براسـاس نتایج این بخش مطالعه حاضر و نیز مطابقت با سـایر مطالعات انجام شده در مناطق ساحلی بوشهر می‌توان نتیجـه گرفـت که Cd، Cu و Pb نگران کننده‌ترین آلاینده‌های فلزی در مناطق سـاحلی استان بوشهر هستند که باید نسبت به تجزیـه و تحلیـل منـابع انتشـار این آلاینده‌ها جهت کنترل و تدوین استراتژی‌های مدیریتی مؤثرتر برای ورود این فلزات به مناطق سـاحلی اسـتان بوشـهر اقدام کرد. هم‌چنین یافته‌های بررسی شاخص PRI این فلزات نشان داد که با توجه به مقادیر به دسـت آمده که در محدوده ۲۵۷/۳۸–۳/۷٦ می‌باشـد، خطر محیط زیسـتی (PRI) این فلزات در کـل منـاطق مطالعاتی از خطر کم (۹۵>) تـا خطر قـابـل ملاحظـه (۳۸۰–۱۹۰) دارای نوسان می‌باشد. در این راستا، مطالعه Haghshenas و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیـابی ریسـک اکولوژیکی فلزات سـنگین در رسـوبات مناطق سـاحلی مختلف اسـتان بوشـهر (جم، دیر، بوشـهر، دشتی، گناوه و دیلم)، شاخص PRI فلزات (Zn، Pb، Cu، Cd) در محدوده ۳۱۳/٦۰–۸٦/۷۳ با خطر محیط زیسـتی متوسط تا قابل ملاحظه به دست آمد [۳۵].

یافته‌های حاصـل از بررسـی مجموع واحد سـمیت حاد (∑TU) فلزات سـنگین در رسـوبات سـطحی بنادر و مناطق مختلف مورد بررسـی نشان داد میزان پتانسیل سمیت (∑TU) فلزات در بنـادر مختلف از ۰/٤۲ تا ۳/٤۰ متغیر می‌باشـد. در واقع میزان سـمیت حاد فلزات در تمامی رسـوبات سـواحل ایسـتگاه‌های مطالعاتی کمتر از ٤ بوده که این امر بیانگر عدم سـیمت حاد مجموع فلزات در این نواحی اسـت. در مطالعه Hedayatzadeh و همکـاران (۲۰۲۰) نیز مقـایسـه میـانگین شاخص سمیت کل فلزات در بین ایستگاه‌ها مختلف نشان داد که میزان سـمیت فلزات در هر یک از ایسـتگاه‌ها با توجه به موقعیت مکانی و فاصـله آنها از مراکز آلاینده فلزات سـنگین می‌تواند متفاوت باشـد [۲۲]. با توجه به اینکه شـاخص پتانسـیل سـمیت حاد فلزات (∑TU) سـمیت ناشـی از مجموع فلزات مورد بررسـی را ارائـه می‌دهد، لذا در این بخش از مطالعه با محاسبه‌ی درصد نسبت TU/∑TU، درصد سهم نسبی هر کدام از فلزات سـنگین در سـمیت کل رسـوبات مناطق سـاحلی به فلزات تعیین شد. همان طور که در شکل ۷ ارائه گردیده است درصد سهم نسبی فلزات مختلف در سمیت کل فلزات سنگین در رسـوبات بنادر و مناطق مختلف ساحلی استان بوشهر برای فلزات Pb (۱٤/۰۱)، Cu (۱٦/۸۰)، Zn (۱۷/۲۹)، Ni (٤۸/۸۲)، Cr (۱۳/۳۷) و Cd (۲۵/۰۲) مشـاهده شـد. براسـاس نتایج

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

حاصل از محاسبه‌ی درصد نسبت TU/∑TU نیز جهت تفکیک و تعیین درصد سهم نسبی هر کدام از فلزات سنگین در سمیت رسوبات مناطق مختلف سواحل استان بوشهر، ترتیب درصد سهم نسبی فلزات مورد مطالعه در سمیت کل به صورت Ni (۴۸/۸۲)> Cd (۲۵/۰۲)> Zn (۱۷/۲۹)> Cu (۱۶/۸۰)> Pb (۱۴/۰۱)> Cr (۱۳/۳۷) مشاهده شد. در واقع بیشترین درصد سهم نسبی فلزات سنگین مورد مطالعه در سمیت رسوبات در منطقه مورد مطالعه مربوط به عناصر Ni و Cd بود که به ترتیب حدود 48/82 و ۲۵/۰۲ درصد از سمیت کل را نشان دادند. بنابراین براساس این نتایج فلزات Ni و Cd پتانسیل و سهم قابل توجهی در ایجاد سمیت رسوبات مناطق مختلف ساحلی استان بوشهر دارند و در نتیجه منجر به ایجاد اثرات سمی آشکاری بر موجودات آبزی ساکن در رسوبات این مناطق می‌شوند.

