مجله بوم شناسی آبزیان

Journal homepage: http://jae.hormozgan.ac.ir

برآورد سمیت و خطر بوم‌شناختی عناصر سمی با استفاده از شاخص‌های زیستی در رسوبات ساحلی شمال خلیج‌فارس در استان هرمزگان

پریسا نوروزی‌فرد[۱]، ثمرمرتضوی[۱*]، صدیقه اسد[۲]، نسرین حسن‌زاده[۱]

[۱] گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر

[۲] گروه بیوتکنولوژی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله:
دریافت: ۹۷/۰۶/۲۱
اصلاح: ۹۷/۱۱/۰۲
پذیرش: ۹۸/۰۱/۳۰

کلمات کلیدی:
آلودگی
بندرعباس
رسوبات
ریسک اکولوژیک

چکیده

رسوبات جزئی جدایی‌ناپذیر در یکپارچگی عملکرد اکولوژیکی بوم‌سازگان آبی به شمار می‌روند. در پژوهش حاضر، رسوبات هفت ایستگاه در سواحل استان هرمزگان در فروردین ماه سال ۱۳۹۶ مورد مطالعه قرار گرفت و آلودگی ناشی از عناصر سمی با استفاده از شاخص‌های مختلف بررسی شد. نمونه‌ها با ترکیب اسیدنیتریک و پرکلریک هضم شدند و سپس غلظت عناصر مس، سرب، روی، کادمیوم، نیکل و کروم با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین غلظت مربوط به عنصر روی و کمترین مربوط به کادمیوم می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص‌های ERM-Q و TEL-Q بیانگر پتانسیل کم تا متوسط عناصر برای ایجاد اثرات بیولوژیکی ناسازگار بوده که با نتایج شاخص‌های PERI و E^i_r مطابقت دارد. شاخص Igeo در رابطه با عنصر نیکل، در ایستگاه‌های دوم، سوم و چهارم وضعیت نسبتاً آلوده را نشان داد، ولی در سایر ایستگاه‌ها و عناصر، نشان‌دهنده وضعیت غیر آلوده است که به‌طورکلی با نتایج شاخص C_d مطابقت دارد. شاخص PLI بیانگر غیر آلوده بودن منطقه و مؤیدی بر نتایج شاخص‌های دیگر است. در نهایت می‌توان گفت نتایج شاخص‌های مختلف با مؤلفه‌ها و حساسیت‌های متفاوت، حاکی از وضعیت خطر اکولوژیکی کم و پتانسیل کم تا متوسط در ایجاد اثرات بیولوژیکی برای زیست‌مندان خلیج‌فارس است که با کمتر بودن میانگین غلظت‌ها از حد بیشینه استانداردهای کیفی رسوبات همخوانی دارد.

مقدمــه

روند جهانی افزایش آلودگی ناشی از عوامل تنش‌زای طبیعی و انسانی، ضرورت به‌کارگیری راهبردهای کنترل و پایش آلاینده‌ها در محیط‌های آبی را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد (Gamain *et al.*, 2016). آلودگی عناصر سمی به دلیل سمیت، پایداری، توزیع گسترده و توانایی تجزیه‌ناپذیری زیستی در زنجیره غذایی، به‌عنوان عامل تهدیدکننده بوم‌سازگان‌های آبی مطرح می‌گردند (Islam *et al.*, 2018). عناصر سمی از طریق منابع نقطه‌ای مانند فاضلاب‌های خانگی، شهری و صنعتی و نیز منابع گسترده مانند رواناب‌های سطحی، فرسایش و رسوب اتمسفری به بوم‌سازگان‌های آبی وارد می‌شوند (Akcay *et al.*, 2003; Armstrong-Altrin *et al.*, 2015; Demirak *et al.*, 2006). بیش از ۹۰ درصد بارگیری عناصر سمی در بوم‌سازگان‌های آبی به ذرات معلق و رسوبات ارتباط می‌یابد (Islam *et al.*, 2018). رسوبات به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع و مخزن عناصر سمی در محیط‌های آبی (Zhang *et al.*, 2017) و یکی از واسطه‌های احتمالی در پایش سلامت بوم‌سازگان‌های آبی می‌باشند. بدین

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Mortazavi.s@gmail.com

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

ترتیب بررسی کیفیت رسوبات به‌عنوان ضرورت و بخش اولیه مطالعات ارزیابی بوم‌سازگان‌های آبی به شمار می‌رود (Sartipi Yarahmadi and Ansari, 2018). در این راستا مطالعات متعددی صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به مطالعات Sabzalizadeh و Dehghan medise (۲۰۱۰) که به تعیین میزان آلودگی عناصر سمی بر اساس شاخص تجمع زمینی در رسوبات منطقه لیفه- بوسیف در سواحل شمال غرب خلیج‌فارس پرداختند، اشاره کرد. محققان عنوان نمودند که عناصر جیوه و سرب وضعیت آلودگی متوسط و عناصر نیکل، روی، مس، کبالت و کادمیوم در وضعیت غیر آلوده قرار دارند. Gholam Dokht Bandari و Rezaie (۲۰۱۵) به مطالعه آلودگی عناصر سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز و منشأ آن‌ها پرداختند و دریافتند که این منطقه نسبت به عناصر نیکل، مس و روی فاقد آلودگی و نسبت به عناصر سرب، آرسنیک و کروم دارای آلودگی است. Rezaei و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی مقایسه‌ای شاخص ریسک اکولوژیک عناصر سنگین در شمال خلیج‌فارس در استان‌های هرمزگان و بوشهر پرداختند. نتایج بررسی خطر اکولوژیکی عناصر منفرد حاکی از وجود خطر متوسط برای عناصر جیوه، کادمیوم و آرسنیک و وجود خطر بالا در کل منطقه مورد مطالعه بر اساس شاخص (RI) بود. Darvish Bastami و همکاران (۲۰۱۵) به ارزیابی خطر اکولوژیکی عناصر سمی در رسوبات بخش شمالی خلیج‌فارس پرداختند. نتایج بررسی آن‌ها، خطر اکولوژیکی جدی را نشان داد. Pejman و همکاران (۲۰۱۵) به استفاده از یک شاخص جدید در ارزیابی آلودگی عناصر سمی در رسوبات خور موسی و بخشی از سواحل هندیجان در شمال غربی خلیج‌فارس پرداختند. مطابق نتایج شاخص‌های RI، PLI و mCd بر اساس میانگین شیل، آلودگی قابل‌توجه و شدید عناصر سمی در رسوبات منطقه مورد مطالعه مشاهده نشد. همچنین بر اساس راهنماهای کیفیت رسوبات، غلظت نیکل در آن منطقه، اغلب بر عملکرد موجودات آبزی تأثیر می‌گذارد. Neyestani و همکاران (۲۰۱۶) به ارزیابی خطر عناصر سمی در رسوبات سطحی بخش شمالی خلیج‌فارس پرداختند. مطابق نتایج شاخص غنی‌شدگی، کادمیوم و آرسنیک سطح غنی‌شدگی متوسطی داشتند. مطالعات Ranjbar Jafarabadi و همکاران (۲۰۱۷) به توزیع فضایی، ارزیابی خطر زیست‌محیطی و سلامت عناصر سمی در رسوبات سطحی دریا و آب‌های سواحل مرجانی خلیج‌فارس پرداختند. نتایج نشان داد میانگین غلظت عناصر جیوه و کادمیوم در بیشتر مناطق از سطوح زمینه فراتر است. همچنین نتایج شاخص غنی‌شدگی و خطر اکولوژیکی وانادیوم، جیوه، کادمیوم و نیکل آلودگی متوسطی را نشان می‌دهد.

