



فصلنامه علوم محیطی، دوره بیستم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱

۱۶۳-۱۸۲

مقاله پژوهشی

ارزیابی پتانسیل سمیت و توزیع مکانی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

ژاله امینی^{۱*}، رضا انوری پور^۱، مسعود حاتمی منش^۱ و جابر اعظمی^۲

^۱ گروه برنامه ریزی و مدیریت زیست بومی تالابها، دفتر حفاظت و احیا تالابها، سازمان حفاظت محیط زیست، تهران، ایران

^۲ گروه محیط زیست، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۲/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۲۱

امینی، ژ.، ر. انوری پور، م. حاتمی منش و ج. اعظمی. ۱۴۰۱. ارزیابی پتانسیل سمیت و توزیع مکانی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. فصلنامه علوم محیطی. ۲۰(۳): ۱۶۳-۱۸۲.

سابقه و هدف: نظر به پتانسیل بالقوه سمیت و خطرات اکولوژیکی فلزات سنگین در بوم‌سازگان‌های آبی سنجش و ارزیابی غلظت آنها در بخش‌های مختلف محیط‌های آبی بسیار ضروری است. از اینرو مطالعه حاضر به سنجش غلظت فلزات کادمیوم، کروم، سرب، نیکل، آرسنیک و روی و ارزیابی توزیع مکانی مخاطره اکولوژیکی آن‌ها در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی می‌پردازد.

مواد و روش‌ها: نمونه‌برداری از ۵۰ ایستگاه در بخش‌های مختلف تالاب انجام شد. پس از آماده سازی و هضم اسیدی نمونه‌ها، غلظت فلزات مذکور با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین گردید. به منظور پهنه‌بندی سمیت و مخاطره اکولوژیکی فلزات از روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده شد.

نتایج و بحث: میانگین کلی غلظت فلزات به ترتیب به صورت روی ($80/23 \pm 23/91$)، کروم ($19/04 \pm 34/06$)، نیکل ($19/5 \pm 26/65$)، سرب ($14/06 \pm 03/48$)، آرسنیک ($7/4 \pm 54/74$) و کادمیوم ($0/73 \pm 0/31$) اندازه‌گیری شد. بررسی شاخص‌های پتانسیل سمیت حاد فلزات، ریسک اکولوژیکی، ارزیابی خطر اصلاح شده و بار آلودگی بیانگر وضعیت آلودگی پایین در رسوبات تالاب بود. خطر محیط‌زیستی فلزات در رسوبات منطقه به ترتیب به صورت (کادمیوم < آرسنیک < سرب < نیکل < روی < کروم) ارزیابی گردید. همچنین یافته‌های توزیع پراکنش خطر سمیت و مخاطره اکولوژیکی فلزات در بخش‌های مختلف تالاب از الگوی یکسانی پیروی نمی‌کند و بخش‌های غربی تالابی خطرات بیشتری دارند.

نتیجه‌گیری: نتایج پتانسیل سمیت حاد و خطر اکولوژیکی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه به ترتیب پایین و متوسط ارزیابی می‌گردد. گسترش شدید فعالیت‌های انسانی در نواحی اطراف تالاب، در کنار رسوبگذاری و ورود آلاینده‌های مختلف، لزوم پایش مداوم تالاب و ارزیابی خطر سلامت اکولوژیکی آن را تایید می‌نماید.

* Corresponding Author: Email Address. amini@ut.ac.ir

<http://dx.doi.org/10.52547/envs.2022.1192>

<http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1401.20.4.5.0>

واژه‌های کلیدی: خطر اکولوژیکی، سمیت حاد، ارزیابی خطر اصلاح شده، فلزات سنگین، تالاب انزلی.

مقدمه

تغذیه‌ای به سطوح بالاتر نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، سلامت موجودات در سطوح تغذیه‌ای بالاتر هم در اکوسیستم‌های (مانند پرندگان، لاکپشتان دریایی و دلفین‌های آبی) و هم در اکوسیستم‌های زمینی (مانند انسان) به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. (Lao et al., 2019). تجمع فلزات در رسوبات آنها را به عنوان یک منبع بالقوه فلزات سنگین تبدیل می‌کنند که می‌تواند تأثیر نامطلوبی بر کیفیت آب آشامیدنی و سلامت انسان داشته باشد. علاوه بر این، موجودات زنده وابسته به بستر اکوسیستم‌های آبی و یا سایر موجودات زنده می‌توانند ذرات فلز یا آب آلوده را بلعند که منجر به تجمع فلزات در بافت آنها و در نهایت ورود به زنجیره غذایی می‌شود. از اینرو رسوبات آلوده می‌تواند تهدیدی جدی برای موجودات زنده بخصوص انسان باشند. (Mirzaei et al., 2020). بنابراین ارزیابی آلودگی فلزات سنگین و خطر زیست محیطی آنها برای اجزای بیولوژیکی بسیار ضروری است.

رسوبات بوم سازگان های آبی یکی از اجزای اساسی این محیطها هستند زیرا مواد مغذی را برای موجودات زنده فراهم می‌کنند. رسوبات کف بستر شاخص های حساسی برای پایش آلاینده ها هستند زیرا می‌توانند به علت پایداری بسیار بالا به عنوان یک مخزن و حامل آلاینده ها در محیطهای آبی عمل کنند. رفتار فلزات سنگین در آب دریا معمولاً تحت تأثیر نوع فلزات، فازهای ژئوشیمیایی آنها در رسوبات، وضعیت بستر، ترکیبات رسوبات معلق و خصوصیات هیدروشیمیایی آب و رسوب است. علاوه بر این، رسوبات می‌تواند شاخص خوبی ارزیابی میزان فلزات ناشی از منابع انسانی باشند، زیرا فعالیت‌های انسانی یک عامل غالب در تغییر سطوح فلزات سنگین در رسوبات است (Lao et al., 2019). از اینرو تجزیه و تحلیل رسوبات نقش

تالابها مولدترین و آسیب پذیرترین اکوسیستم های جهان هستند. امروزه به دلیل بهره برداری بیش از حد از منابع تالابی، فعالیت‌های توسعه نامناسب و ورود آلاینده های مختلف این اکوسیستمها دچار تخریب شدید شده‌اند (Mandour et al., 2021). تخریب و تجمع فلزات سنگین در بوم سازگان‌های مانند رودخانه‌ها، دریاچه ها، تالاب ها و مصب ها به یک نگرانی عمده جهانی تبدیل شده است. این فلزات معدنی به دلایل مختلفی اعم از پایداری زیاد در اکوسیستم‌های طبیعی، وجود منشاءهای مختلف، سمیت در غلظت های پایین و میل ترکیبی بالا برای تجمع در رسوبات و قابلیت انتقال به زنجیره غذایی و غیره به عنوان یک مساله و تهدید جدی اکوسیستم‌های آبی به حساب می‌آیند (Talukder and Carnicelli, 2021). هم فرآیندهای طبیعی و هم فعالیت‌های انسانی در تولید و ورود فلزات سنگین به زیستگاه‌های آبی نقش دارند. فرآیندهای طبیعی مانند هوازدگی سنگ و فرسایش، فلزات سنگینی را آزاد می‌کنند که با وسایل حمل و نقل مختلف (مانند هوا، جریان آب، خاک یا رسوب) وارد آب می‌شوند. با این حال، مهم ترین منبع فلزات سنگین فعالیت های انسانی است. به عنوان مثال، توسعه صنعتی، فعالیت های کشاورزی، تخلیه شهری و زباله ها همه منابع فلزات سنگین هستند (Mortazavi and HatamiManesh, 2018). اصولاً زمانی که غلظت فلزات سنگین از سطوح معینی در محیط‌های آبی فراتر رود، منجر به ایجاد صدمه به موجودات زنده می‌شود. فلزاتی مانند روی، مس و کروم عناصر ضروری برای عملکرد موجودات زنده هستند. با این حال، مصرف بیش از حد این فلزات باعث انواع اثرات نامطلوب می‌شود (Xiao et al., 2021). علاوه بر این، به دلیل خاصیت تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی فلزات، سمیت آنها از سطوح پایین زنجیره

فلزات سنگین، (۲) ارزیابی خطر اکولوژیکی و سمیت فلزات و (۳) تجزیه و تحلیل الگوهای توزیع خطر و سمیت فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی می-پردازد.

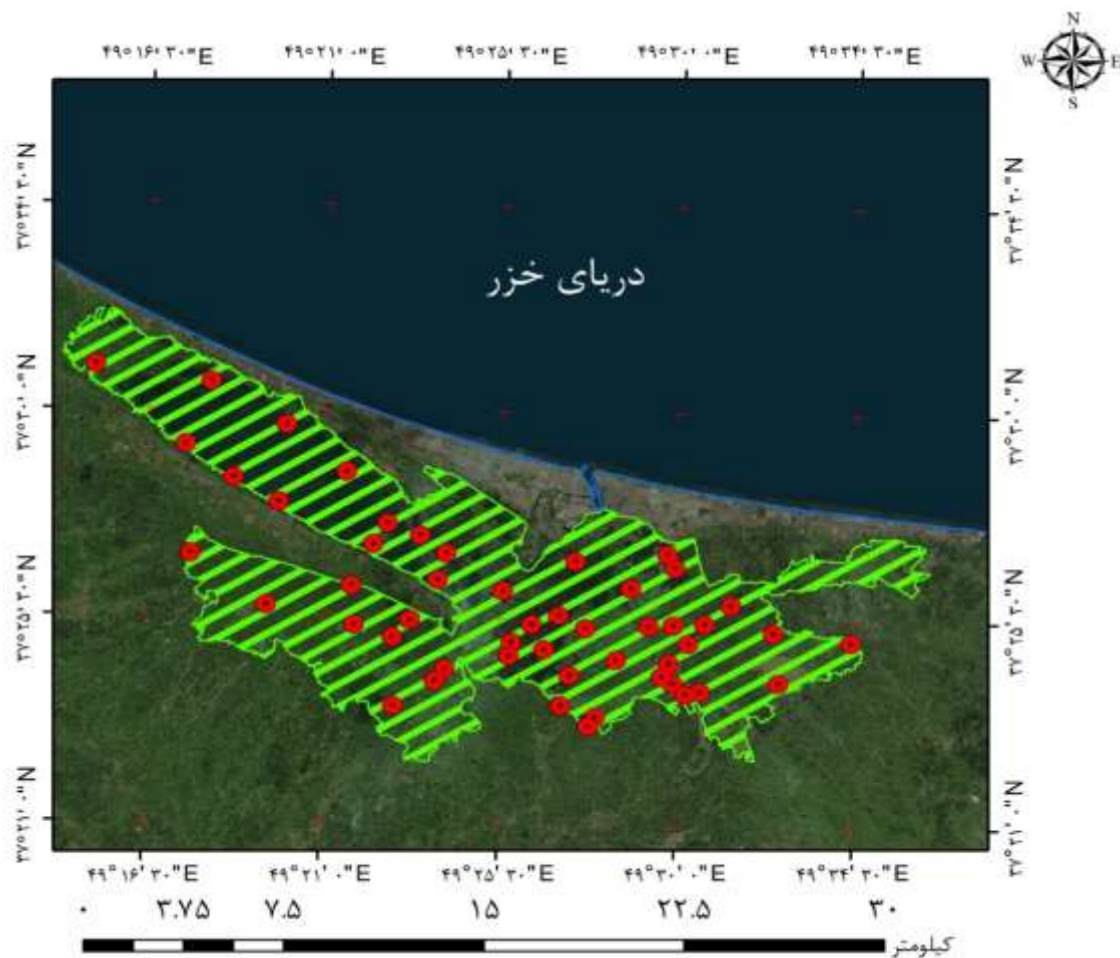
مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه

سایت مطالعاتی در تحقیق حاضر تالاب بین‌المللی انزلی است که در جنوب غربی دریای خزر در استان گیلان واقع شده است (۴۹ درجه ۳۶ دقیقه و ۱۴/۷ ثانیه تا ۴۹ درجه ۲۴ دقیقه و ۵۶/۱ ثانیه طول شرقی و ۳۷ درجه ۳۲ دقیقه و ۱۵/۸ ثانیه تا ۳۷ درجه ۲۲ دقیقه و ۴۰/۱ ثانیه عرض شمالی). این تالاب یکی از زیستگاه‌های مهم لانه‌گزینی، تخم‌ریزی و پرورش نوزاد پرندگان و ماهیان محسوب می‌شود که به علت تنوع زیستی بالا و حمایت از گونه‌های فراوان آبزیان و پرندگان در سال ۱۳۵۴ در کنواسیون رامسر به ثبت رسید (شکل، ۱). این بوم سازگان از منابع آبی فراوانی مانند رودخانه‌ها، آب دریا و فاضلاب تغذیه می‌کند. این منابع آبی ضمن رود به تالاب مقدار زیادی آلاینده از جمله فلزات سنگین را وارد این بوم سازگان می‌کنند. از جمله مهمترین منبع ورود آب به این تالاب رودخانه پیرباز است که ضمن عبور از درون و حاشیه شهر رشت، فاضلاب و آلاینده‌های این شهر را به تالاب می‌ریزد. علاوه بر این تالاب انزلی با تهدیدات دیگری نظیر افزایش رسوبگذاری و کاهش سطح آب دریایی خزر، صید و شکار و بهره‌برداری بی‌رویه از ذخایر آبزیان، رود سموم و کودهای شیمیایی ناشی از فعالیتهای کشاورزی روبه‌رو است که حیات این بوم سازگان مهم و زیست‌مندان آن را با خطر جدی مواجهه ساخته است. مطابق تحقیقات انجام شده بدنه تالاب به چهار بخش عمده شامل قسمت غربی یا آبکنار (پناهگاه پرندگان و توریستی)، قسمت مرکزی، قسمت شرقی و سیاه‌کشیم تقسیم می‌شود.

مهمی در ارزیابی وضعیت آلودگی، خطرات محیط زیستی و پراکنش مکانی آنها در محیط آبی ایفا می‌کند (Suresh and Venkatachalapathy, 2012).

یکی از بوم‌سازگان‌های آبی که امروزه تحت تاثیر صدمات و بحران محیط‌زیستی مختلف نظیر رسوبگذاری، کاهش سطح آب، افزایش رویش گونه‌های گیاهی مهاجم، و مهمتر از همه ورود آلاینده‌های آلی و معدنی مختلف نظیر سموم و فلزات سنگین و خطرات آنها قرار گرفته، تالاب بین‌المللی انزلی است. زیرا مطابق شواهد موجود فعالیت‌های گسترده‌ی انسانی نظیر توسعه سریع شهرنشینی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و تفریحی و افزایش روز افزون تراکم جمعیت انسانی در حاشیه این تالاب و رودخانه‌های منتهی به آن، فقدان وجود سیستم تصفیه فاضلاب و سرازیر شدن فاضلابهای شهری، صنعتی، خانگی و کشاورزی از شهر و روستاهای اطراف با آلودگی‌های فراوان اعم از آلی و معدنی به درون این ناحیه، موجب بروز اختلال در عملکرد آن شده، و حیات این بوم‌سازگان و موجودات آن را به شدت مورد تهدید قرار داده است (Alahabadi and Malvandi, 2018; Mirzaei et al., 2020). این مساله به نوبه‌ی خود می‌تواند مشکلاتی را برای سلامت و زندگی جامعه محلی نیز ایجاد نماید. در این راستا اگرچه مطالعات زیادی بر روی فلزات سنگین تالاب انزلی، از جمله Zamani-Ahmadmohmoodi et al. (2013)، (2018) Vatabdoost et al.، ALabdeh، Mohamadi et al. (2020) و Sarang (2020) صورت گرفته است ولی اطلاعات کمی در مورد وضعیت سمیت، ریسک اکولوژیکی فلزات و توزیع مکانی وضعیت خطر فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی با توجه به رشد و توسعه سریع صنعتی شدن و شهرنشینی در تالاب و نواحی اطراف آن وجود دارد. بنابراین باتوجه به اهمیت فلزات سنگین و ارزیابی خطرات آنها در محیط زیست پژوهش حاضر: (۱) به سنجش غلظت



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه های نمونه برداری

Fig. 1- Locations of sampling sites within Anzali International Wetland of Iran

جمع آوری نمونه‌ها

جهت سنجش غلظت فلزات سنگین رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی ضمن بازدید از منطقه باتوجه به وضعیت منابع آلاینده‌گی تالاب، میزان و نوع کاربری‌های انسانی در حاشیه و نواحی اطراف آن، ۵۰ ایستگاه در بخش‌های مختلف تالاب انتخاب گردید. سپس در هر ایستگاه از رسوبات سطحی (عمق ۰ تا ۵) با استفاده از غرب ۲۰ × ۲۰ cm به صورت تصادفی نمونه برداشته شد (جدول ۱). در واقع ایستگاه و نمونه‌ها به گونه‌ای انتخاب شد که ضمن قابلیت دسترسی و شاخص بودن در منطقه بتواند تا حد امکان وضعیت ورود آلودگی‌های ناشی از فلزات و منابع آنها را به تالاب را نشان دهد (شکل ۱). نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی مخصوص جمع آوری و

پس از کد گذاری در کلمن یخ قرار گرفتند و به آزمایشگاه منتقل و در دمای ۴°C تا انجام آزمایشات نگهداری شدند.

آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

جهت آماده‌سازی نمونه‌های جمع‌آوری شده نخست در آون دمای ۷۰°C به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. پس از جداسازی ذرات درشت، سنگ، شاخه، ریشه و برگ گیاهان و پودر کردن آنها، به منظور هموژن سازی نمونه‌ها آنها از الک مش ۱۰۰ عبور داده شدند و مجدداً در دمای ۶۴ درجه سانیکراد به مدت ۸ ساعت در آون جهت اطمینان و رسیدن به وزن ثابت قرار داده شدند. یک گرم از هر نمونه خشک پودر شده در لوله‌های هضم از جنس تفلون یا پلی تترافلورواتیلن^۱

مرجع یا میانگین شیل (C_n) بدست می‌آید، n تعداد فلز اندازه‌گیری شده در نمونه رسوب می‌باشد. (در این پژوهش از میانگین شیل به عنوان زمینه استفاده شده است) (جدول، ۲).

ب) شاخص بار آلودگی Pollution Load Index (PLI)

این شاخص تخمینی از سطح آلودگی فلزات در رسوبات سطحی را نشان دهد و ابزاری مناسب جهت مقایسه بار آلودگی کل در مکان‌های مختلف می‌باشد و یک دید کلی از آلودگی فلزات در یک منطقه مشخص ارائه می‌دهد (Tomlinson et al., 1980). این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است

$$PLI = \sqrt[n]{CF_{Pb} \times CF_{Cr} \times CF_{Zn} \times CF_{Cd} \times CF_{Ni} \times CF_{As}} \quad (2)$$

در این فرمول CF فاکتور آلودگی، C_i : غلظت فلزات سنگین در نمونه رسوب و C_n : میزان فراوانی فلز مورد نظر در زمینه محلی است. مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ بسیار آلوده تغییر می‌کنند که به طور معمول مقادیر کوچکتر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگتر از یک نشان‌دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (Tomlinson et al., 1980).

ج- ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین در

منطقه مورد مطالعه

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی اولین بار توسط Hakanson (1980) برای تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات با توجه به سمیت آنها و پاسخ آنها به محیط معرفی و استفاده گردید. براساس میزان سمیت فلزات، روش‌های اصلاحی بوسیله محققان مختلفی همچون Yi et al. (2011) و Wang et al. (2013) بکار گرفته شده است. براساس رویکرد Hakanson (1980) فاکتور پاسخ سمیت برای کادمیوم برابر ۳۰،

ریخته شد و ۱۰ ml اسید نیتریک (HNO_3) ۶۵ درصد (Merck، آلمان) و ۲/۵ میلی لیتر اسید پرکلریک ($HClO_4$) ۷۰ درصد (Merck، آلمان) (با نسب ۴ به ۱) به آن اضافه گردید. لوله‌های PTFE به مدت یک ساعت در دمای $40^\circ C$ بر روی هیتر قرار داده شدند و بعد از آن به آرامی دما تا $140^\circ C$ به مدت ۳ ساعت افزایش یافت. پس از اتمام فرایند هضم رسوبات محتوای هر لوله از کاغذ صافی واتمن شماره یک عبور داده شد و با آب دیونیزه به حجم ۲۵ml رسانده شد. جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه شاهد blank نیز در کنار سایر نمونه‌ها قرار داده شد (Yap et al., 2002). و در نهایت نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی مدل AAnalyst 800, Perkin Elmer اندازه‌گیری گردید. همچنین جهت انجام تجزیه و تحلیل آماری تمام داده‌های بدست آمده و محاسبه شاخص‌هایی کیفیت رسوب از نرم‌افزار Excel ۲۰۱۶ و به منظور پهنه-بندی عناصر از نرم افزار Arc GIS10.8 نیز استفاده شد.