هم‌چنین نتایج شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده فلزات (mHQ) نشان داد میزان این شاخص برای فلز Pb در محدوده ۳/۳۴-۰/۰۸یعنی در طبقه عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی خیلی زیاد، میزان Cu در محدوده ۳/۷۳- ۰/۱۲ یعنی در طبقه عدم آلودگی و ناچیز تا آلودگی خیلی زیاد، فلز Zn در محدوده ۴/۴۶-۰/۰۷ یعنی در طبقه عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی بیش از حد زیاد، فلز Ni در محدود ۶/۱۶- ۰/۷۶ یعنی در طبقه آلودگی خیلی کم تا آلودگی بیش از حد زیاد، فلز Cr در محدوده ۲/۸۸-۰/۳۶ یعنی در طبقات عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی با شدت زیاد نیز قرار دارد. علاوه بر این، نتایج نشان داد برای فلز Cd میزان شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده در رسوبات در محدوده ۶/۶۰-۰/۱ یعنی در طبقه عدم وجود آلودگی و ناچیز تا آلودگی بیش از حد زیاد بوده است. در مطالعه Hedayatzadeh و همکاران (۲۰۲۰) نیز بررسی میزان شاخص mHQ برای فلزات مورد بررسی در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که میزان این شاخص برای فلز Cu در طبقه آلودگی خیلی کم تا ناچیز، برای Ni در طبقه آلودگی بسیار شدید تا خیلی کم، برای فلز Pb در طبقه آلودگی ناچیز تا غیر آلوده و از نظر Cd در طبقه آلودگی کم تا ناچیز قرار دارند [۲۲]. به طور کلی این امر نشان دهنده سمیت آلودگی فلزات در رسوبات برای سلامت موجودات زنده به خصوص موجودات بنتیک است بنابراین ارزیابی و انجام آزمایشات دقیق سمیت رسوبات منطقه بسیار ضروری است. زیرا این عناصر می‌توانند عملکرد اکولوژکی و بیولوژیکی سواحل و مناطقی را که دارای غلظت بالایی هستند را تحت تأثیر قرار دهند [۲]. بنابراین کاهش سطوح فلزات سنگین در محیط و ارزیابی غلظت آن‌ها در بوم‌سازگان‌های آبی مورد استفاده انسان به منظور جلوگیری از خطر بالقوه این آلاینده‌ها در محیط زیست باید مورد توجه قرار گیرد.

قابل ذکر است که در مطالعه حاضر اگر چه سعی گردید تمام مطالعاتی که دارای غلظت مربوط به این ٦ عنصر هستند و در دهه اخیر (بازه زمانی ۱۳۹۹-۱۳۹۱) مورد بررسی قرار گرفته‌اند، در نظر گرفته شوند ولی در خصوص داده‌های مربوط به غلظت فلزات مورد نظر در این دوره مطالعاتی گپ اطلاعاتی نیز وجود داشته است، به این ترتیب که در برخی از سال‌های این دوره مطالعاتی (۹ ساله) اطلاعات مربوط به غلظت برخی از این عناصر مورد بررسی فقدان بوده است که در جدول ارائه شده در بخش مواد و روش‌ها نیز قابل مشاهده است (جدول ۱). علاوه بر این مورد، کلیه مناطق ساحلی مورد بررسی در استان بوشهر به یک نسبت در تمام سال‌های این دوره مورد بررسی قرار نگرفته بودند و بیشترین مطالعات صورت گرفته به مناطق ساحلی چون بوشهر، عسلویه، گناوه و دیلم اختصاص یافته است. بنابراین، گرچه با مقایسه نتایج حاصل با برخی مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد نظر، تطابق و شباهت‌هایی از نظر یافته‌ها مشاهده گردید ولی می‌توان احتمال داد با وجود این موارد نتایج حاصل می‌توانند تحت الشعاع واقع شوند. در مطالعه حاضر فقط مقایسه میانگین غلظت فلزات و شاخص‌ها بین ایستگاه‌ها صورت