امروزه ۱۲ عنصر سمی شامل As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Ti و Zn به‌عنوان آلاینده‌های دارای اولویت توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده معرفی شده‌اند (Li *et al.*, 2015)، که در این میان عناصر سمی (کادمیوم، مس، روی، سرب، نیکل، آرسنیک و کروم) به دلیل پایداری زیاد، سمیت و توانایی انتقال در زنجیره غذایی به‌عنوان آلاینده‌های اصلی بوم‌سازگان‌های آبی در نظر گرفته شده‌اند (Dahri *et al.*, 2018). مناطق ساحلی از یک‌سو برای انسان‌ها به لحاظ ذخایر غذایی و خدمات اکوسیستمی مزایای قابل‌توجهی داشته و از سوی دیگر فعالیت‌های انسانی ممکن است با ایجاد آلودگی، تأثیرات منفی زیادی بر سلامت بوم‌سازگان و بقای این ذخایر داشته باشد (Pejman *et al.*, 2015)؛ بنابراین، کنترل و مدیریت آلودگی نواحی ساحلی و دریایی برای حفاظت از موجودات آبزی و محیط‌زیست دریایی ضرورت دارد. با توجه به اهمیت اکولوژیکی خلیج‌فارس و محدودیت جغرافیایی حاکم بر آن و همچنین وجود فعالیت‌های گوناگون انسانی در دریا و ساحل در آن، این منطقه همواره تحت تأثیر منابع آلاینده گوناگون ازجمله عناصر سمی قرار دارد (Agah *et al.*, 2010). در این راستا با وجود مطالعات انجام شده در رابطه با تعیین غلظت عناصر سمی رسوبات این منطقه به عنوان مخازن ذخیره کننده عناصر، مطالعات چندانی با به‌کارگیری شاخص‌های برآورد سمیت و خطر اکولوژیکی عناصر در رسوبات خلیج‌فارس انجام نشده است. امروزه تعیین سطوح آستانه سمیت رسوبات یک موضوع قابل‌توجه در سطح جهانی است (Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2013). بر این اساس با توجه به اهمیت خلیج‌فارس و ضرورت پایش و کنترل وضعیت سلامت آن برای بوم‌سازگان و زیست‌مندان آن، در پژوهش حاضر به تجزیه‌وتحلیل و ارزیابی آلودگی عناصر سمی از طریق برآورد سمیت بوم‌شناختی در رسوبات نوار ساحلی بندرعباس با استفاده از شاخص‌های تک عنصری و چند عنصری پرداخته شده است. اثرات عنصری بر بوم‌سازگان با استفاده از شاخص میانگین برخه ERM-Q و PEL-Q برای تعیین سمیت در منطقه مورد مطالعه، فاکتور آلودگی (Cf[1]) عناصر برای

[1] Contamination Factor

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

ارزیابی آلودگی عناصر، تجمع ژئولوژیکی (Igeo[۲]) برای بیان سطوح آلودگی نسبت به غلظت‌های زمینه و نیز شاخص‌های چند عنصری برای بررسی اثرات هم‌افزایی عناصر مانند درجه آلودگی (C_d[۳])، درجه اصلاح‌شده آلودگی (mC_d[۴]) برای بیان درجه کلی آلودگی رسوب، شاخص بار آلودگی (PLI[۵]) برای تخمین سطوح آلودگی ناشی از عناصر و شاخص خطر اکولوژیک بالقوه (PERI[۶]) برای تعیین خطر بالقوه ناشی از حساسیت اکولوژیکی، غلظت و سمیت عناصر، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

خلیج‌فارس با مساحت حدود ۲۳۲۸۵۰ کیلومترمربع، در جنوب ایران قرار دارد (Kheirabadi *et al.*, 2016) و طول آن از تنگه هرمز تا دهانه اروندرود حدود ۱۲۵۹ کیلومتر است. خلیج‌فارس به علت دارا بودن منابع عظیم نفتی و منابع غذایی فراوان و صید مروارید، یکی از مناطق استراتژیک جهان به‌حساب می‌آید. استان هرمزگان بین مختصات جغرافیایی ´۳۴ °۲۵ تا ´۵۷ °۲۸ عرض شمالی و ´۴۱ °۵۲ تا ´۱۵ °۵۹ طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این استان حدود ۶۸۷۷۴ هزار کیلومترمربع وسعت دارد. جنوب این استان را آب‌های گرم خلیج‌فارس و دریای عمان به همراه جزایر نواری به طول تقریبی ۱۱۰۰ کیلومتر در برگرفته است (Nazm far *et al.*, 2017) (شکل ۱). در جدول ۱ موقعیت جغرافیایی، نام ایستگاه و منابع احتمالی آلودگی در هر ایستگاه ارائه شده است.

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در هر ایستگاه نمونه‌ها با سه تکرار از لایه سطحی رسوبات (۱۰-۰ سانتی‌متر) برداشت شده و در کیسه پلاستیکی در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به آزمایشگاه انتقال یافتند. در آزمایشگاه نمونه‌ها در مجاورت هوا خشک و پس از کوبیدن با هاون چینی، ابتدا از الک مش ۱۰ (دو میلی‌متری) به منظور جداسازی اجزای خارجی و زائدات و سپس از الک مش ۲۳۰ (۶۳ میکرون) عبور داده شدند. به منظور هضم نمونه‌های رسوب، از هر نمونه ۰/۵ گرم با اسید نیتریک (HNO_3) و پرکلریک ($HClO_4$) فوق خالص به نسبت ۴ به ۱ ترکیب و در دستگاه هضم‌کننده ابتدا در دمای پایین (۴۰ درجه) به مدت یک ساعت و سپس در دمای بالا (۱۴۰ درجه) به مدت سه ساعت قرار گرفتند (Yap and Pang, 2011). پس از سرد شدن، نمونه‌ها از کاغذ صافی واتمن ۴۲ عبور داده و به حجم نهایی ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شدند. نمونه‌ها تا زمان سنجش غلظت عناصر در بطری‌های پلی‌اتیلنی تیره در یخچال نگهداری و درنهایت با دستگاه جذب اتمی مدل Analytik Jena contrAA 700 قرائت گردیدند. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS و محاسبه شاخص‌ها و رسم شکل‌ها با استفاده از Excel انجام پذیرفت.

شاخص‌های کیفی رسوب

شاخص برآورد سمیت بوم‌شناختی

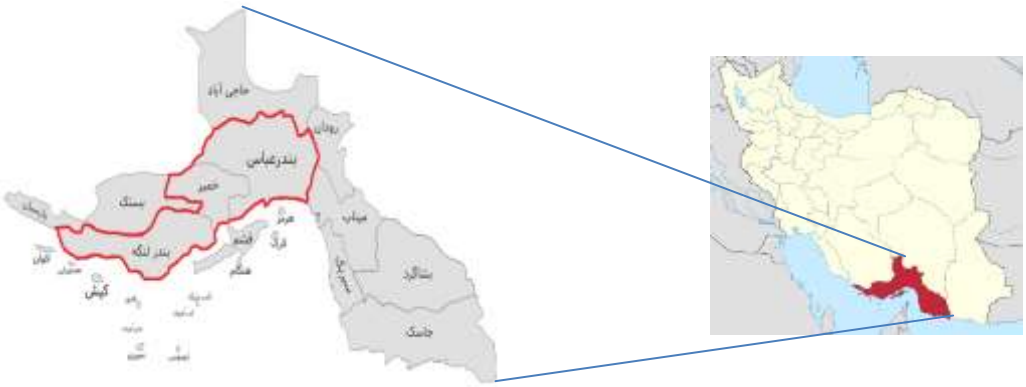
در مطالعه حاضر میانگین برخه ERM-Q و PEL-Q برای تعیین سمیت در منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شد (Pejman *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2017) (رابطه ۱ و ۲).

$$\text{mean ERM quotient} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{ERM}}{n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{mean PEL quotient} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{C_i}{PEL_i}}{n} \quad \text{رابطه (۲)}$$

[2] Geo-Accumulation Index
[3] Degree of contaminiation
[4] Modified degree of contaminiation
[5] Pollution Load Index
[6] Potential ecological risk index

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان هرمزگان در کشور ایران و بندرعباس در استان هرمزگان

در این روابط n و C_i به ترتیب تعداد عناصر و غلظت عناصر هستند. ERM متوسط حدود اثر و PEL حدود احتمالی اثر غلظت عناصر است که بر اساس میزان سمیت آلودگی با استفاده از تجربیات آزمایشگاهی بر روی جمعیت موجودات زنده مطرح می‌گردد (Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2013). در جدول ۲ حدود طبقه‌بندی معیارهای ERM-Q و PEL-Q ارائه شده است.