شاخص‌های محیط زیستی

الف) درجه آلودگی (Degree of contamination)

از شاخص‌های مهم جهت توصیف وضعیت آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین محاسبه شاخص درجه آلودگی است که از مجموع ضرایب آلودگی آلاینده‌ها بدست می‌آید (رابطه ۱). این شاخص که به درجه آلودگی هاکنسون (Hakanson) معرف است نشان دهنده، درجه کلی آلودگی رسوبات است (Hakanson, 1980). مطابق رده‌بندی Hakanson (1980) بر مبنای میزان درجه آلودگی فلزات، وضعیت آلودگی رسوبات به چهار طبقه آلودگی کم، متوسط، قابل توجه و آلودگی بسیار زیاد تقسیم بندی می‌شود (جدول، ۱)

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

در این رابطه CF : ضریب آلودگی است که از نسبت غلظت فلز در نمونه رسوب (C_i) به غلظت همان فلز در ماده

ندارد (Pedersen *et al.*, 1998).

ریسک سمیت یکپارچه (Integrated toxic risk)؛ برای تخمین خطر بسته به سطح اثر آستانه (TEL) و PEL فلزات سنگین معرفی شد. این شاخص با معادله زیر

محاسبه شد. (Zhang *et al.*, 2016).

$$TRI = \sum_{i=1}^n TRI_i = \sqrt{\frac{(C_s^i / C_{TEL}^i)^2 + (C_s^i / C_{PEL}^i)^2}{2}} \quad (6)$$

در این رابطه C_s^i غلظت فلز i در نمونه رسوب، C_{TEL} و C_{PEL} به ترتیب حد مجاز یا آستانه اثر حد احتمال اثر فلز i برحسب میلی گرم بر گیلوگرم می باشد، به طور کلی بسته به میزان شاخص TRI ریسک سمیت فلزات به پنج گروه یا طبقه تقسیم بندی می شود (جدول، ۱).

ه) شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ)

شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده Modified hazard quotient (mHQ) ابزاری است که درجه و میزان خطر هر فلز برای محیط‌های آبی و موجودات زنده را تعیین می کند. در حقیقت شاخص mHQ به منظور ارزیابی آلودگی رسوبات منطقه، از مقایسه غلظت فلزات در رسوب با توزیع اثرات سینوپتیک اکولوژیکی نامطلوب برای سطوح آستانه کمی (Threshold Effect Level)، PEL و SEL (Sever Effect Level) بدست می آید (Benson *et al.*, 2018). این شاخص از رابطه (۸) محاسبه می گردد (میزان TEL برای سرب، نیکل، مس و روی به ترتیب برابر ۳۵، ۱۸، ۳۵/۷ و ۱۲۵ (MacDonald *et al.*, 2000).

$$mHQ = \left[C_i \left(\frac{1}{TEL_i} + \frac{1}{PEL_i} + \frac{1}{SEL_i} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

در این رابطه C_i غلظت فلز اندازه گیری شده در نمونه رسوب، TEL (حد مجاز یا آستانه اثر)، PEL (حد احتمال اثر) و SEL (سطح اثر شدید) است (جدول، ۲). بر اساس مقادیر کمی شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده، درجه و میزان خطر فلزات سمی برای فلزات در رسوبات به شش طبقه تقسیم بندی می شود (جدول، ۱).

سرب (۵)، نیکل (۵)، کروم (۲)، آرسنیک (۱۰) و روی (۱) می باشد (جدول، ۲). در این پژوهش، پتانسیل خطر اکولوژیکی براساس معادله زیر محاسبه گردید (Hakanson, 1980).

$$E_r^i = \frac{C^i}{C_0^i} \times T_r^i \quad (3)$$

$$RI = \sum_{i=1}^4 E_r^i \quad (4)$$

در معادلات E_r^i : شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، C^i و C_0^i به ترتیب مقدار طبیعی عنصر (Background value)، T_r^i : برابر فاکتور پاسخ سمیت فلز است. بر مبنای میزان شاخص های خطر اکولوژیکی و خطر محیط زیستی (RI) وضعیت ریسک آلودگی رسوبات به ترتیب به پنج و چهار طبقه تقسیم بندی می شوند (جدول ۱)

د) ارزیابی سمیت فلزات (Potential Acute Toxicity)

جهت ارزیابی میزان سمیت فلزات سنگین در رسوبات از شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات استفاده شد. در واقع شاخص پتانسیل سمیت حاد رسوب را می توان به صورت مجموع واحدهای سمی ارزیابی و برآورد نمود. در این شاخص واحد سمی یا Toxicity Unite (TU) به صورت نسبت غلظت فلز مورد نظر به مقدار PEL (Probable Effect Level) آن فلز محاسبه می گردد (رابطه ۵). مقدار PEL بیانگر سطح غلظت بالای مواد شیمیایی است که می تواند باعث ایجاد عوارض نامطلوب در رسوبات منطقه گردد. مقدار PEL برای فلزات کادمیوم، کروم، سرب، نیکل، روی و آرسنیک در جدول (۲) ارائه شده است (Pedersen *et al.*, 1998).

$$TU = \frac{\text{Metals (wt\%)}}{PEL} \quad (5)$$

از شاخص $\sum TU$ می توان به منظور ارزیابی سمیت حاد مجموع چند فلز، در نمونه مورد نظر استفاده کرد. در این صورت چنانچه مقادیر $\sum TU$ بیشتر از ۴ باشد سمیت حاد وجود دارد، و اگر $\sum TU$ کمتر از ۴ باشد سمیت وجود

جدول ۱- طبقه بندی شاخص های ارزیابی خطر فلزات سنگین (Cd, E_r^i , RI, TRI, $\sum TU_s$, mHQ) در رسوبات
 Table 1. Grades and risk assessment indices (Cd, E_r^i , RI, TRI, $\sum TU_s$, mHQ) of heavy metals in the sediment

شاخص Index	میزان و محدوده شاخص Grades	وضعیت آلودگی/یا میزان خطر و سمیت Environmental condition	شاخص Index	میزان و محدوده شاخص Grades	وضعیت آلودگی/یا میزان خطر و سمیت Environmental condition	
درجه آلودگی Degree of contamination	$6 < Cd$	آلودگی کم Low contamination	$\sum TU_s$ (STU)	$STU < 4$	سمیت پایین low toxicity level	
	$12 < Cd \leq 6$	آلودگی متوسط Moderate contamination		$4 < STU \leq 6$	سمیت متوسط moderately toxicity level	
	$24 < Cd \leq 12$	آلودگی قابل توجه Considerable contamination		$STU > 6$	سمیت حاد Heavily toxicity level	
	$24 \geq Cd$	آلودگی بسیار زیاد Very high contamination				
E_r^i	$E_r^i \leq 40$	خطر پایین Low Risk	RI	$RI \leq 150$	خطر پایین Low Risk	
	$40 \leq E_r^i \leq 80$	خطر متوسط Moderate Risk		$150 \leq RI \leq 300$	خطر متوسط Moderate Risk	
	$80 \leq E_r^i \leq 160$	خطر قابل ملاحظه Considerable Risk		$300 \leq RI \leq 600$	خطر قابل ملاحظه (زیاد) Considerable Risk	
	$160 \leq E_r^i \leq 320$	خطر زیاد High Risk		$RI \geq 600$	خطر خیلی زیاد Significantly High Risk	
	$E_r^i \geq 320$	خطر خیلی زیاد Very High Risk		-	-	
TRI	$TRI \leq 5$	عدم سمیت یا بسیار ناچیز No toxic risk,	mHQ	$HQ < 0.5$	بیانگر عدم وجود خطر یا خطر ناچیز در رسوبات Nil to very low severity of contamination	
	$5 < TRI \leq 10$	ریسک سمیت پایین Low toxic risk		$5 < mHQ < 1.0$	خطر خیلی پایین Very low severity of contamination	
	$10 < TRI \leq 15$	ریسک سمیت متوسط Moderate toxic risk		$1.0 < mHQ < 1.5$	خطر پایین Low severity of contamination	
	$15 < TRI \leq 20$	ریسک سمیت قابل ملاحظه Considerable toxic risk		$1.5 < mHQ < 2.0$	خطر متوسط Moderate severity of contamination	
	$TRI > 20$	ریسک سمیت بسیار بالا Very high toxic risk			$2.0 < mHQ < 2.5$	خطر قابل ملاحظه Considerable severity of contamination
					$2.5 < mHQ < 3.0$	خطر زیاد High severity of contamination
					$3.0 < mHQ < 3.5$	خطر خیلی زیاد Very high severity of contamination
			$mHQ > 3.5$	خطر خیلی شدید (رسوبات شدیداً آلوده) Extreme severity of contamination		

$$\overline{Z(s_0)} = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (8)$$

مقدار اندازه گیری شده در آن (Z_i) در موقعیت i^{th} است و λ_i وزن مقدار اندازه گیری شده در موقعیت i^{th} است. s_0 موقعیت پیش بینی و N تعداد نقاط اندازه گیری شده یا معلوم می باشد. λ_i تابعی از فاصله بین آنها می باشد، یا به عبارتی هرچه فاصله کمتر است، تاثیر نقطه مجهول بیشتر است، لذا معکوس فواصل بین آنها به عنوان وزن در مدل به کار می رود. تعداد ۵۰ نمونه در این مطالعه به منظور درونبایی مورد استفاده قرار گرفت و نقشه پهنه بندی آنها به دست آمد.

پهنه بندی سمیت و مخاطره اکولوژیکی فلزات با روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW)

به منظور پهنه بندی شاخص های الودگی مذکور از روش درونبایی فاصله وزندار معکوس استفاده شد این روش بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می یابد. لذا به منظور تخمین نقاط مجهول، نمونه های اطراف باید مشارکت بیشتری نسبت به آنهايي که در فاصله دورتر دارند، داشته باشند. تاثیر شدت وابستگی مکانی در داده ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می توان اعمال نمود. سلول هایی که ارزش آن نامعلوم است، با استفاده از سلول های اطراف در یک شعاع مشخص اساس فرمول زیر برآورد می شود.