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

گرفت، لذا برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد که مقایسه بین سال‌های مختلف مطالعاتی نیز براساس آنالیزهای آماری صورت گیرد. به‌علاوه، پیشنهاد می‌گردد درصد سهم نسبی فلزات سنگین مورد مطالعه در شاخص‌هایی چون PLI و PRI به تفکیک هر فلز تعیین گردد.

نتیجه‌گیری

آلودگی فلزات سنگین همواره یکی از مهم‌ترین تهدیدات بوم‌سازگان‌های آبی است که حضور آن‌ها با سمیت و مخاطرات اکولوژیکی فراوانی همراه است. بررسی سمیت و ارزیابی خطرات اکولوژیکی آن‌ها در این بوم‌سازگان‌ها بسیار ضروری است. از این رو در مطالعه حاضر به بررسی غلظت، سمیت و ارزیابی خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین (Cd، Pb، Cr، Cu، Ni، Zn) در رسوبات سطحی سواحل استان بوشهر به روش سیستماتیک پرداخته شد. براساس نتایج شاخص بار آلودگی در مطالعه حاضر می‌توان نتیجه گرفت میزان بار آلودگی سواحل (از آلودگی بسیار کم تا آلودگی زیاد) بسته به موقعیت و منابع آلودگی آن‌ها نیز متغیر است. ارزیابی خطر اکولوژیکی و محیط‌زیستی فلزات نیز در منطقه از کم تا خطر قابل ملاحظه مشاهده شد. علاوه بر این، براساس شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات و ارزیابی خطر اصلاح شده می‌توان نتیجه گرفت سمیت و خطر فلزات بسته به نوع سواحل و منابع آلاینده آن‌ها و هم‌چنین نوع فلز دارای آلودگی خیلی کم و تا شدیداً آلوده می‌باشد که این امر بیان‌گر پتانسیل تأثیرات منفی و خطرناک این فلزات بر روی جانوران وابسته به این بوم‌سازگان خواهد بود. لذا این امر لزوم سنجش و ارزیابی مداوم خطرات فلزات سنگین در رسوبات منطقه و موجودات زنده آن را با توجه به وجود منابع گسترده آلاینده در این سواحل نیز می‌طلبد.

References

1. Vareda JP, Valente AJ, Durães L. Assessment of heavy metal pollution from anthropogenic activities and remediation strategies: A review. J Environ Manage 2019; 246: 101-18.
2. Rajeshkumar S, Li X. Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. Toxicol. Rep 2018; 5: 288-95.
3. Mortazavi S, Hatami M. Assessment of ecological hazard of heavy metals (Cr, Zn, Cu, Pb) in surface sediments of the Bashar river, Yasouj, Iran. Arch. Hyg. Sci 2018; 7(1): 47-60.
4. Egila J, Daniel V. Trace metals accumulation in freshwater and sediment insects of Liberty Dam, Plateau State Nigeria. Int J Basic Appl Sci 2011; 11:128-40.
5. Wuana RA, Okieimen FE. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. Isrn Ecology 2011; 1-20.
6. Mirzaei M, Hatamimanesh M, Haghshenas A, Moghaddam SM, Ozunu A, Azadi H. Spatial-seasonal variations and ecological risk of heavy metals in Persian gulf coastal region: case study of Iran. J Environ Health Sci 2020; 18(1): 91-105.
7. Keshavarzifard M, Moore F, Sharifi R. The influence of physicochemical parameters on bioavailability and bioaccessibility of heavy metals in sediments of the intertidal zone of Asaluyeh region, Persian Gulf, Iran. Geochemistry 2019; 79(1): 178-87.
8. Nour HE, El-Sorogy AS, El-Wahab MA, Mohamaden M, Al-Kahtany K. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals pollution from the Shalateen coastal sediments, Red Sea, Egypt. Mar. Pollut. Bull. 2019; 144: 167-72.
9. Mortazavi S, Hatami-Manesh M, Joudaki F. Evaluation of toxicity and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Sezar River, Lorestan Province. IJHE 2019; 11(4): 487-504. [Farsi]
10. Obasohan E, Oronsaye J, Eguavoen O. A comparative assessment of the heavy metal loads in the tissues of a common catfish (Clarias gariepinus) from Ikpoba and Ogba Rivers in Benin City, Nigeria. Nigeria Afr Sci 2008; 9(1): 13-23.
11. Karbasdehi VN, Dobaradaran S, Nabipour I, Arfaeinia H, Mirahmadi R, Keshtkar M. Data on metal contents (As,