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (PERI)

رابطه برآورد شاخص خطر کلی PERI (RI) که توسط Guo و همکاران در سال ۲۰۱۰ پیشنهاد و اولین بار توسط Hakanson در سال ۱۹۸۰ معرفی شد، به صورت زیر است (Hakanson, 1980; Kusin *et al.*, 2018):

$$RI = \sum E_r^i = \sum T_r^i \, (C_s^i/C_n^i)$$ رابطه (۳)

در اینجا RI مجموع فاکتورهای خطر بالقوه برای همه عناصر سمی و E^i_r شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه برای آلودگی عناصر سمی منفرد است (رابطه ۴).

$$E^i_r=C^i_r \times T^i_r$$ رابطه (۴)

T^i_r فاکتور پاسخ سمیت برای آلودگی یک عنصر سمی منفرد و C^i_r شاخص آلودگی یک عنصر سمی است (رابطه ۵).

$$C^i_r=C^i_s/C^i_n$$ رابطه (۵)

C^i_s نمایانگر غلظت عناصر سمی در رسوبات و C^i_n مقادیر مرجع عناصر سمی در رسوبات است. فاکتور پاسخ سمیت برای Cu، Pb و Ni مقدار پنج، برای Zn مقدار یک، برای کادمیوم مقدار ۳۰ و برای Cr مقدار دو می‌باشد (Guo *et al.*, 2012; Islam *et al.*, 2015; Kang *et al.*, 2017; Kusin *et al.*, 2018). طبقه‌بندی معیارهای خطر و خطر اکولوژیکی بالقوه عناصر سمی در رسوبات سطحی در جدول ۳ ارائه شده است.

فاکتور آلودگی (CF)

این شاخص به‌صورت نسبت بین یک عنصر در مکان نمونه‌گیری و همان عنصر در مکان زمینه، مقادیر مرجع یا یک معیار ملی برای آن عنصر به دست می‌آید (Duodu *et al.*, 2016) (رابطه ۶).

$$Cf = \frac{C_i}{C_b}$$ رابطه (۶)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

جدول ۱. شماره، نام، موقعیت جغرافیایی و منابع احتمالی آلوده‌کننده ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	موقعیت جغرافیایی	منابع احتمالی ایجادکننده آلودگی
۱	خور شیلات	۵۶°۱۹′۱۱″ E ۲۷°۱۱′۰۰″ N	ترافیک خودرو- محل تخلیه فاضلاب شهری و خانگی
۲	اسکله نخل ناخدا	۵۶°۲۱′۵۳″ E ۲۷°۱۰′۳۹″ N	خور زندان-فاضلاب منطقه نخل ناخدا- مجاورت با پایانه مسافری شهید حقانی- عملیات احداث بندر چندمنظوره و موج‌شکن نخل ناخدا
۳	بندر پل (پهل)	۵۵°۴۴′۵۵″ E ۲۶°۵۸′۲۵/۶″N	مجاورت با کارگاه تولید سنگ - مجاورت با بندر شهید رجایی- تردد قایق، شناور لندینگ کرافت، کشتی‌های مسافربری و باربری
۴	بندر خمیر- اسکله شیلات	۵۵°۳۵′۶۰″ E ۲۶°۵۶′۳۷″ N	کارخانه سیمان هرمزگان، پایانه بار، شهرک صنعتی ۱ و ۲، کارخانه گچ خمیر، وجود معادن سیمان و گوگرد، کارگاه‌های لنج‌سازی، گمرک، حمل‌ونقل دریایی کالا و جذب گردشگر به دلیل وجود آثار تاریخی
۵	برکه سفلین	۵۵°۱۸′۲۲″ E ۲۶°۴۷′۰۳″ N	مجاورت با روستای گردشگری گچین که دارای معدن اورانیوم و گنبد نمکی است
۶	بندرلنگه- کنگ- قلعه پرتغالی‌ها	۵۴°۵۶′۱۱″ E ۲۶°۳۵′۱۵″ N	جاذبه‌های گردشگری/ آب‌شیرین‌کن کنگ
۷	خون سرخ	۵۶°۰۷′۳۳″ E ۲۷°۰۸′۵۸″ N	شهرک‌های مسکونی و فعالیت‌های صنعتی و معدنی غرب بندرعباس نظیر نیروگاه، پالایشگاه ستاره نفت خلیج‌فارس، صنایع فولاد هرمزگان، شرکت آلومینیوم المهدی، کشتی‌سازی، گمرک، مجاورت با اسکله شهید رجایی، آب‌شیرین‌کن

در این رابطه، Cf فاکتور آلودگی، C_i غلظت عنصر مورد نظر در یک مکان و C_b غلظت همان عنصر در مکان مرجع است. برای تعیین میزان آلایندگی رسوب به عناصر سمی در یک منطقه، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده مقایسه شود. در این پژوهش برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سمی از میانگین شیل که توسط Wedephol و Turkianارائه شده، استفاده گردیده است. بر این اساس میانگین شیل برای عناصر مس، سرب، روی، کادمیوم، نیکل، کروم و آهن به ترتیب ۴۵، ۲۰، ۹۵، ۰/۳، ۵۰، ۹۰ و ۴۷۰۰ می‌باشد (Haghshenas *et al.*, 2017; Turekian and Wedepohl, 1961). طبقه‌بندی ارائه شده برای نتایج حاصل از محاسبه این شاخص ارائه شده است (جدول ۴).

جدول ۲. طبقه‌بندی ERM-Q و PEL-Q بر اساس پتانسیل ایجاد اثرات اکولوژیکی ناسازگار

سمیت رسوب	PEL-Q	ERM-Q
کمترین پتانسیل برای اثرات بیولوژیکی ناسازگار (آلوده نشده) lowest potential for adverse biological effects (uncontaminated)	<۰/۱	<۰/۱
پتانسیل کم تا متوسط برای اثرات ناسازگار medium– low potential of adverse effect	۰/۱-۱/۵	۰/۱-۰/۵
پتانسیل متوسط تا بالای اثرات ناسازگار medium–high potential of adverse effect	۱/۵-۲/۳	۰/۵-۱/۵
بیشترین پتانسیل برای اثرات ناسازگار highest potential of adverse effect	>۲/۳	>۱/۵

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

جدول ۳. طبقه‌بندی ضریب خطر اکولوژیکی بالقوه (E^i_r) و شاخص خطر (RI)(Hakanson, 1980; Mamat *et al.*, 2016)

طبقه‌بندی خطر	RI	E^i_r
خطر کم (Low risk)	RI <۵۰	۴۰>E^i_r
خطر متوسط (Moderate risk)	۵۰≤ RI < ۲۰۰	۴۰≤ E^i_r < ۸۰
خطر قابل ملاحظه (Considerable risk)	۲۰۰≤ RI < ۳۰۰	۸۰≤ E^i_r < ۱۶۰
خطر زیاد (High risk)	۳۰۰≤ RI	۱۶۰≤ E^i_r < ۳۲۰
خطر بسیار زیاد (Very high risk)	-	۳۲۰≤ E^i_r

شاخص درجه آلودگی (C_d) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mC_d)

یکی از موارد رایج که به‌طور گسترده‌ای بکار می‌روند شاخص درجه آلودگی (C_d) می‌باشد که توسط Hakanson (۱۹۸۰) توسعه‌یافته است (رابطه ۷). همچنین درجه آلودگی اصلاح‌شده این امکان را فراهم می‌کند تا تعداد متنوعی از عناصر سمی را بدون محدودیت مورد بررسی قرار دهند (رابطه ۸).

$$C_d = \sum_{i=0}^{n} C_f^i \quad \text{رابطه (۷)} \qquad mC_d = \frac{(\sum_{i=1}^{n} Cf^i)}{n} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در رابطه‌های ارائه شده C_f^i و n، به ترتیب نمایانگر فاکتور آلودگی برای عناصر منفرد و تعداد پارامترهای مورد بررسی، می‌باشد (۳۱۷، ۲۰۱۶). در جدول ۴، طبقه‌بندی شاخص‌های درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده و فاکتور آلودگی ارائه شده است.