جدول ۲- مقادیر استاندارد فلزات سنگین و شاخص های آن رسوبات

Table 2. Standard values of heavy metals and their indicators in the sediment

رفرنس References	Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	استاندارد یا شاخص Standard or indicators
	0.38	50	7.7	95	20	90	میانگین شیل - (mg/kg) Average shale
(Hakanson, 1980)	30	5	10	1	5	2	فاکتور پاسخ سمیت Toxic Response Factors
(MacDonald <i>et al.</i> , 2000)	3.5	36	17	315	91.4	90	حد احتمال اثر Probable Effect Level (PEL)
(MacDonald <i>et al.</i> , 2000)	10	75	-	110	250	110	سطح اثر شدید Sever Effect Level (SEL)
(MacDonald <i>et al.</i> , 2000)	0.6۶	18	3.9	123	33	37.3	حد مجاز یا آستانه اثر Threshold Effect Level (TEL)
(Haghsheenas <i>et al.</i> , 2017)	0.17	52	-	95	19	72	میانگین جهانی رسوبات Mean sediment
(ISQG, 1995)	0.68	15.90	7.24	124	30.20	52.3	استانداردهای کیفیت رسوب کانادا ISQG
(Bowen, 1979)	0.11	80	1.5۵	75	14	100	پوسته زمین Mean crust

ISQG= Interim sediment quality guideline (Environment Canada)

در رسوبات تالاب ممکن است ناشی از فعالیت های انسانی مانند تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، رواناب شهری و کشاورزی اطراف تالاب و آلودگی ناشی از سایر منابع آبی تغذیه کننده تالاب باشد. سوزاندن زباله های پلاستیکی، ریزش و مصرف سوخت های فسیلی، تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی نظیر کارخانه های خمیر و کاغذ، بقایای گیاهی می تواند منابع احتمالی و غلظت قابل توجه فلزاتی نظیر کروم، سرب و روی در رسوبات تالاب باشد. منابع اصلی پراکندگی کادمیوم در رسوبات مورد مطالعه مربوط

نتایج و بحث

محدوده تغییرات غلظت (حداقل و حداکثر غلظت) شش فلز سنگین اندازه گیری شده در رسوبات سطحی تالاب انزلی برحسب (mg/kg) در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین توالی میانگین غلظت کلی فلزات سنگین در رسوبات به ترتیب بصورت روی ($80/23 \pm 23/91$)، کروم ($19/4 \pm 34/06$)، نیکل ($19/26 \pm 5/65$)، سرب ($14/03 \pm 06/48$)، آرسنیک ($7/4 \pm 54/74$) و کامیوم ($0/73 \pm 0/31$) بدست آمد (جدول ۳). غلظت این فلزات

نفتی و اتمسفری عنوان نمود- Zamani (Ahmadmahmoodi *et al.*, 2013). نیکل از جمله فلزات مهم آلاینده محیط زیست است که می تواند از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای مختلف نظیر صنایع مرتبط با نفت و پتروشیمی، فاضلاب شهری و روستایی وارد اکوسیستم های آبی گردد (Mortazavi and Hatamimanesh, 2018)، و قسمت اعظم آن به صورت کلوئیدی است و شدیداً در رودخانه‌ها و مصب‌ها رسوب می‌کند. از منابع دیگر نیکل در منطقه می توان به کاربرد کودهای فسفره در مزارع کشاورزی اطراف رودخانه و در نتیجه انتقال آن از طریق رواناب به بستر تالاب رسوبگذاری اشاره نمود (Alahabadi and Malvandi, 2018; Mirzaei *et al.*, 2020) و Esmailzadeh *et al.* مشنا فلزات سرب، کادمیوم و آرسنیک در رسوبات سطحی تالاب انزلی را عمدتاً ناشی از منابع انسانی نظیر رواناب و فاضلاب شهری و کشاورزی، فعالیت‌های صنعتی، حمل و نقل و قایقرانی گزارش نمودند.

به فعالیت‌های صنعتی متعددی مانند تخلیه و ریزش‌های نفتی تخلیه و رهاسازی لاستیکهای خودرو به تالاب ورود روانابهای کشاورزی حاوی کودهای فسفات و سموم کشاورزی حاوی این عنصر است (Ekoa Bessa *et al.*, 2021). فلز کروم و ترکیبات مختلف آن کاربردهای صنعتی زیادی بویژه در صنعت آبکاری، چرم و کاغذسازی دارند و براساس شواهد موجود غلظت این فلز با نزدیک شدن به محل ورود پساب‌های مراکز شهری، صنعتی و کشاورزی افزایش می‌یابد (Rahman *et al.*, 2012). فلزات آرسنیک، روی و سرب دارای کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف اعم از صنعتی، کشاورزی و غیره دارند، که ضمن بکارگیری و استفاده از طریق رواناب و پسابهای مختلف کشاورزی، مصرف سوختهای فسیلی و ریزش‌های اتمسفری وارد محیط‌های آبی و در نتیجه رسوبات می‌گردند. بنابراین می‌توان منشأ اصلی این فلزات در تالاب انزلی را ورود پسابهای شهری و خانگی تصفیه نشده، زباله‌های شهری و صنعتی، رواناب شهری و ریزش‌های

جدول ۳- میانگین غلظت فلزات در رسوبات ایستگاه‌های مختلف تالاب بین المللی انزلی (mg/kg)

Table 3. Heavy metal concentrations in the sediments of different stations of Anzali International Wetland (mg/kg)

Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	ایستگاه Station
0.51	25.70	8.00	69.88	22.75	21.56	1
1.03	24.88	7.50	69.30	23.71	21.71	2
0.80	26.00	8.00	74.20	13.26	24.25	3
1.27	18.91	4.30	70.25	14.25	20.50	4
0.50	23.93	8.22	70.20	17.50	22.53	5
1.10	23.50	8.00	69.50	14.75	21.77	6
1.00	23.80	7.50	69.75	11.50	20.75	7
1.00	18.00	11.50	88.00	13.25	25.00	8
1.25	22.80	11.32	70.25	12.76	26.02	9
0.75	24.02	7.25	113.21	18.75	19.25	10
0.75	15.00	5.75	87.50	17.75	14.25	11
0.76	15.00	5.88	88.00	12.30	14.74	12
0.76	17.07	5.66	107.61	14.00	17.09	13
0.77	14.50	4.26	88.75	17.60	14.77	14
0.72	15.32	7.21	88.25	14.50	14.75	15
0.75	18.00	5.50	95.39	13.26	15.67	16
0.98	19.75	6.50	108.10	14.50	26.00	17
0.99	23.88	8.50	90.30	23.71	22.71	18
1.25	24.00	8.00	104.20	20.26	21.25	19
1.22	20.80	7.70	95.50	14.71	24.45	20
0.82	18.88	5.71	83.00	14.89	16.72	21
0.68	16.75	6.70	94.21	14.10	17.00	22
0.80	22.81	7.91	83.78	14.91	21.20	23
0.60	14.30	4.78	104.71	14.89	16.94	24
0.83	24.76	6.90	88.30	16.81	22.00	25
0.50	22.00	6.71	71.10	17.00	22.38	26

ادامه جدول ۳- میانگین غلظت فلزات در رسوبات ایستگاه‌های مختلف تالاب بین المللی انزلی (mg/kg)
Table 3. Cont. Heavy metal concentrations in the sediments of different stations of Anzali International Wetland (mg/kg)

Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	ایستگاه Station
1.10	23.10	7.30	97.91	17.71	27.00	27
0.91	27.51	8.81	139.60	16.91	32.00	28
0.60	24.78	6.32	117.78	17.50	28.00	29
1.30	26.71	6.81	94.76	18.91	26.71	30
1.04	25.11	6.34	107.76	16.77	22.56	31
1.93	22.25	10.88	108.54	17.78	26.11	32
1.04	26.38	7.78	104.79	18.12	24.35	33
1.25	22.36	6.19	184.00	17.32	28.75	34
0.96	25.76	8.75	119.35	19.77	27.23	35
1.97	27.70	9.50	128.18	20.54	26.60	36
0.84	22.25	8.23	97.50	19.27	30.01	37
0.80	22.75	6.15	96.68	21.20	22.00	38
1.20	21.43	7.98	112.10	18.22	25.58	39
0.83	23.80	8.40	66.35	15.50	23.00	40
0.31	28.00	5.10	97.35	20.60	16.21	41
1.28	28.80	6.32	74.00	20.78	16.34	42
0.55	18.25	6.32	104.10	16.71	16.60	43
0.61	19.20	4.32	101.78	29.32	17.34	44
1.00	17.83	5.25	63.77	12.89	19.00	45
1.00	21.03	5.23	63.00	22.28	18.97	46
0.61	28.00	4.80	83.90	13.72	18.77	47
0.63	17.56	5.78	90.20	13.10	19.30	48
1.12	18.31	5.96	84.00	17.12	19.37	49
0.53	12.92	5.42	83.10	14.99	25.27	50
0.25	10.35	3.75	50.78	7.75	12.34	حداقل Min
1.50	28.91	45.00	183.50	23.71	26.71	حداکثر Max
0.73±0.31	19.26±5.65	7.54±4.74	80.23±23.91	14.3±06.48	19.4±06.34	میانگین Average

انزلی به ترتیب برابر ۷۴/۱۵، ۰/۶۷ و ۱۲/۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آوردند (Galangash et al., 2022). Huang et al. (2020) غلظت فلزات سرب، روی، نیکل، کروم، کادمیوم و آرسنیک را در رسوبات تالاب Huixian چین به ترتیب ۴۲/۲۲، ۱۲۵/۴۳، ۴۰/۱۶، ۱۷/۶۲، ۰/۲۵ و ۴/۱۸ میلی گرم بر کیلوگرم بدست آوردند که مقادیر فلزات سرب، روی، نیکل، کروم در رسوبات تالاب Huixian نسبت به تالاب انزلی بیشتر می‌باشد (Huang et al., 2020). همچنین میانگین غلظت‌های کروم، آرسنیک، نیکل، سرب و روی در مطالعه حاضر کمتر از غلظت‌های موجود در رسوبات رودخانه Lijiang بود (Xiao et al., 2021). میانگین غلظت‌های کروم، روی، سرب و کادمیوم در مطالعه حاضر بیشتر از غلظت‌های موجود در رسوبات سواحل جم در استان بوشهر بود (Mirzaei et al., 2020).