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

Ag, Sr, Sn, Sb, and Mo) in sediments and shells of Trachycardium lacunosum in the northern part of the Persian Gulf. Data in brief 2016; 8: 966-71.

12. Arfaeinia H, Dobaradaran S, Moradi M, Pasalari H, Mehrizi EA, Taghizadeh F, et al. The effect of land use configurations on concentration, spatial distribution, and ecological risk of heavy metals in coastal sediments of northern part along the Persian Gulf. Sci Total Environ 2019; 653: 783-91.

13. Ustaoğlu F, Islam MS. Potential toxic elements in sediment of some rivers at Giresun, Northeast Turkey: A preliminary assessment for ecotoxicological status and health risk. Ecol Indic 2020; 113: 106237.

14. Zhang H, Walker TR, Davis E, Ma G. Ecological risk assessment of metals in small craft harbour sediments in Nova Scotia, Canada. Mar. Pollut. Bull 2019; 146: 466-75.

15. Haghshenas A, Hatami-manesh M, Mirzaei M, Mir Sanjari M, 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): 448-69. [Farsi]

16. Liu J-J, Ni Z-X, Diao Z-H, Hu Y-X, Xu X-R. Contamination level, chemical fraction and ecological risk of heavy metals in sediments from Daya Bay, South China Sea. Mar. Pollut. Bull 2018; 128: 132-9.

17. Arfaeinia H, Nabipour I, Ostovar A, Asadgol Z, Abuee E, Keshtkar M, et al. Assessment of sediment quality based on acid-volatile sulfide and simultaneously extracted metals in heavily industrialized area of Asaluyeh, Persian Gulf: concentrations, spatial distributions, and sediment bioavailability/toxicity. Environ Sci Pollut Res Int 2016; 23(10): 9871-90.

18. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, Stewart LA. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. Systematic reviews 2015; 4(1), 1.

19. Tong S, Li H, Wang L, Tudi M, Yang L. Concentration, spatial distribution, contamination degree and human health risk assessment of heavy metals in urban soils across China between 2003 and 2019—A Systematic Review. Int J Environ Res Public Health 2020; 17(9): 3099.

20. Kumar V, Parihar RD, Sharma A, Bakshi P, Singh Sidhu GP, Bali AS, Karaouzas I, Bhardwaj R, Thukral AK, Gyasi-Agyei Y, Rodrigo-Comino J. Global evaluation of heavy metal content in surface water bodies: A meta-analysis using heavy metal pollution indices and multivariate statistical analyses. Chemosphere 2019; 236: 124364.

21. Alipour M, Sarafraz M, Chavoshi H, Bay A, Nematollahi A, Sadani M, Fakhri Y, Vasseghian Y, Mousavi Khaneghah A. The concentration and probabilistic risk assessment of potentially toxic elements in fillets of silver pomfret (Pampus argenteus): A global systematic review and meta-analysis. J. Environ. Sci 2021; 100: 167-180.

22. Hedayatzadeh F, Ildoromi A, Hassanzadeh N, Bahramifar N. A systematic and meta-analysis review of heavy metals pollution, toxicity potential, ecological and biological risk in surface sediments of Mahshahr and Imam Khomeini port estuaries (Coastal areas of Khuzestan province). Journal of Marine Biology 2020; 12 (2): 55-80

23. Davari A, Danehkar A, Khorasani N, Javanshir A. Identification of Heavy Metals Contamination at Bushehr Mangroves. J. Environ. Stud 2012; 38(3): 27-36. [Farsi]

24. Razaghi M, Shokri MR, Savari A, Pazooki J. Ecological risk assessment using heavy metals from surface sediments of Nayband Bay and Asaluyeh region (Northern Persian Gulf). J Aquatic Ecology 2013; 2(3): 68-57. [Farsi]

25. Biati A, Nikoomaram H, Karbassi AR. Study of metals concentrations in surface sediments of the Persian Gulf coastal area (Bushehr Province). Int. J. Mar. Sci. Eng 2012; 2(1): 75-80.