جدول ۴. طبقه‌بندی کیفی رسوبات برای شاخص‌های درجه آلودگی (Cd) (Huang, 2014)، درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) (Brady *et al.*, 2015) و فاکتور آلودگی (Cf) (Hakanson, 1980; Saleema *et al.*, 2018)

آلودگی رسوب	مقدار Cf	طبقه‌بندی کیفی رسوبات	mC_d	آلودگی رسوب	C_d
آلودگی پایین low contamination	۱<Cf	آلوده نشده (Unpolluted)	mC_d <۱ /۵	درجه کم آلودگی (Low degree of contamination)	C_d <۵
آلودگی متوسط moderate contamination	۱≤ Cf<۳	اندکی آلوده (Slightly polluted)	۱/۵≤ mC_d<۲	درجه متوسط آلودگی (moderate degree of Contamination)	۵≤ C_d <۱۰
آلودگی قابل‌توجه Considerable contamination	۳≤Cf<۶	آلودگی متوسط (Moderately polluted)	۲≤ mC_d<۴	درجه قابل‌توجه آلودگی (considerable degree of contamination)	۱۰≤ C_d <۲۰
آلودگی بسیار بالا very high contamination	Cf ≥۶	به‌طور متوسط تا بشدت آلوده Moderately-heavily) (polluted	۴≤ mC_d<۸	درجه بسیار بالای آلودگی (Very high degree of Contamination)	C_d ≥۲۰
		به شدت آلوده (Severely polluted)	۸≤ mC_d<۱۶		
		بسیار آلوده (Heavily polluted)	۱۶≤ mC_d<۳۲		
		بی‌نهایت آلوده (Extremely polluted)	mC_d ≥۳۲		

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی مولر (I_{geo})

شاخص زمین انباشت، اولین بار توسط مولر در سال ۱۹۶۹ مطرح گردید (El-Amier *et al.*, 2017; Muller, 1969) و پس از آن به‌طور گسترده‌ای در مطالعات عناصر سمی در خاک و رسوبات به کار گرفته شد (رابطه ۹).

رابطه (۹) $I_{geo}=Log_2 (C_n/1.5*B_n)$

در این رابطه، C_n غلظت اندازه‌گیری شده عنصر n در نمونه رسوب و B_n مقادیر زمینه ژئوشیمیایی برای عنصر مورد نظر است که Esther در رسوبات پیش از تمدن منطقه به‌طور مستقیم اندازه‌گیری کرد و یا می‌توان از مقالات مقادیر میانگین شیل را به دست آورد. مقدار عددی ۱/۵ برای کمینه کردن تغییرات احتمالی در غلظت‌های زمینه ناشی از فعالیت‌های زمین‌شناسی اعمال می‌شود. در جدول ۵، طبقه‌بندی سطوح آلودگی به دست آمده بر اساس شاخص Igeo ارائه شده است.

جدول ۵. شاخص انباشت ژئوشیمیایی (I_{geo}) و سطوح کیفی آلودگی (Muller, 1969)

طبقه	مقادیر	سطح آلودگی
۰	I_{geo} <۰	آلوده نشده (Unpolluted)
۱	۰≤I_{geo}<۱	آلوده نشده تا نسبتاً آلوده شده (Unpolluted to moderately polluted)
۲	۱≤I_{geo}<۲	نسبتاً آلوده شده (Moderately polluted)
۳	۲≤I_{geo}<۳	نسبتاً تا به‌شدت آلوده شده (Moderately to heavily polluted)
۴	۳≤I_{geo}<۴	به شدت آلوده شده (Heavily polluted)
۵	۴≤I_{geo}<۵	به‌شدت تا بسیار شدید آلوده شده (Heavily to extremely polluted)
۶	۶≤I_{geo}	آلودگی بسیار شدید (Extremely polluted)

شاخص بار آلودگی (PLI)

این شاخص از طریق حاصل‌ضرب شاخص‌های آلودگی عناصر قابل محاسبه است (رابطه ۱۰).

رابطه (۱۰)

$$PLI = \sqrt[7]{Cf_{Cu} \times Cf_{Pb} \times Cf_{Zn} \times Cf_{Cd} \times Cf_{Ni} \times Cf_{Cr} \times Cf_{Fe}}$$

که در آن Cf فاکتور آلودگی و n تعداد عناصر مورد بررسی می‌باشد. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند که به طور معمول مقادیر کمتر از یک نشان‌دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از یک نشان‌دهنده آلودگی نسبت به عناصر سمی است (El-Amier *et al.*, 2017; Seshan *et al.*, 2010; Tomlinson *et al.*, 1980).

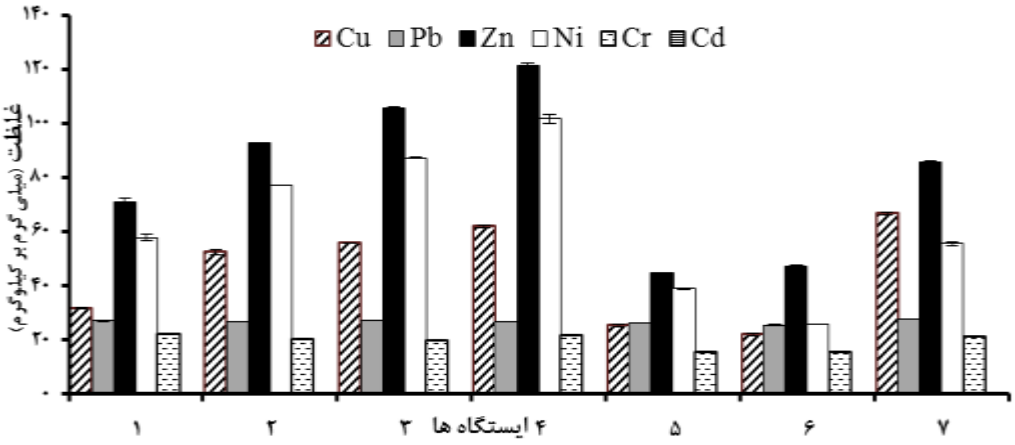
نتایـج

غلظت عناصر در ایستگاه‌های مختلف

مطالعه غلظت عناصر سمی در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد که بیشترین غلظت مربوط به عنصر روی و کمترین آن مربوط به کادمیوم می‌باشد (شکل ۲).

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]



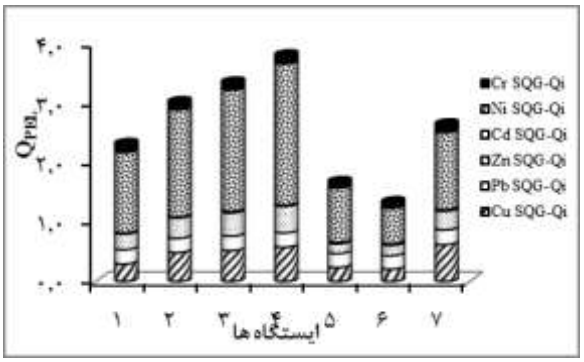
شکل ۲. میانگین غلظت عناصر سمی در ایستگاه‌های مورد بررسی در استان هرمزگان

برآورد سمیت بوم‌شناختی

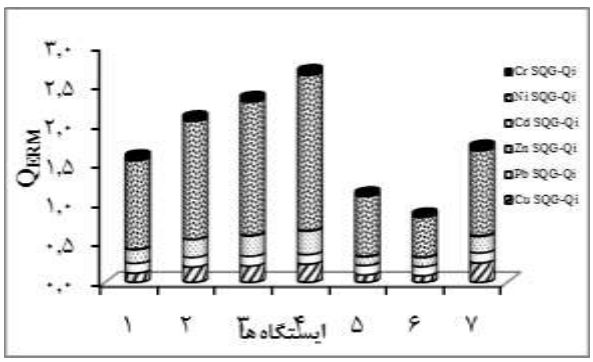
شکل تجمعی Q_{PEL} و Q_{TEL} را نشان داد با وجود مقادیر متفاوت، روند تغییرات در هر دو شکل مشابه است (شکل ۳ و ۴).

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (PERI)

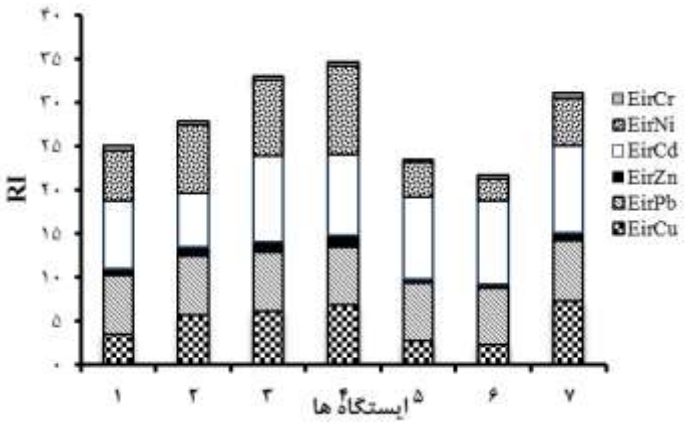
شکل۵ تجمعی مقادیر E^i_r برای عناصر مختلف و مقدار نهایی RI نشان می‌دهد که ایستگاه چهارم بیشترین و ایستگاه ششم کمترین مقدار شاخص خطر اکولوژیکی را به خود اختصاص داده و در همه ایستگاه‌ها سهم خطر اکولوژیکی منفرد عنصر کادمیوم نسبت به سایر عناصر بیشتر است.