اگر چه غلظت و تجمع فلزات در رسوبات تحت تاثیر عوامل نظیر نوع و خصوصیات رسوبات، ساختار و دانه بندی آنها، نوع منابع آلاینده و میزان آلاینده ورودی در محل و زمان - های مختلف، پارامترهای فیزیکی - شیمیایی آب و بستر رسوب، ضریب توزیع و درصد مواد آلی و معدنی موجود در رسوبات قرار دارد (Mirzaei et al., 2020). لذا در مقایسه غلظت فلزات با رسوبات سایر مناطق نیز باید محتاط بود. مقایسه غلظت فلزات تالاب انزلی با سایر بوم - سازگان آبی جهان حاکی از آن بود غلظت این فلزات در محدوده مقادیر اندازه‌گیری شده در سایر رسوبات است که بسته به نوع فلز زمان و محل اندازه‌گیری آن ممکن است از غلظت فلز اندازه‌گیری شده کمتر یا بیشتر باشد (جدول، ۴). Mohamadi et al. (2022) میانگین غلظت فلزات روی کادمیوم سرب را در رسوبات تالاب بخش غربی

جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت کلی فلزات در رسوبات با مناطق جغرافیایی مختلف (mg/kg)
Table 4. Comparison of heavy metal levels in sediment samples with various geographical locations (mg/kg)

منبع References	As	Cd	Cr	Ni	Zn	Pd	مکان Location
(Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2013)	-	0.38	51.1	81.1	125.4	27.6	تالاب انزلی
(Esmailzadeh <i>et al.</i> , 2013)	20	0.38	118	89	120	24	تالاب انزلی
(Kükre, 2018)	4.18	0.25	19.34	24.38	38.84	-	Aygir (ترکیه)
(Huang <i>et al.</i> , 2020)	17.62	0.67	17.62	40.16	125.43	42.22	Huixian (چین)
(Galangash, 2022)	-	0.57	-	-	74.15	12.05	تالاب انزلی
(Mirzaei <i>et al.</i> , 2020)	-	0.53	18.89	20.13	48.83	9.51	سواحل جم (بوشهر)
(Haghshenas <i>et al.</i> , 2017)	-	0.17	72	52	95	19	میانگین جهانی رسوبات
(ISQG, 1995)	7.24	0.68	52.3	15.90	124	30.20	ISQG
(Bowen, 1979)	1.5	0.11	100	80	75	12	پوسته زمین
	7.54±4.74	0.73±0.31	19.4±06.34	19.26±5.65	80.23±23.91	14.3±06.48	تالاب انزلی

شاخص‌های محیط زیستی

شاخص‌های درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی

نتایج بررسی شاخص درجه آلودگی (Cd) فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های مختلف تالاب نشان داد ضریب درجه آلودگی (Cd) فلزات کروم، سرب، روی، آرسنیک، نیکل و کادمیوم در محدوده ۴/۲۶ تا ۹/۶۴ قرار دارد از نظر وضعیت آلودگی رسوبات منطقه در درجات مختلف به این فلزات آلوده هستند به گونه ای که ۳۳ درصد ایستگاه‌ها از نظر درجه آلودگی در وضعیت متوسط و ۶۷ درصد دارای ضریب درجه آلودگی پایین بودند ($Cd < 6$). از سوی دیگر نتایج نشان داد در بخش غربی تالاب نسبت به سایر بخش‌های غلظت فلزات به مراتب بیشتر بوده است با توجه به اینکه بخش در منطقه ای با حجم عظیم فعالیت های انسانی واقع شده است و رودخانه‌های پیربازار به این بخش می‌ریزد، می‌توان استنباط نمود سطح بالای فعالیت‌های شهری همراه با فعالیت‌های کشاورزی و قایق‌رانی باعث تجمع بیشتر فلزات سنگین در این منطقه و در نتیجه افزایش ضریب آلودگی شده است (Esmailzadeh *et al.*, 2016).

محاسبه شاخص بار آلودگی فلزات در رسوبات تالاب انزلی

حاکی از آن بود که مقادیر PLI برای ۹۸ درصد ایستگاه‌ها کمتر از مقدار واحد یک بوده است. این امر بیانگر آلودگی کم رسوبات منطقه به فلزات سنگین است و همچنین بیشترین میزان بار آلودگی رسوبات در ایستگاه های واقع شده در بخش غربی تالاب اندازه گیری شد (شکل، ۲). مقادیر بالای شاخص جامع اکولوژیکی PLI نشان از پیشرفت شرایط بد آلودگی و در نتیجه کیفیت پایین رسوبات تالاب به علت حضور فلزات سنگین در این بخش دارد. یافته های پهنه بندی توزیع پراکنش مکانی شاخص درجه و بار آلودگی فلزات با روش وزن دهی معکوس نشان داد درجه و بار آلودگی فلزات در رسوبات منطقه از الگوی مشخصی پیروی نمی‌کند و نوساناتی در بخشهای مختلف تالاب مشاهده می‌شود و به ترتیب لکه‌های داغ و سرد (بیشترین و کمترین مقدار) در نواحی غربی و شرقی تالاب مشاهده شد. الگوهای پهنه‌بندی روی در دو بخش شرق و غرب به ترتیب بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده است (شکل، ۲). تغییرات درجه آلودگی و غلظت عناصر کادمیوم و روی محدوده غلظت وسیع و ضرایب تغییرات بالایی را نشان دادند که نشان می‌دهد این دو فلز ممکن است به منابع انسانی نسبت داده شوند. این مطلب بیانگر

مقادیر RI به طور قابل توجهی بین سایت های نمونه گیری متفاوت بود (از ۱۷۱/۵۴ تا ۳۷/۱۲ در سایت های مختلف)، با توجه به طبقه بندی مقادیر RI خطر محیط زیستی این فلزات در رسوبات منطقه کم تا متوسط ارزیابی می شود (جدول ۵). پهنه بندی توزیع پراکنش مکانی شاخص خطر محیط زیستی فلزات در تالاب با روش وزندهی معکوس حاکی از آن بود مقادیر شاخص در رسوبات منطقه از الگوی مشخصی پیروی نمی کند، به گونه ای که بیشتر مقادیر در منطقه غربی و سیاه کشیم مشاهده شد (شکل ۲). خطرات بالای مرتبط با کادمیوم و آرسنیک نیز برای رودخانه Zijiang در چین و رودخانه Huojing در تایوان گزارش شده است (Vu *et al.*, 2017; Xiao *et al.*, 2021). خطرات بالای کادمیوم و آرسنیک علاوه بر انتقال آسان و انحلال کادمیوم در رسوبات نشان دهنده تاثیر منابع انسانی، به ویژه کود و سموم کشاورزی است (Xiao *et al.*, 2021). نتایج محاسبه ریسک یکپارچه سمیت TRI فلزات سنگین نشان نشان داد مقادیر TRI برای تمام ایستگاه ها کمتر از ۱۰ است. این امر بیانگر سمیت پایین و ناچیز رسوبات تالاب به فلزات سنگین است.

تاثیر منابع انسانی است، چرا که این فلزات بیشتر از تخلیه پساب های صنعتی، خانگی و رواناب شهری ناشی می شوند (Mortazavi and Sabrinasab, 2017).

ارزیابی خطر اکولوژیکی و ریسک سمیت یکپارچه فلزات

یافته های محاسبه خطر اکولوژیکی (Er) و محیط زیستی (RI) آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی نشانگر نشا خطر اکولوژیکی فلزات کروم، سرب، روی، نیکل و آرسنیک با توجه به کمتر از ۴۰ بودن مقدار عدد شاخص E_r^I آنها این فلزات خطر اکولوژیکی پایینی دارد (طبقه خطر پایین قرار و $E_r^I < 40$) (جدول ۵). فلز کادمیوم از نظر خطر اکولوژیکی در ایستگاه های مختلف در محدود ۱۵۵/۵۳ - ۲۴/۴۸ قرار داشت که این امر نشان از خطر اکولوژیکی کم تا قابل ملاحظه این فلز در رسوبات منطقه می باشد. خطر اکولوژیکی فلز کادمیوم در ۵ درصد نمونه ها پایین، ۶۳ در درصد نمونه ها متوسط و در نهایت ۳۲ درصد نمونه ها خطر در سطح قابل ملاحظه ارزیابی شد. براساس محاسبات صورت گرفته بیشترین و کمترین خطر اکولوژیکی به ترتیب مربوط به فلز کادمیوم و کروم بود. محاسبه شاخص خطر محیط زیستی (RI) فلزات نشان داد

جدول ۵- نتایج محاسبه شاخص های خطر اکولوژیکی (Er) و خطر محیط زیستی (RI)، ریسک یکپارچه سمیت (TRI) فلزات اندازه گیری شده در رسوبات سطحی

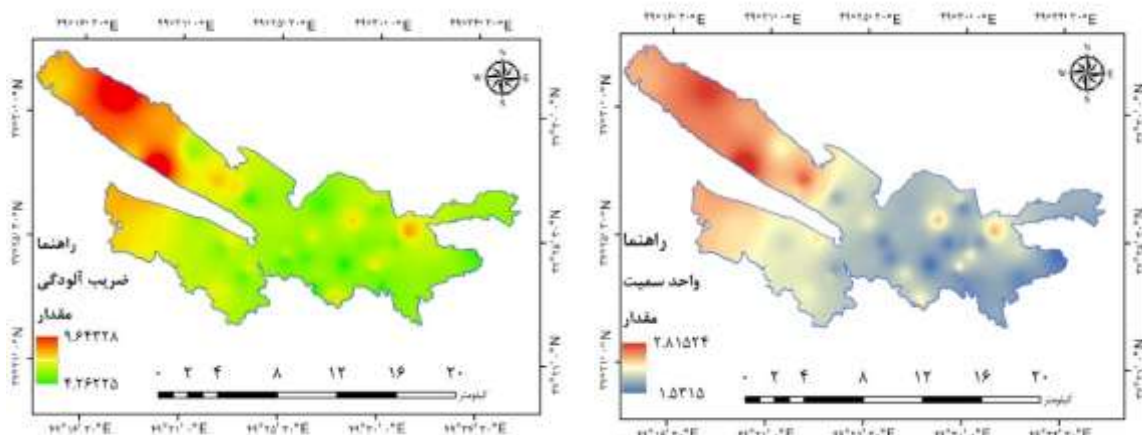
Table 5. Potential ecological risk (Er), and Risk Index (RI) Integrated toxic risk (TRI) values calculated for metals surface sediment