26. Salahshur S, Bakhtiari AR, Kochanian P. Use of Solen brevis as a Biomonitor for Cd, Pb and Zn on the Intertidal Zones of Bushehr–Persian Gulf, Iran. Bull Environ Contam Toxicol 2012; 88(6): 951-5.

27. Amini F, Riahi H, Zolgharnain H. Metal concentrations in Padina species and associated sediment from Nayband Bay and Bostaneh Port, northern coast of the Persian Gulf, Iran. J Persian Gulf (Marine Science) 2013; 2(11): 17-24

28. Alahverdi M, Savabieasfahani M. Metal pollution in seaweed and related sediment of the Persian Gulf, Iran. Bull Environ Contam Toxicol 2012; 88(6): 939-45.

29. Hosseini M, Golshani R. The concentration of heavy metals Cd, Co, Pb, Cu and Ni in sediment, liver and muscles of flounder Psettodes erumei from Busheher Province, Persian Gulf. Journal of Animal Research (Iranian Journal of Biology) 2014; 28(4): 441-9. [Farsi]

30. Dehghani M, Nabipour I, Dobaradaran S, Godarzi H. Cd and Pb concentrations in the surface sediments of the Asaluyeh Bay, Iran. J. Community Health Res 2014; 3(1): 22-30.

31. Safahieh A, Habibi S, Zanosi HP, Fathtabar M. Accumulation of Heavy Metals (Cu, Ni, Pb, Cd) in the Sediment and Razor Clam, Solen Roseomaculatus in the Shorelines of Bushehr Province. J. Oceanogr 2016; 7(27): 41-8. [Farsi]

32. Saadatmand M, Dadalehi Sohrab A, Ronagh Mohammad T, Khazaei SH. Measuring of heavy metals Ni, Cu, Pb concentrations in the gills of fish (Siganus javus) and sediments from the coastal areas of Bushehr Province. Marine Biology 2016; 8(3): 79-91. [Farsi]

33. Kamalifar R, Aeinjamshid K, Nurinejad M, Vazirizadeh A, Dehghan-Madiseh S. Heavy metal concentration in the surface sediment of Bidkhun mangrove forest, Nayband bay, Iran. AES Bioflux 2016; 8(2): 244-51.

34. Delshab H, Farshchi P, Keshavarzi B. Geochemical distribution, fractionation and contamination assessment

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

of heavy metals in marine sediments of the Asaluyeh port, Persian Gulf. Mar. Pollut. Bull 2017; 115(1-2): 401-11.