شکل ۳. مقادیر تجمعی $SQG\text{-}Q_i$ و مقدار نهایی Q_{PEL}



شکل ۴. مقادیر تجمعی $SQG\text{-}Q_i$ و مقدار نهایی Q_{ERM}



شکل ۵. مقادیر تجمعی E^i_r و مقدار نهایی RI در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان

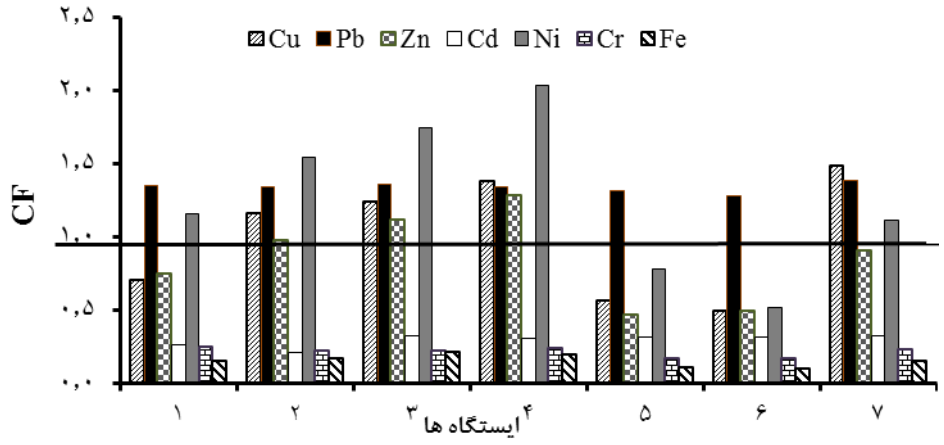
[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

فاکتور آلودگی (CF)

در شکل ۶ مقادیر فاکتور آلودگی عناصر مورد مطالعه و نیز عنصر آهن، در هر ایستگاه ارائه شده است. بیشترین میزان فاکتور آلودگی در ایستگاه‌های دوم، سوم و چهارم مربوط به عنصر نیکل، در ایستگاه‌های اول، پنجم و ششم مربوط به عنصر سرب و در ایستگاه هفتم با اختلاف جزئی نسبت به عنصر سرب، مربوط به عنصر مس می‌باشد.

شاخص درجه آلودگی (C_d) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mC_d)

در شکل ۶، مقادیر به دست آمده برای شاخص درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده در هر ایستگاه ارائه شده است. بر اساس نتایج، بیشترین میزان شاخص درجه آلودگی و شاخص اصلاح شده آن مربوط به ایستگاه چهارم و کمترین آن مربوط به ایستگاه ششم است.



شکل ۶. فاکتور آلودگی عناصر منفرد در ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان هرمزگان

شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی مولر (I_{geo})

مطابق نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص زمین‌انباشت ژئوشیمیایی عناصر مختلف در هر ایستگاه، به جز در رابطه با عنصر نیکل در ایستگاه‌های دوم، سوم و چهارم، سایر عناصر در ایستگاه‌های مورد بررسی مقادیر کمتر از صفر و منفی را نشان می‌دهند (شکل ۷).

شاخص بار آلودگی (PLI)

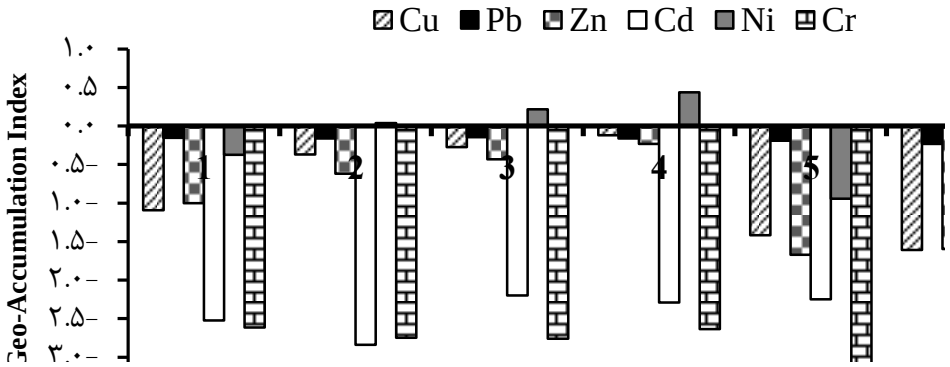
بر اساس مقادیر به دست آمده، شاخص بار آلودگی در ایستگاه‌های مختلف کمتر از مقدار عددی یک بوده که این امر عدم وجود آلودگی مشخص در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مقایسه بین ایستگاه‌ها، ایستگاه چهارم بیشترین و ایستگاه ششم کمترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهند (شکل ۸).

جدول ۶. مقادیر Cd و mCd برای ایستگاه‌های مختلف استان هرمزگان

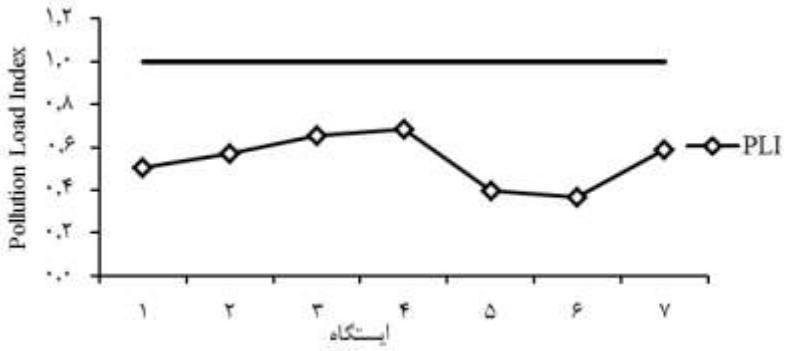
شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
C_d	۴/۶۱۸	۵/۶۳۰	۶/۲۲۱	۶/۷۷۵	۳/۷۲۵	۳/۳۶۹	۵/۵۹۸
mC_d	۰/۶۶۰	۰/۸۰۴	۰/۸۸۹	۰/۹۶۸	۰/۵۳۲	۰/۴۸۱	۰/۷۹۹

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]



شکل ۷. شاخص Igeo عناصر مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف استان هرمزگان



شکل ۸. مقادیر شاخص بار آلودگی در ایستگاه‌های مختلف استان هرمزگان

بحث

غلظت عناصر در ایستگاه‌های مختلف

نتایج به دست آمده از غلظت عناصر در ایستگاه‌های مختلف نشان داد که بیشترین غلظت مربوط به عنصر روی و کمترین آن مربوط به عنصر کادمیوم می‌باشد. علت این امر می‌تواند به ماهیت متفاوت عناصر مورد مطالعه مربوط گردد. همچنین می‌توان گفت بیشینه غلظت عناصر مس، سرب و کادمیوم در ایستگاه هفتم (خونسرخ)، نیکل و روی در ایستگاه چهارم (بندر خمیر- اسکله شیلات) و کروم در ایستگاه اول (خور شیلات) به دست آمد. بالا بودن غلظت عناصر مس، سرب و کادمیوم در منطقه خونسرخ می‌تواند به دلیل مجاورت با صنایع فولاد هرمزگان و آلومینیوم المهدی، پالایشگاه ستاره نفت خلیج‌فارس، شرکت توانیر و تأثیرپذیری از آن‌ها باشد. از سوی دیگر بالا بودن غلظت عناصر نیکل و روی می‌تواند به وجود کارخانه سیمان هرمزگان، پایانه بار، شهرک صنعتی ۱ و ۲، کارخانه گچ خمیر، وجود معادن سیمان و گوگرد، کارگاه‌های لنج‌سازی، گمرک و ارتباط حمل‌ونقل دریایی کالا در محدوده بندر خمیر و مجاورت با اسکله شیلات ارتباط یابد. احتمال می‌رود بالا بودن غلظت عنصر کروم در خور شیلات، ناشی از ورود فاضلاب شهری و خانگی و نیز مجاورت با جاده ساحلی اصلی باشد.