TR I	RI	Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	ایستگاه Station	موقعیت Loction
4.15	54.93	40.26	2.57	5.19	0.74	5.69	0.48	1	سیاهکشیم Siahkeshim
4.69	95.81	81.32	2.49	4.87	0.73	5.93	0.48	2	
4.37	75.59	63.16	2.60	5.19	0.78	3.32	0.54	3	
4.07	109.70	100.26	1.89	2.79	0.74	3.56	0.46	4	
3.99	52.82	39.47	2.39	5.34	0.74	4.38	0.50	5	
4.57	99.29	86.84	2.35	5.19	0.73	3.69	0.48	6	
4.31	90.27	78.95	2.38	4.87	0.73	2.88	0.46	7	
4.80	93.01	78.95	1.80	7.47	0.93	3.31	0.56	8	
5.19	112.82	98.68	2.28	7.35	0.74	3.19	0.58	9	
4.39	72.63	59.21	2.40	4.71	1.19	4.69	0.43	10	
3.52	70.12	59.21	1.50	3.73	0.92	4.44	0.32	11	بخش شرقی Eastern
3.44	69.65	60.00	1.50	3.82	0.93	3.08	0.33	12	
3.71	70.39	60.00	1.71	3.68	1.13	3.50	0.38	13	
3.35	70.67	60.79	1.45	2.77	0.93	4.40	0.33	14	
3.63	67.94	56.84	1.53	4.68	0.93	3.63	0.33	15	
3.60	69.25	59.21	1.80	3.57	1.00	3.32	0.35	16	
4.39	88.90	77.37	1.98	4.22	1.14	3.63	0.58	17	
4.87	93.45	78.16	2.39	5.52	0.95	5.93	0.50	18	

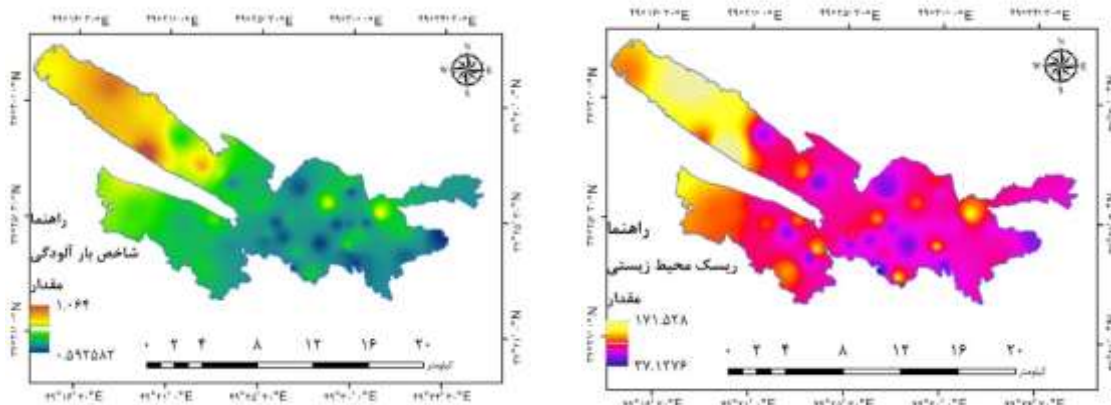
ادامه جدول ۵- نتایج محاسبه شاخص‌های خطر اکولوژیکی (Er) و خطر محیط زیستی (RI)، ریسک یکپارچه سمیت (TRI) فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات سطحی

Table 5. Cont. Potential ecological risk (Er), and Risk Index (RI) Integrated toxic risk (TRI) values calculated for metals surface sediment

TRI	RI	Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	ایستگاه Station	موقعیت Loction
5.10	112.91	98.68	2.40	5.19	1.10	5.07	0.47	19	
4.78	108.62	96.32	2.08	5.00	1.01	3.68	0.54	20	
3.73	75.30	64.74	1.89	3.71	0.87	3.72	0.37	21	
3.65	64.60	53.68	1.68	4.35	0.99	3.53	0.38	22	
4.25	75.66	63.16	2.28	5.14	0.88	3.73	0.47	23	
3.65	57.10	47.37	1.43	3.10	1.10	3.72	0.38	24	
3.28	78.10	65.53	2.48	4.48	0.93	4.20	0.49	25	
4.33	51.53	39.47	2.20	4.36	0.75	4.25	0.50	26	
3.70	99.95	86.84	2.31	4.74	1.03	4.43	0.60	27	
4.82	86.72	71.84	2.75	5.72	1.47	4.23	0.71	28	
5.32	60.19	47.37	2.48	4.10	1.24	4.38	0.62	29	
4.31	116.04	102.63	2.67	4.42	1.00	4.73	0.59	30	
5.16	94.56	82.11	2.51	4.12	1.13	4.19	0.50	31	
4.66	167.83	152.37	2.23	7.06	1.14	4.45	0.58	32	
6.28	95.97	82.11	2.64	5.05	1.10	4.53	0.54	33	
4.95	111.85	98.68	2.24	4.02	1.94	4.33	0.64	34	
5.38	90.85	75.79	2.58	5.68	1.26	4.94	0.61	35	
5.14	171.54	155.53	2.77	6.17	1.35	5.14	0.59	36	
6.58	80.40	66.32	2.23	5.34	1.03	4.82	0.67	37	
4.68	76.23	63.16	2.28	3.99	1.02	5.30	0.49	38	
4.27	108.27	94.64	2.14	5.18	1.18	4.56	0.57	39	
4.34	78.45	65.53	2.38	5.45	0.70	3.88	0.51	40	
3.65	37.12	24.47	2.80	3.31	1.02	5.15	0.36	41	
4.86	114.37	101.05	2.88	4.10	0.78	5.20	0.36	42	
3.62	54.99	43.42	1.83	4.10	1.10	4.18	0.37	43	
3.77	61.67	48.16	1.92	2.81	1.07	7.33	0.39	44	
3.72	88.46	78.95	1.78	3.41	0.67	3.22	0.42	45	
4.07	91.10	78.95	2.10	3.40	0.66	5.57	0.42	46	
3.78	58.81	48.16	2.80	3.12	0.88	3.43	0.42	47	
3.51	59.90	49.74	1.76	3.75	0.95	3.28	0.43	48	
4.21	99.72	88.42	1.83	3.87	0.88	4.28	0.43	49	
3.26	51.84	41.84	1.29	3.52	0.87	3.75	0.56	50	



شکل ۲- توزیع پراکنش مکانی ضریب آلودگی، خطر محیط زیستی (RI)، پتانسیل سمیت حاد و شاخص بار آلودگی فلزات در تالاب بین المللی انزلی and Pollution Load Fig. 2- Spatial distribution of Degree of contamination, Environmental index (RI), Potential Acute Toxicity Index (PLI) in Anzali International



ادامه شکل ۲- توزیع پراکنش مکانی ضریب آلودگی، خطر محیط زیستی (RI)، پتانسیل سمیت حاد و شاخص بار آلودگی فلزات در تالاب بین المللی انزلی

Fig. 2- Cont. Spatial distribution of Degree of contamination, Environmental index (RI), Potential Acute Toxicity and Pollution Load Index (PLI) in Anzali International Wetland

ج- شاخص پتانسیل سمیت حاد فلزات و ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ)

یافته‌های محاسبه پتانسیل سمیت حاد فلزات سنگین و ارزیابی خطر اصلاح شده در جدول (۶) آورده شده است. نتایج ارزیابی پتانسیل سمیت حاد فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی بیان کننده از آنست که میزان پتانسیل سمیت حاد فلزات در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه کمتر از ۴ بوده که این امر نشان از عدم وجود سمیت حاد در رسوبات منطقه است. همچنین نتایج شاخص ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ) فلزات حاکی از آن بود فلزات برای فلز کروم نشان داد میزان ارزیابی خطر اصلاح شده در محدوده ۰/۸۱-۱/۲۳ یعنی در طبقه خطر پایین و متوسط؛ میزان سرب در طبقات پایین تا متوسط

جدول ۶- نتایج مقادیر شاخص پتانسیل سمیت حاد و ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ) فلزات در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی

۱/۱۳ - ۰/۷۱)؛ فلز روی در طبقات پایین تا خطر قابل ملاحظه (۰/۸۹ - ۱/۵۲)؛ فلزات نیکل و آرسنیک در طبقه خطر متوسط و قابل ملاحظه؛ کادمیوم در طبقه خطر خیلی پایین یا خیلی پایین قرار دارد (۰/۸۹ - ۰/۳۵). مطالعات متعدد حاکی از آن است برخی عناصر نظیر کادمیوم، سرب و کروم در سطوح پایین اثرات سمی بر روی زیست‌مندان ایجاد می کنند و مقادیر غلظت با سطوح بالا عملکرد اکولوژیکی محیط‌های آبی تحت تاثیر قرار دهند (Nazarpour et al., 2017). از این رو کاهش سطوح فلزات سنگین در محیط و ارزیابی غلظت آنها در اندام‌های مختلف موجودات زنده بویژه زنجیره غذایی بوم‌سازگان‌های آبی مورد استفاده انسان به منظور جلوگیری از خطر بالقوه این آلاینده‌ها در محیط زیست باید مورد توجه قرار گیرد.