35. Haghshenas A, Hatami-manesh M, Sadeghi M, Mirzaei M, Mohammadi Bardkashki B. Determination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu, Zn) in Surface Sediments of Coastal Regions of Bushehr Province. J Environ Health Eng 2018; 4(5): 359-74. [Farsi]
36. Rostamipaydar G, moradpour h. Environmental evaluation on heavy metals in coastal sediments of the Bandar-e-Imam and Deylam, North Persian Gulf, Iran. Scientific Journal Management System 2018; 12(44): 1-18. [Farsi]
37. Bibak M, Sattari M, Agharokh A, Tahmasebi S, Namin JI. Assessing some heavy metals pollutions in sediments of the northern Persian Gulf (Bushehr province). Environmental Health Engineering and Management Journal 2018; 5(3): 175-79.
38. Abbasi S, Keshavarzi B, Moore F, Shojaei N, Sorooshian A, Soltani N, et al. Geochemistry and environmental effects of potentially toxic elements, polycyclic aromatic hydrocarbons and microplastics in coastal sediments of the Persian Gulf. Environ Earth Sci 2019; 78(15): 492.
39. Aghadadashi V, Neyestani MR, Mehdinia A, Bakhtiari AR, Molaei S, Farhangi M, et al. Spatial distribution and vertical profile of heavy metals in marine sediments around Iran's special economic energy zone; Arsenic as an enriched contaminant. Mar. Pollut. Bull 2019; 138: 437-50.
40. Seifi M, Mahvia AH, Hashemic SY, Arfaeiniad H, Pasalarid H, Zareie A, et al. Spatial distribution, enrichment and geo-accumulation of heavy metals in surface sediments near urban and industrial areas in the Persian Gulf. Desalin Water Treat 2019; 158:130-9.
41. Moradi Z, Solgi E. Measurment of Sediment Quality According to Heavy Metals (Fe, Zn ,Cu, Mn, Ni) Status in Sediments: The Coastal Sediments of Bushehr Port. JWSS 2020; 23(4): 341-53. [Farsi]
42. Allami, H., Afzali, A., and Mirzaeia, R. Determination and investigation of heavy metal concentrations in sediments of the Persian Gulf coasts and evaluation of their potential environmental risk. Anal. Method Environ. Chem. J. 3 (4) (2020) 60-71
43. 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.
44. Hankanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control: A sedimentological approach. Water Res 1980; 14: 975-1001.
45. 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.
46. Wang J, Liu W ,Yang R, Zhang L, Ma J. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. Disaster Adv 2013; 6(S3): 366-77.
47. Pedersen F, Bjørnestad E, Andersen HV, Kjølholt J, Poll C. Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of biotests. Water Sci. Technol 1998; 37(6-7): 233-40.
48. MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger T. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Arch Environ Con Tox 2000; 39(1): 20-31.
49. Benson NU, Adedapo AE, Fred-Ahmadu OH, Williams AB, Udosen ED, Ayejuyo OO, et al. A new method for assessment of sediment-associated contamination risks using multivariate statistical approach. MethodsX 2018; 5: 268-76.

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]

Journal of Environmental Health Engineering, May 2021; Vol. 8, No. 3: 271-291

Contamination, Toxicity and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Coastal Areas of Bushehr Province: A Systematic Review Study

Masoud Hatami-manesh[1], Fariba Hedayatzadeh[2*], Nahid Mahmoodi[3]

[1]PhD Student of Environment and Aquatic ecology expert of the Environment Organization of the country, Tehran, Iran
[2]PhD Candidate of Environment, Faculty of Natural Resources & Environment, Malayer University, Malayer, Iran
[3]MSc Student of Environment. Dept. of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, Kordestan University, Sanndaj, Iran

**E-mail: Hedayatzadeh.fariba@gmail.com*

Received: 27 December 2020; Accepted: 1 May 2021

ABSTRACT

Background : Heavy metals due to their ecological risks and high toxicity to living organisms are considered as one of the most dangerous pollutants. Therefore, the present study was conducted to investigate the level of pollution, toxicity and the ecological risks of heavy metals in the coastal surface sediments of Bushehr province using systematic review.

Methods: To conduct this review study, the concentration level of heavy metals in the surface sediments of Bushehr coastal was obtained by searching for published studies during the ۹ years (2012-2020) through databases (Springer, Google Scholar, ProQuest, Web of Science, SID, Magiran). Finally, a comprehensive description of heavy metal pollution, toxicity and risks in coastal sediments was investigated using various indicators.

Results: As a result of reviewing the extracted studies from the databases, 24 papers were selected. The survey results showed that the order of mean concentration of heavy metals in sediments was as Zn>Ni>Cr>Cu>Pb>Cd, and the amount of metals Pollution load index in different coastal sediments ranged from 0.15 to 1.99. The order of ecological risks for metals was observed as Cd>Pb>Ni>Cu>Cr>Zn, and the potential ecological risks for metals was obtained in the range of 3.76-257.38. In addition, the results of Toxic unit analysis and modified Hazard quotient of metals showed that the degree of toxicity and risk of contamination varies from very low to severely contaminated.

Conclusion: Based on the findings from the perspective of toxicity control and ecological risks of metals, it is necessary to prevent the transfer of heavy metals, especially Cd, Pb and Ni due to dominant human activities in the coastal areas of Bushehr. Also, due to the maximum pollution load and ecological risks in Bidkhon (Assaluyeh) coasts, pollution sources should be determined to effectively control and manage the entry of pollutants in this area.

Key words: Heavy metals, Surface sediments, Ecological risks, mHQ, Coastal of Bushehr province

[Downloaded from jehe.abzums.ac.ir on 2026-02-22]

[DOI: 10.52547/jehe.8.3.271]