برآورد سمیت بوم‌شناختی

بسیاری از پژوهش‌های انجام‌شده به ارزیابی درجه سمیت رسوبات ارتباط می‌یابند (Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2013). چنین مطالعاتی اطلاعات مفیدی بر اساس سطوح آلودگی (که احتمالاً اثرات بیولوژیکی نامطلوبی را ایجاد می‌کنند) برای توسعه راهنماهای کیفیت رسوبات (SQG_s) و به منظور بررسی سمیت رسوبات فراهم -می‌کنند. مطابق نتایج به دست آمده، ایستگاه‌های مختلف از نظر شاخص ERM-Q و TEL-Q همگی پتانسیل کم تا متوسطی برای ایجاد اثرات بیولوژیکی ناسازگار

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

داشته و نتایج به دست آمده از این شاخص‌ها در ایستگاه‌های مختلف روند نزولی ۶>۵>۱>۷>۲>۳>۴ را نشان می‌دهد. بر این اساس در موقعیت بندرخمیر-اسکله شیلات (ایستگاه چهارم) علاوه بر وجود کارخانه و معادن سیمان و گوگرد، حمل‌ونقل دریایی، وجود شهرک‌های صنعتی، کارگاه‌های لنج‌سازی و نیز به دلیل مجاورت با منطقه گچین که در آن معادن اورانیوم و فعالیت‌های هسته‌ای وجود دارد، می‌تواند به‌عنوان ایستگاهی که بیشترین اثرات بیولوژیکی ناسازگار را نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارد، مطرح نمود.

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (PERI)

شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه (PERI) می‌تواند برای تعیین خطر بالقوه ناشی از حساسیت اکولوژیکی، غلظت و سمیت عناصر سمی بکار رود (Kusin *et al.*, 2018). این پارامتر حساسیت جوامع بیولوژیکی به مواد سمی و همچنین خطر اکولوژیکی بالقوه ایجادشده توسط کلیه آلودگی‌ها را نشان می‌دهد. این شاخص نشان‌دهنده حساسیت فون و فلور یک بوم‌سازگان آبی به سمیت آلاینده‌ها در نتیجه تأثیر آن‌ها به میزان تولیدات زیستی در آن منبع آبی است. به‌طوری‌که اثرات منفی عناصر سمی با کاهش تولیدات زیستی، افزایش می‌یابد (Bowen, 1966). مقادیر به دست آمده برای شاخص خطر اکولوژیکی بالقوه روند نزولی ۶>۵>۱>۲>۷>۳>۴ را نشان می‌دهد که انطباق زیادی با نتایج شاخص‌های برآورد سمیت دارد. مقایسه نتایج این شاخص با طبقه‌بندی مربوطه حاکی از وضعیت خطر کم (مقادیر کمتر از ۵۰) می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از محاسبه E_r^i نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص در اغلب ایستگاه‌ها مربوط به عنصر کادمیوم بوده و عناصر در ایستگاه‌های مختلف خطر کمی (مقادیر کمتر از ۴۰) را ایجاد می‌کنند که با نتایج Ranjbar Jafarabadi و همکاران (۲۰۱۷) در سواحل شمالی خلیج‌فارس مبنی بر آلودگی متوسط وانادیوم، جیوه، کادمیوم و نیکل و نیز در مطالعات Rezaei و همکاران (۲۰۱۷) در شمال خلیج‌فارس، محدوده استان‌های هرمزگان و بوشهر، مبنی بر خطر متوسط عناصر کادمیوم، جیوه و آرسنیک، نتایج این پژوهش آلودگی کمتری را نشان می‌دهد. بالاتر بودن مقادیر E_r^i عنصر کادمیوم نسبت به سایر عناصر را می‌توان به دلیل ماهیت سمی آن برشمرد که حتی در مقادیر بسیار کم (کمترین غلظت در شکل مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد مطالعه)، می‌توانند ایجاد سمیت نماید.

فاکتور آلودگی (CF)

فاکتور آلودگی، یک شاخص ساده و تک عنصری است که برای ارزیابی آلودگی یک عنصر بکار می‌رود (Duodu *et al.*, 2016). نتایج فاکتور آلودگی عناصر مورد بررسی نشان داد که اغلب عناصر در ایستگاه‌های مختلف وضعیت آلودگی پایینی دارند. در ایستگاه اول میزان عناصر Pb و Ni (به دلیل عبور فاضلاب شهری و خانگی (Hawa Bibi *et al.*, 2007) و مجاورت با جاده ساحلی (Romic and Romic, 2003)، در ایستگاه دوم (اسکله نخل ناخدا) و هفتم (خونسرخ) عناصر Cu، Pb و Ni که از منابع احتمالی مس در این منطقه می‌توان به عبور فاضلاب از خور زندان و نیز وجود مس در ترکیب رنگ انواع شناورها و یا عملیات احداث بندر چندمنظوره نخل ناخدا اشاره نمود. به نظر می‌رسد بالا بودن عنصر سرب در این نقاط علاوه بر مواد موجود در ترکیبات فاضلاب وارده، ناشی از مجاورت با پایانه شهید حقانی و تردد وسایل نقلیه و سوخت فسیلی مصرفی آن‌ها باشد. در ایستگاه هفتم نیز مجاورت با نیروگاه و وجود صنایع مختلف ازجمله فولاد، آلومینیوم و پالایشگاه‌های نفت، کشتی‌سازی عامل وجود آلودگی و حضور عناصر سمی است، در ایستگاه‌های سوم و چهارم وجود عناصر Cu، Pb ، Zn و Ni می‌تواند به دلیل تردد شناور لندینگ‌کرافت، کشتی‌های مسافربری و باربری، تردد قایق‌های کوچک و مجاورت با بندر نفتی لافت در بندر پهل و وجود معادن و کارخانه سیمان و گوگرد، شهرک صنعتی و پایانه بار و حمل‌ونقل دریایی در بندر خمیر-اسکله شیلات باشد. در ایستگاه‌های پنجم و ششم میزان عنصر Pb به دلیل وجود گنبدهای نمکی که منجر به افزایش انحلال سرب شده، مجاوت با معدن اورانیوم گچین در برکه سفلین و نیز به دلیل تردد زیاد و تفریحی بودن پارک ساحلی قلعه پرتغالی‌ها و مجاورت با منطقه شهری در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد.

شاخص درجه آلودگی (C_d) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mC_d)

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌های مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی Hakanson گفته می‌شود. محدودیت شاخص‌های تک عنصری منجر به توسعه شاخص‌های آلودگی چند عنصری برای ارزیابی کیفیت رسوبات گردید (Brady *et al.*, 2015; Duodu *et al.*, 2016; Hakanson, 1980). مطابق نتایج به دست آمده از محاسبه شاخص ترکیبی درجه آلودگی، ایستگاه‌های اول (خور شیلات)، پنجم (برکه سفلین) و ششم (قلعه پرتغالی‌ها-کنگ) دارای درجه آلودگی کم (مقادیر کمتر از ۵) و ایستگاه‌های دوم (اسکله نخل ناخدا)، سوم (بندر پهل)، چهارم (بندر خمیر-اسکله شیلات) و هفتم (خونسرخ) دارای درجه آلودگی متوسط هستند. براین اساس، نتایج این شاخص علاوه بر اینکه تأکیدی بر نتایج شاخص برآورد سمیت در منطقه مطالعاتی می‌باشد، با روند نزولی میانگین غلظت عناصر در ایستگاه‌های مختلف نیز مطابقت دارد.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی نیز نمایانگر وضعیت «آلوده نشده» در همه ایستگاه‌ها می‌باشد. همچنین بیشترین مقادیر به دست آمده برای این دو شاخص در ایستگاه چهارم (بندر خمیر- اسکله شیلات) به دلیل وجود منابع آلوده‌کننده‌ای همچون کارخانه سیمان هرمزگان، پایانه بار، شهرک صنعتی ۱ و ۲، کارخانه گچ خمیر، معادن سیمان و گوگرد، کارگاه‌های لنج‌سازی، گمرک و ارتباط حمل‌ونقل دریایی و همچنین وجود آثار تاریخی و گردشگری در این منطقه است و کمترین آن برای ایستگاه ششم (قلعه پرتغالی‌ها-کنگ) به دلیل عدم وجود آلودگی صنعتی و شهری چشمگیر می‌باشد.

شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی مولر (I_{geo})

نتایج حاصل از این شاخص نشان داد مقادیر به دست آمده برای عناصر مورد مطالعه در ایستگاه‌های مختلف همگی در وضعیت غیر آلوده (مقادیر کمتر از صفر) قرار دارد؛ به جز در رابطه با عنصر نیکل که در ایستگاه‌های دوم، سوم و چهارم در وضعیت آلوده نشده تا نسبتاً آلوده (۱-۰) قرار دارد. منشأ اصلی انتشار نیکل ناشی از تردد کشتی، قایق و نفت‌کش‌ها و نیز فاضلاب‌های شهری و صنعتی است (Pourang *et al.*, 2005). بدین ترتیب بالا بودن مقادیر عنصر نیکل در ایستگاه اسکله نخل ناخدا می‌تواند به دلیل مجاورت با پایانه مسافربری شهید حقانی، عملیات احداث بندر چندمنظوره و موج‌شکن نخل ناخدا، در ایستگاه بندر پهل به دلیل تردد شناور لندینگ‌کرافت، کشتی‌های مسافربری و باربری و نیز تردد قایق‌های کوچک و بزرگ و نیز مجاورت با بندر نفتی لافت و در ایستگاه بندر خمیر- اسکله شیلات به دلیل مجاورت با شهرک صنعتی ۱ و ۲، کارگاه‌های لنج‌سازی، گمرک و حمل‌ونقل دریایی کالا باشد. این در حالی است که نتایج مطالعات Sabzalizadeh و Dehghan medise (۲۰۱۰) بر اساس شاخص تجمع زمینی در رسوبات منطقه لیفه- بوسیف در سواحل شمال غرب خلیج‌فارس نشان داد عناصر جیوه و سرب دارای وضعیت آلودگی متوسط و نیکل، روی، مس، کبالت و کادمیوم در وضعیت غیر آلوده قرار دارند.

شاخص بار آلودگی (PLI)

شاخص بار آلودگی به‌عنوان یک سیستم استاندارد برای تشخیص آلودگی است که مقایسه بین میزان آلودگی در مکان‌ها و زمان‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌سازد (Haghshenas *et al.*, 2017). این شاخص تعیین‌کننده سطوح آلودگی بوده و می‌تواند تخمینی از سطوح آلودگی ناشی از عناصر را در اختیار ما قرار دهد (El-Amier *et al.*, 2017). با توجه به شکل ۸ ، مقادیر حاصل از محاسبه این شاخص در ایستگاه‌های مختلف همگی کمتر از یک بوده و با توجه به اینکه مقادیر کمتر از یک حاکی از نزدیک بودن بار یا غلظت عناصر سمی به غلظت زمینه است و آلودگی خاصی ایجاد نمی‌کند (Bahador *et al.*, 2017)، این امر تأکید بر آلوده نبودن ایستگاه‌های مورد مطالعه و در واقع تائید بر نتایج شاخص‌های محاسبه شده می‌باشد. نتایج این شاخص با مطالعات Pejman و همکاران (۲۰۱۵) در رسوبات خور موسی و بخشی از سواحل هندیجان در شمال غربی خلیج‌فارس مبنی بر عدم وجود آلودگی قابل‌توجه و شدید عناصر سمی در رسوبات منطقه مورد مطالعه مطابقت دارد.

مقایسه با استانداردهای جهانی کیفیت رسوب

مطابق جدول ۷ میانگین غلظت عناصر با استانداردهای کیفی رسوبات مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میانگین غلظت کلیه عناصر مورد مطالعه از حد بیشینه استانداردهای ارائه شده کمتر می‌باشد.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

جدول ۷. راهنمای کیفیت رسوب برای عناصر سمی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

منبع	Cr	Ni	Cd	Zn	Pb	Cu		
(Long *et al.*, 1995)	۸۱	۲۰/۹	۱/۲	۱۵۰	۴۶/۷	۳۴	ERL (Effects Range Low)	NOAA
	۳۷۰	۵۱/۶	۹/۶	۴۱۰	۲۱۸	۲۷۰	ERM (Effects Range Median)	
(Anonymous, 1998)	۵۲/۳	۱۵/۹	۰/۷	۱۲۴	۳۰/۲	۱۸/۷	TEL (Threshold Effect Level)	راهنمای کانادایی
	۱۶۰	۴۲/۸	۴/۲	۲۷۱	۱۱۲	۱۰۸	PEL (Probable Effect Level)	
مطالعه حاضر	۱۹/۴۵	۶۳/۴۷	۰/۰۹	۸۱/۳۱	۲۶/۷۶	۴۵/۱۴		میانگین غلظت

با جمع‌بندی نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های مختلف به نظر می‌رسد، ایستگاه‌های اسکله شیلات- بندر خمیر، بندر پهل، اسکله نخل ناخدا و خونسرخ در وضعیت نسبتاً آلوده قرار داشته و در میان عناصر مورد بررسی عناصر سرب و نیکل بیشترین سهم را در ایجاد آلودگی منطقه دارند که از دلایل اصلی آن می‌توان به بالا بودن سهم این عناصر در سوخت‌های فسیلی، فعالیت شناورهای صیادی، تخلیه سوخت و سایر منابع انسان منشأ موجود در منطقه اشاره کرد.

همچنین با توجه به تفاوت در غلظت عناصر مختلف در ایستگاه‌های گوناگون می‌توان دریافت منشأ و پراکنش عناصر توسط عوامل مختلفی کنترل می‌شود که بر اساس نتایج شاخص‌هایی همچون میانگین برخه ERM و PEL و نیز فاکتور آلودگی برای عناصر منفرد، این عناصر نسبت به حدود استانداردهای مذکور و یا میانگین شیل، نمایانگر فراتر رفتن (هرچند به مقدار جزئی) از مقادیر طبیعی و انسان منشأ بودن این عناصر می‌باشد. در نهایت می‌توان اظهار داشت باوجود به‌کارگیری شاخص‌های مختلف با مؤلفه‌ها، طبقه‌بندی‌ها و حساسیت‌های متفاوت در بیان آلودگی، نتایج همه آن‌ها در توافق با یکدیگر و مؤید نتایج مقایسه با حدود استاندارد ارائه شده می‌باشند. بر این اساس، نتایج بیانگر پتانسیل کم تا متوسط برای ایجاد اثرات بیولوژیکی ناسازگار برای زیست‌مندان این زیست‌بوم بوده و وضعیت خطر اکولوژیکی کم را برای این بوم‌سازگان نشان می‌دهد که علاوه بر غیر آلوده بودن منطقه مطالعاتی در سواحل بندرعباس، با توجه به اهمیت منطقه بر لزوم تلاش همراه با نظارت پیوسته برای حفظ محیط‌زیست منطقه تأکید دارد.

منابـع

Agah, H., Leermakers, M., Gao, Y., Fatemi, S.M.R., Mohseni Katal, M., Baeyens, W., Elskens, M. 2010. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. Environmental Monitoring and Assessment. 169(1-4): 203-216.

Akcay, H., Oguz, A., Karapire, C. 2003. Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. Water Research. 37(4): 813-822.

Anonymous. 1998. Republic of Trinidad and Tobago, Legal Supplement Part II. Food and Drugs Act. 37(140): 1221-1255.

Armstrong-Altrin, J.S., Machain-Castillo, M.L., Rosales-Hoz, L., Carranza-400 Edwards, A., Sanchez-Cabeza, J.A., Ruíz-Fernández, A.C. 2015. Provenance and depositional history of continental slope sediments in the Southwestern Gulf of Mexico unraveled by geochemical analysis. Continental Shelf Research. 95: 15-26.

Bahador, M., Moradi, A., Naji, A. 2017. Assessment of Toxic Elements Pollution in Surface Sediments of the Shor River, East of Bandar Abbas Using Different indices. Journal of marine Science and Technology. 16(3): 56-71. (in Persian)

Bowen, H.J.M. 1966. Trace elements in biochemistry. Academic Press London.