Table 6. Results of potential acute toxicity and Modified hazard quotient (mHQ) of metals in surface sediments of Anzali International Wetland

ارزیابی خطر اصلاح شده Modified hazard quotient(mHQ)							پتانسیل سمیت حاد potential acute toxicity						ایستگاه	موقعیت
Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	Tu	Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	Station	Loction
0.45	1.58	1.44	0.94	1.00	1.01	2.04	0.15	0.71	0.47	0.22	0.25	0.24	1	
0.64	1.55	1.39	0.93	1.02	1.01	2.14	0.29	0.69	0.44	0.22	0.26	0.24	2	
0.57	1.59	1.44	0.96	0.76	1.07	2.07	0.23	0.72	0.47	0.24	0.15	0.27	3	
0.71	1.35	1.05	0.94	0.79	0.98	1.75	0.36	0.53	0.25	0.22	0.16	0.23	4	
0.45	1.52	1.46	0.94	0.87	1.03	1.95	0.14	0.66	0.48	0.22	0.19	0.25	5	سیاهکشیم
0.67	1.51	1.44	0.93	0.80	1.01	2.06	0.31	0.65	0.47	0.22	0.16	0.24	6	Siahkeshim
0.63	1.52	1.39	0.93	0.71	0.99	1.96	0.29	0.66	0.44	0.22	0.13	0.23	7	
0.63	1.32	1.72	1.05	0.76	1.08	2.16	0.29	0.50	0.68	0.28	0.15	0.27	8	
0.71	1.48	1.71	0.94	0.75	1.11	2.31	0.36	0.63	0.67	0.22	0.14	0.29	9	

ادامه جدول ۶- نتایج مقادیر شاخص پتانسیل سمیت حاد و ارزیابی خطر اصلاح شده (mHQ) فلزات در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی
Table 6. Cont. Results of potential acute toxicity and Modified hazard quotient (mHQ) of metals in surface sediments of Anzali International Wetland

ارزیابی خطر اصلاح شده Modified hazard quotient(mHQ)							پتانسیل سمیت حاد potential acute toxicity						ایستگاه Station	موقعیت Loction
Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr	Tu	Cd	Ni	As	Zn	Pb	Cr		
0.55	1.52	1.37	1.19	0.90	0.95	2.08	0.21	0.67	0.43	0.36	0.21	0.21	10	
0.55	1.20	1.22	1.05	0.88	0.82	1.60	0.21	0.42	0.34	0.28	0.19	0.16	11	
0.55	1.20	1.23	1.05	0.73	0.83	1.56	0.22	0.42	0.35	0.28	0.13	0.16	12	
0.55	1.28	1.21	1.16	0.78	0.90	1.71	0.22	0.47	0.33	0.34	0.15	0.19	13	
0.56	1.18	1.05	1.05	0.88	0.83	1.51	0.22	0.40	0.25	0.28	0.19	0.16	14	
0.54	1.22	1.37	1.05	0.79	0.83	1.66	0.21	0.43	0.42	0.28	0.16	0.16	15	
0.55	1.32	1.19	1.09	0.76	0.86	1.66	0.21	0.50	0.32	0.30	0.15	0.17	16	
0.63	1.38	1.30	1.16	0.79	1.11	2.00	0.28	0.55	0.38	0.34	0.16	0.29	17	بخش شرقی Eastern
0.63	1.52	1.48	1.06	1.02	1.03	2.24	0.28	0.66	0.50	0.29	0.26	0.25	18	
0.71	1.52	1.44	1.14	0.94	1.00	2.28	0.36	0.67	0.47	0.33	0.22	0.23	19	
0.70	1.42	1.41	1.09	0.80	1.07	2.11	0.35	0.58	0.45	0.30	0.16	0.27	20	
0.57	1.35	1.22	1.02	0.81	0.89	1.70	0.23	0.52	0.34	0.26	0.16	0.18	21	
0.52	1.27	1.32	1.09	0.78	0.89	1.99	0.23	0.63	0.47	0.27	0.16	0.23	22	
0.57	1.48	1.43	1.02	0.81	1.00	1.63	0.25	0.44	0.31	0.27	0.17	0.19	23	
0.49	1.18	1.11	1.15	0.81	0.89	1.53	0.17	0.40	0.28	0.33	0.16	0.19	24	
0.58	1.55	1.34	1.05	0.86	1.02	2.04	0.24	0.69	0.41	0.28	0.18	0.24	25	
0.45	1.46	1.32	0.94	0.86	1.03	1.81	0.14	0.61	0.39	0.23	0.19	0.25	26	
0.67	1.49	1.37	1.11	0.88	1.13	2.19	0.31	0.64	0.43	0.31	0.19	0.30	27	
0.61	1.63	1.51	1.32	0.86	1.23	2.52	0.26	0.76	0.52	0.44	0.19	0.35	28	
0.49	1.55	1.28	1.21	0.87	1.15	2.10	0.17	0.69	0.37	0.37	0.19	0.31	29	
0.72	1.61	1.33	1.09	0.91	1.12	2.32	0.37	0.74	0.40	0.30	0.21	0.29	30	
0.65	1.56	1.28	1.16	0.85	1.03	2.14	0.30	0.70	0.37	0.34	0.18	0.25	31	
0.88	1.47	1.68	1.17	0.88	1.11	2.64	0.55	0.62	0.64	0.34	0.19	0.29	32	بخش غربی Western
0.65	1.60	1.42	1.15	0.89	1.07	2.29	0.30	0.73	0.46	0.33	0.20	0.27	33	
0.71	1.47	1.27	1.52	0.87	1.16	2.43	0.36	0.62	0.36	0.58	0.19	0.32	34	
0.62	1.58	1.50	1.22	0.93	1.13	2.40	0.27	0.72	0.51	0.38	0.22	0.30	35	
0.89	1.64	1.57	1.27	0.95	1.12	2.82	0.56	0.77	0.56	0.41	0.22	0.29	36	
0.58	1.47	1.46	1.11	0.92	1.19	2.19	0.24	0.62	0.48	0.31	0.21	0.33	37	
0.57	1.48	1.26	1.10	0.96	1.02	2.00	0.23	0.63	0.36	0.31	0.23	0.24	38	
0.69	1.44	1.44	1.18	0.89	1.10	2.24	0.34	0.60	0.47	0.36	0.20	0.28	39	
0.58	1.52	1.47	0.91	0.82	1.04	2.03	0.24	0.66	0.49	0.21	0.17	0.25	40	
0.35	1.65	1.15	1.10	0.95	0.87	1.88	0.09	0.78	0.30	0.31	0.23	0.18	41	
0.72	1.67	1.28	0.96	0.95	0.88	2.18	0.37	0.80	0.37	0.23	0.23	0.18	42	
0.52	1.33	1.25	0.90	0.68	0.92	1.73	0.16	0.51	0.37	0.33	0.18	0.18	43	
0.50	1.36	1.06	1.13	1.13	0.90	1.80	0.17	0.53	0.25	0.32	0.32	0.19	44	
0.63	1.31	1.17	0.89	0.75	0.95	1.64	0.29	0.50	0.31	0.20	0.14	0.21	45	بخش مرکزی Central
0.63	1.43	1.16	0.89	0.98	0.94	1.83	0.29	0.58	0.31	0.20	0.24	0.21	46	
0.50	1.65	1.11	1.03	0.77	0.94	1.86	0.17	0.78	0.28	0.27	0.15	0.21	47	
0.50	1.30	1.22	1.06	0.76	0.95	1.65	0.18	0.49	0.34	0.29	0.14	0.21	48	
0.67	1.33	1.24	1.03	0.86	0.95	1.85	0.32	0.51	0.35	0.27	0.19	0.21	49	
0.46	1.12	1.18	1.02	0.81	1.09	1.53	0.15	0.36	0.32	0.26	0.16	0.28	50	

نتیجه گیری

خطرات زیست محیطی خیلی کم تا متوسط برای زیست-مندان شوند، در حالی که برخی دیگر ممکن است حتی در سطوح پایین سمیت نسبتاً بالایی داشته باشند از اینرو ارزیابی غلظت و سمیت آنها از اهمیت بسیار بالایی دارند. در این راستا میانگین کلی غلظت فلزات به ترتیب بصورت روی، کروم، نیکل، سرب، آرسنیک و کامیوم در تالاب انزلی اندازه گیری شد. از مهمترین منابع احتمالی این آلاینده ها می توان به فعالیت های شدید انسانی ناشی نظیر تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی، رواناب شهری و

در محیط های آبی، فلزات سنگین به طور طبیعی وجود دارند و برای بسیاری از فرآیندهای بیولوژیکی مهم هستند. اما به دنبال توسعه فعالیتهای گسترده انسانی در بوم سازگان های آبی و خشکی مقادیر زیادی از این آلاینده ها همراه فاضلاب، رواناب های کشاورزی و شهری، فعالیتهای حمل و نقل، فرونشست ذرات معلق و ... به محیط های آبی تخلیه می شود. برخی فلزات ممکن است در سطوح بسیار پایین وجود داشته باشند که باعث ایجاد

محدودیت‌های زمانی و مالی، عدم مطالعه‌ی سایر بخش‌های بوم‌سازگان نظیر آب، موجودات زنده گیاهی و جانوری پیشنهاد می‌شود مطالعه‌ی جامعی در خصوص منشایابی فلزات سنگین در منطقه، غلظت فلزات در بخش‌های مختلف ژئوشیمیایی رسوبات و همچنین ارزیابی خطر سلامتی ناشی از آنها بواسطه مصرف موجودات آبی رودخانه و تولیدات کشاورزی منطقه صورت گیرد. یافته‌های این مطالعه اطلاعات دقیقی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای ارزیابی سطح آلودگی محلی و ایجاد اقدامات منطقی حفاظت از محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.

پی‌نوشت

¹PTFE; Polytetrafluoroethylene

Al-Taani, A.A., Batayneh, A.T., El-Radaideh, N., Ghrefat, H., Zumlot, T., Al-Rawabdeh, A.M., Al-Momani, T. and Taani, A., 2015. Spatial distribution and pollution assessment of trace metals in surface sediments of Ziqlab Reservoir. Jordan. Environmental monitoring and assessment. 187(2), 1-14.

ALabdeh, D., Karbassi, A.R., Omidvar, B. and Sarang, A., 2020. Speciation of metals and metalloids in Anzali wetland, Iran. International Journal of Environmental Science and Technology. 17(3), 1411-1424.

Alahabadi, A. and Malvandi, H., 2018. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals and metalloids in surface sediments of the Tajan River. Iran. Marine Pollution Bulletin. 133, 741-749.

Ali, M.M., Ali, M.L., Islam, M.S. and Rahman, M.Z., 2016. Preliminary assessment of heavy metals in water and sediment of Karnaphuli River, Bangladesh. Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management. 5, 27-35.

کشاورزی نواحی اطراف تالاب، حمل و نقل، ریزش‌های نفتی و آلودگی ناشی از سایر منابع آبی تغذیه کننده تالاب اشاره نمود. براساس یافته‌های می‌توان نتیجه گرفت اگرچه از نظر سمیت حاد و بار آلودگی رسوبات تالاب انزلی تا حدودی در وضعیت کم خطر و ریسک پایین ناشی از فلزات قرار دارند. اما براساس نتایج مخاطره محیط زیستی فلزات Cd و As و همچنین فلزات کم خطر باید دائماً پایش شوند زیرا تغییرات در شرایط هیدرولیکی و فعالیت انسانی می‌تواند غلظت فلزات را افزایش دهد. علاوه بر این، تکنیک‌های کنترل آلودگی فلزات سنگین بخصوص باید برای کادمیوم و آرسنیک در بخش‌های شرقی تالاب اتخاذ شود. همچنین قابل ذکر است باتوجه

منابع

Benson, N.U., Adedapo, A.E., Fred-Ahmadu, O.H., Williams, A.B., Udosen, E.D., Ayejuyo, O.O. and Olajire, A.A., 2018. A new method for assessment of sediment-associated contamination risks using multivariate statistical approach. MethodsX. 5, 268-276.

Bowen, H.J.M., 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic press.

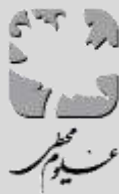
Ekoa Bessa, A.Z., Nguetouchoua, G., Kwewouo Janpou, A., El-Amier, Y.A., Njike Njome Mbella Nguetnga, O.A., Kankeu Kayou, U.R., Bisse, S.B., Ngo Mapuna, E.C. and Armstrong-Altrin, J.S., 2021. Heavy metal contamination and its ecological risks in the beach sediments along the Atlantic Ocean (Limbe coastal fringes, Cameroon). Earth Systems and Environment. 5(2), 433-444.

Esmailzadeh, M., Karbassi, A. and Moattar, F., 2016. Assessment of metal pollution in the Anzali Wetland sediments using chemical partitioning method and pollution indices. Acta Oceanologica Sinica. 35, 28-36.

- Galangash, M.M., 2022. Zonation of heavy metal distribution of surface sediments in Anzali wetland Using Geographical Information System (GIS). *Iranian Journal of Research in Environmental Health*. Winter. 7(4), 323-331. (In Persian with English abstract).
- Haghshenas, A., Hatami-manesh, M., Mirzaei, M., Mir Sanjari, M. and 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, 448-469.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research*. 14(8), 975-1001.
- Huang, L., Rad, S., Xu, L., Gui, L., Song, X., Li, Y., Wu, Z. and Chen, Z., 2020. Heavy metals distribution, sources, and ecological risk assessment in Huixian wetland, South China. *Water*. 12, 431-344.
- Jamshidi-Zanjani, A. and Saeedi, M., 2013. Metal pollution assessment and multivariate analysis in sediment of Anzali international wetland. *Environmental Earth Sciences*. 70, 1791-1808.
- Kükreker, S., 2018. Vertical and horizontal distribution, source identification, ecological and toxic risk assessment of heavy metals in sediments of Lake Aygır, Kars, Turkey. *Environmental Forensics*. 19(2), 122-133.
- Lao, Q., Su, Q., Liu, G., Shen, Y., Chen, F., Lei, X., Qing, S., Wei, C., Zhang, C. and Gao, J., 2019. Spatial distribution of and historical changes in heavy metals in the surface seawater and sediments of the Beibu Gulf, China. *Marine pollution bulletin*. 146, 427-434.
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G. and Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 39, 20-31.
- Mandour, A., El-Sayed, M.K., El-Gamal, A.A., Khadr, A.M. and Elshazly, A., 2021. Temporal distribution of trace metals pollution load index in the Nile Delta coastal surface sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 167, 112290. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112290>.
- Mirzaei, M., Hatamimanesh, M., Haghshenas, A., Moghaddam, S.M., Ozunu, A. and Azadi, H., 2020. Spatial-seasonal variations and ecological risk of heavy metals in Persian Gulf coastal region: case study of Iran. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 18, .91-105.
- Mortazavi, S. and Saberinasab, F., 2017. Zoning concentration and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Mighan wetland. *Iranian journal of Ecohydrology*. 4(2),533-545. (In Persian with English abstract).
- Mortazavi, S. and HatamiManesh, M., 2018. Determination of heavy metals pollution load index in sediments and aquatic plant (*Nasturtium microphyllum*) in Bashar river, Yasuj. *Journal of Environmental Health Engineering*. 5(2), 157-172.
- Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Babaenejad, T., 2017. Evaluation of the level of pollution and potential ecological risk of some heavy metals in surface soils in the Ahvaz oil-field. *Iranian Journal of Health and Environment*. 10, 391- 400.
- Pedersen, F., Bjørnstad, E., Andersen, H.V., Kjølholt, J. and Poll, C., 1998. Characterization of sediments from Copenhagen Harbour by use of biotests. *Water Science and Technology*. 37, 233-240.
- Rahman, S.H., Khanam, D., Adyel, T.M., Islam, M.S., Ahsan, M.A. and Akbor, M.A., 2012.

- Assessment of heavy metal contamination of agricultural soil around Dhaka Export Processing Zone (DEPZ), Bangladesh: implication of seasonal variation and indices. *Applied sciences*. 2, 584-601.
- Suresh, G., Sutharsan, P., Ramasamy, V. and Venkatachalapathy, R., 2012. Assessment of spatial distribution and potential ecological risk of the heavy metals in relation to granulometric contents of Veeranam lake sediments, India. *Ecotoxicology and environmental safety*. 84, 117-124.
- Talukder, R., Rabbi, M.H., Baharim, N.B. and Carnicelli, S., 2022. Source identification and ecological risk assessment of heavy metal pollution in sediments of Setiu wetland, Malaysia. *Environmental Forensics*. 23,241-254.
- Tomlinson, D.L., Wilson, J.G., Harris, C.R. and Jeffrey, D.W., 1980. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. *Helgoländer meeresuntersuchungen*. 33, 566-575.
- Vatandoost, M., Naghipour, D., Omid, S. and Ashrafi, S.D., 2018. Survey and mapping of heavy metals in groundwater resources around the region of the Anzali International Wetland; a dataset. *Data in Brief*, 18,463-469.
- Vu, C.T., Lin, C., Shern, C.C., Yeh, G. and Tran, H.T., 2017. Contamination, ecological risk and source apportionment of heavy metals in sediments and water of a contaminated river in Taiwan. *Ecological indicators*. 82,32-42.
- Wang, J., Liu, W., Yang, R., Zhang, L. and Ma, J., 2013. Assessment of the potential ecological risk of heavy metals in reclaimed soils at an opencast coal mine. *Disaster Advances*. 6 ,366-77.
- Xiao, H., Shahab, A., Xi, B., Chang, Q., You, S., Li, J., Sun, X., Huang, H. and Li, X., 2021. Heavy metal pollution, ecological risk, spatial distribution, and source identification in sediments of the Lijiang River, China. *Environmental Pollution*. 269, 116189.
- Yap, C.K., Ismail, A., Tan, S.G. and Omar, H., 2002. Correlations between speciation of Cd, Cu, Pb and Zn in sediment and their concentrations in total soft tissue of green-lipped mussel *Perna viridis* from the west coast of Peninsular Malaysia. *Environment international*. 28,117-126.
- Yi, Y., Yang, Z. and Zhang, S., 2011. 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. *Environmental pollution*. 159(10), 2575-2585.
- Zamani-Ahmadmahmoodi, R., Esmaili-Sari, A., Mohammadi, J., Bakhtiari, A.R. and Savabieasfahani, M., 2013. Spatial distribution of cadmium and lead in the sediments of the western Anzali wetlands on the coast of the Caspian Sea (Iran). *Marine pollution bulletin*. 74, 464-470.
- Zhang, G., Bai, J., Zhao, Q., Lu, Q., Jia, J. and Wen, X., 2016. Heavy metals in wetland soils along a wetland-forming chronosequence in the Yellow River Delta of China: levels, sources and toxic risks. *Ecological Indicators*. 69, 331-339.





Environmental Sciences Vol.20 / No.4 / Winter 2023

163-182

Original Article

Evaluation of Toxicity Potential and Spatial Distribution of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Anzali International Wetland Using GIS

Zhaleh Amini,^{1*} Reza Anvaripour,¹ Masoud Hatami-Manesh¹ and Jaber Aazami²

¹ Department of Wetlands Ecosystem Management and Planning, Conservation and Rehabilitation of Wetlands Bureau, Department of Environment (DoE), Tehran, Iran

² Department of Environmental Sciences, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2022.05.17 Accepted: 2022.06.11

Amini, Zh., Anvaripour, R., Hatami-Manesh, M. and Aazami, J., 2023. Evaluation of Toxicity Potential and Spatial Distribution of Ecological Risk of Heavy Metals in Surface Sediments of Anzali International Wetland Using GIS. *Environmental Sciences*. 20(4): 163-182.

Introduction: Due to the potential toxicity and ecological risk of heavy metals in aquatic ecosystems, measuring and evaluating their concentration in different parts of aquatic environments is very necessary. Therefore, the present study measures the concentrations of Cd, Cr, Pb, Ni, As and Zn and evaluates the spatial distribution of their ecological risk in the surface sediments of Anzali International Wetland.

Material and methods: 50 stations in different parts of the wetland were selected for sampling. After preparation and acid digestion of samples, the concentrations of these metals were determined by an atomic absorption spectrometer. In order to zoning the toxicity and ecological risk of metals, the inverse distance weighting (IDW) method was used.

Results and discussion: The total mean concentrations of metals were Zn (79.24 71 6.71), Cr (19.4 21 21.04), Ni (18.96 62 5.62), Pb (13.3 72 72.50), As (7.62 96 4.96) and Cd (1.12 ± 3.16) mg/kg, respectively. Investigation of potential acute toxicity, RI, mHQ and PLI indicated low pollution status in wetland sediments. The environmental risk of the metals in the sediments were evaluated as (Cd> As> Pb> Ni> Zn> Cr). In addition, the distribution of toxicity and ecological risk of metals in different parts of the wetland does not follow the same pattern and the western parts of the wetland have more risks.

* Corresponding Author: *Email Address*. amini@ut.ac.ir

Conclusion: According to the results, Potential acute toxicity, PLI, mHQ and ecological risk of heavy metals in the sediments of the region are assessed as low and medium. The intense expansion of human activities in the areas around the wetland, along with the deposition and entry of various pollutants in this ecosystem, confirms the need for continuous monitoring of the wetland and assessment of its ecological health risk.

Keywords: Ecological Risk, Acute toxicity, Modified hazard quotient, Heavy metals, Anzali wetland.