Brady, J.P., Ayoko, G.A., Martens, W.N., Goonetilleke, A. 2015. Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments. Environmental Monitoring and Assessment. 187(5): 1-14.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

Dahri, N., Atoui, A., Ellouze, M., Abida, H. 2018. Assessment of streambed sediment contamination by heavy metals: The case of the Gabes Catchment, South-eastern Tunisia. Journal of African Earth Sciences. 140: 29-41.

Darvishnia, Z., Riahi Bakhtiari, A., Kamrani, E., Sadjjadi, M.M. 2015. 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. 5(1): 77-87.

Demirak, A., Yilmaz, F., Tuna, A.L., Ozdemir, N. 2006. Heavy metals in water, sediment and tissues of Leuciscuscephalus from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere. 63(9): 1451-1458.

Duodu, G.O., Goonetilleke, A., Ayoko, G.A. 2016. Comparison of pollution indices for the assessment of heavy metal in Brisbane River sediment. Environmental Pollution. 219: 1077-1091.

El-Amier, Y.A., Elnaggar, A.A., El-Alfy, M.A. 2017. Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt. Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences. 4: 55-66.

Gamain, P., Gonzalez, P., Cachot, J., Pardon, P., Tapie, N., Gourves, P.Y., Budzinski, H., Morin, B. 2016. Combined effects of pollutants and salinity on embryo-larval development of the Pacific oyster, Crassostreagigas. Marine Environmental Research. 113: 31-38.

Gholam Dokht Bandari M, P., R. 2015. Study of Some Heavy Metal Pollutions in the Hormuz Islands Coastal Sediments and Their Origin. Journal of Oceanography. 22(6): 97-106. (in Persian)

Guo, G., Wu, F., Xie, F., Zhang, R. 2012. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. Journal of Environmental Sciences. 24: 410-418.

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

Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. Water Research. 14(8): 975-1001.

Hawa Bibi, M., Ahmed, F., Ishiga, H. 2007. Assessment of metal concentrations in lake sediments of southwest Japan based on sediment quality guidelines. Environmental Geology. 52: 625-639.

Huang, S. 2014. Fractional distribution and risk assessment of heavy metal contaminated soil in vicinity of a lead/zinc mine. Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 24: 3324-3331.

Islam, M.S., Ahmed, M.K., Raknuzzaman, M., Habibullah-Al-Mamun, M., Kundu, G.K. 2015. Heavy metals in the industrial sludge and their ecological risk: a case study for a developing country. Journal of Geochemical Exploration. 172: 41-49.

Islam, M.S., Hossain, M.B., Matin, A., Islam Sarker, M.S. 2018. Assessment of heavy metal pollution, distribution and source apportionment in the sediment from Feni River estuary, Bangladesh. Chemosphere. 202: 25-32.

Jamshidi-Zanjani, A., Saeedi, M. 2013. Metal pollution assessment and multivariate analysis in sediment of Anzali international wetland. Environmental Earth Sciences. 70: 1791-1808.

Kang, X., Songa, J., Yuana, H., Duana, L., Li, X., Li, N., Lianga, X., Qu, B. 2017. Speciation of heavy metals in different grain sizes of Jiaozhou Bay sediments: Bioavailability, ecological risk assessment and source analysis on a centennial timescale. Ecotoxicology and Environmental Safety. 143: 296-306.

Kheirabadi, N., Stekani, S., Darini, E., Kheirabadi, R. 2016. Identification and abundance of hermit crabs (Crustacea: Paguroidea) in the southern of Qeshm Island; first record of Clibanarius virescens (Krauss, 1843) in the Persian Gulf. Journal of Empirical Animal Biology. 5(2): 77-86. (in Persian)

Kusin, F.M., Azani, N.N.M., Hasan, S.N.M.S., Sulong, N.A. 2018. Distribution of heavy metals and metalloid in surface sediments of heavilymined area for bauxite ore in Pengerang, Malaysia and associated risk assessment. Catena. 165: 454-464.

Li, C., Song, C., Yin, Y., Sun, M., Tao, P., Shao, M. 2015. Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in sediments of Shuangtaizi estuary, China. Marine Pollution Bulletin. 98: 358-364.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]

Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D. 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. Journal of Environmental Management. 19: 81-97.

Mamat, Z., Haximu, S., Zhang, Z., Aji, R. 2016. An ecological risk assessment of heavy metal contamination in the surface sediments of Bosten Lake, northwest China. Environmental Science and Pollution Research. 23(8): 7255-7265.

Muller, G. 1969 Index of geo-accumulation in sediments of the Rhine River. International Journal of Geosciences. 2(3): 108-118.

Nazm far, H., Eshghi Chahar Borj, A., Alavi, S. 2017. Leveling Hormozgan province in the enjoyment of tourism infrastructure using the integrated model Kandrst. Journal of Urban Tourism. 4(2): 61-79. (in Persian)

Neyestani, M.R., Darvish Bastami, K., Esmaeilzadeh, M., Shemirani, F., Kazaali, A., Molamohyeddin, N., Afkhami, M., Nourbakhsh, Sh., Dehghani, M., Aghaei, S., Firouzbakht, M. 2016. Geochemical speciation and ecological risk assessment of selectedmetals in the surface sediments of the northern Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin. 109(1): 603-611.

Pejman, A., Nabi Bidhendi, G.R., Ardestani, M., Saeedi, M., Baghvand, A. 2015. A new index for assessing heavy metals contamination in sediments:A case study. Ecological Indicators. 58: 365-373.

Pourang, N., Nikouyan, A., Dennis, H. 2005. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from Northern part of the Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment. 109: 293-316.

Ranjbar Jafarabadi, A., Riyahi Bakhtiyari, A.R., Shadmehri Toosi, A.H., Jadot, C. 2017. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine superficial sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Chemosphere. 185: 1090-1111.

Rezaei, M., Mehdiinia, A., Saleh, A., Modiri, S. 2017. A Comparison of the Ecological Risk indices of Toxic Elements in the North of Persian Gulf: Hormozgan and Bushehr Provinces. Journal of Oceanography. 8(30): 37-45. (in Persian)

Romic, M., Romic, D. 2003. Heavy metals distribution in agricultural topsoils in urban area. Environmental Geology. 43: 795-805.

Sabzalizadeh, S., Dehghan medise, S. 2010. Assessment of heavy metals pollution in the sediments of Lifeh-Busaf (northwest of Persian Gulf) using Geo-accumulation index. Iranian Scientific Fisheries Journal. 19(3): 51-60. (in Persian)

Saleem, M., Iqbal, J., Akhter, G., Munir, H., Shah, M. 2018. Fractionation, bioavailability, contamination and environmental risk of heavy metals in the sediments from a freshwater reservoir, Pakistan. Journal of Geochemical Exploration. 184: 199-208.

Sartipi Yarahmadi, S., Ansari, M. 2018. Ecological risk assessment of heavy metals (Zn, Cr, Pb, As and Cu) in sediments of Dohezar River, North of Iran, Tonekabon city. Acta Ecologica Sinica. 38: 126-134.

Seshan, B.R.R., Natesan, U., Deepthi, K. 2010. Geochemical and statistical approach for evaluation of heavy metal pollution in core sediments in southeast coast of India. International Journal of Environmental Science and Technology. 7(2): 291-306.

Tomlinson, D., Wilson, D., Harris, C., Jeffrey, D.W. 1980. Problem in assessment of heavy metals in estuaries and the formation of pollution index. Helgol Wiss Meeresunlter. 33: 566-575.

Turekian, K.K., Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the Elements in some major units of the Earth's crust. Geological Society of America. GSA Bulletin. 72: 175-192.

Yap, C., Pang, B. 2011. Assessment of Cu, Pb, and Zn contamination in sediment of north western Peninsular Malaysia by using sediment quality values and different geochemical indices. Environmental Monitoring and Assessment. 183: 23-39.

Zhang, P., Rijun Hu, R., Zhu, L., Wang, P., Yin, D., Zhang, L. 2017. Distributions and contamination assessment of heavy metals in the surface sediments of western Laizhou Bay: Implications for the sources and influencing factors. Marine Pollution Bulletin. 119(1): 429-438.

[Downloaded from jae.hormozgan.ac.ir on 2026-11-01]

[DOR: 20.1001.1.23222751.1398.9.2.5.6]