

بررسی ریسک محیط زیستی فلزات سنگین سرب و کادمیوم با استفاده از مدل Ecofate، مطالعه موردی: تالاب شادگان

سید ایاد محمدی^۱، فاطمه کریمی اورگانی^{۱*}، احمد سواری^۱، سولماز دشتی^۱، آریتا کوشافر^۱

^۱گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
^۲گروه زیست‌شناسی دریایی، دانشکده علوم دریایی و اقیانوسی، دانشگاه علوم و فنون دریایی، خرمشهر، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۱

چکیده

تالاب شادگان بر اثر فعالیت‌های انسانی همواره در معرض آلودگی با فلزات سنگین قرار دارد. هدف از این تحقیق، ارزیابی ریسک محیط زیستی تالاب شادگان ناشی از ورود فلزات سنگین سرب و کادمیوم به تالاب می‌باشد. بدین منظور، از آب و رسوب تالاب نمونه‌برداری شد و به روش جذب اتمی و سیستم کوره گرافیکی با استفاده از دستگاه Perkin Elmer 4100، غلظت فلزات در آب و رسوب اندازه‌گیری شد. نتایج، غلظت سرب و کادمیوم در آب را بالاتر از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) نشان داد و غلظت این دو فلز در رسوب تالاب پایین‌تر از استانداردهای مذکور بود. با استفاده از خروجی‌های مدل اکوفیت (Ecofate)، ارزیابی ریسک با روش کسر ریسک (RQ) انجام شد. براساس نتایج، برای سرب موجود در آب و در رسوب، ریسک متوسط، کادمیوم موجود در آب حداقل ریسک و برای کادمیوم موجود در رسوبات، حداکثر ریسک برآورد شد. ضریب همبستگی پیرسون رابطه قوی و معنی‌دار بین کادمیوم موجود در آب و کادمیوم موجود در رسوب را نشان داد ($P < 0.05$) بنابراین، ریسک اکولوژیک تالاب، ناشی از انباشت این فلز در رسوبات تالاب را به همراه داشته است. بنابراین، ملاحظات محیط زیستی صحیح باید در تالاب شادگان مدنظر قرار گیرد.

کلید واژگان: ارزیابی ریسک، فلزات سنگین، رسوب، مدل اکوفیت، RQ

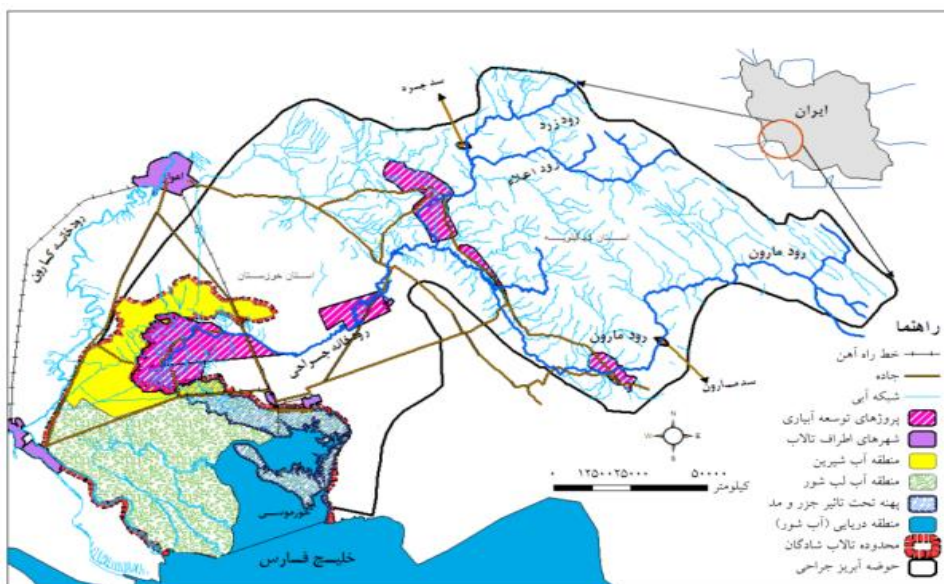
مقدمه

تالاب‌ها با توجه به دارا بودن کاربری‌های مفید چند جانبه، ارزش‌های متنوع و جذابیت‌های خاص، به‌عنوان یکی از خواستگاه‌ها و حامیان تنوع زیستی در کره زمین همواره مورد توجه قرار گرفته‌اند. تخلیهٔ زباله‌های شهری و فاضلاب‌های صنایع، همچنین گسترش فعالیت‌های صنعتی و احیاء اراضی، حریم تالاب‌ها را مورد تهدید قرار داده است و امروزه اکثر تالاب‌های کشور به‌دلایل مختلف تحت فشار می‌باشند (Mohammadi roozbahani et al., 2013). که در این راستا می‌توان به تالاب بین‌المللی شادگان به‌عنوان بزرگترین و مهمترین تالاب بین‌المللی ایران در استان خوزستان اشاره نمود. موقعیت قرارگیری این تالاب به‌سبب نزدیکی به منابع آلاینده‌های نظیر خطوط انتقال نفت، پالایشگاه‌ها، صنایع پتروشیمی و صنایع نیشکر باعث شده که طیف وسیعی از مخاطرات، سلامت این اکوسیستم را مورد تهدید قرار دهند (Heidari Chaharlang et al., 2017). آلودگی محیط‌های آبی به فلزات سنگین و پتانسیل تجمع زیستی این آلاینده‌ها به‌عنوان یک خطر جدی از مدت‌ها پیش مورد توجه کارشناسان محیط زیست قرار گرفته است. پراکندگی زیاد فلزات سنگین در سطح زمین، مصارف مختلف آن‌ها و به‌ویژه خصوصیات سمی این فلزات باعث شده است که این گروه از فلزات جزء مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیستی محسوب شوند (Bala et al., 2008).

از آنجا که برخی فلزات سنگین برای متابولیسم بدن ضروری هستند، برخی از آن‌ها از جمله سرب نقش ناشناخته‌ای در سیستم زیست‌شناختی دارند. د واقع فلزات سنگینی مانند سرب، زئونیوتیک هستند، به این مفهوم که این عناصر برای متابولیسم بدن مورد نیاز نیستند و حتی مقادیر کم آن‌ها نیز برای بدن مضر است (Ebrahimi Sirizi et al., 2012). سرب جزء فلزات سنگین و سمی است که بعد از ورود به طبیعت به سرعت به صورت یون، آزاد شده و وارد بدن موجودات زنده می‌شود. این عنصر

برای تمامی موجودات اعم از میکروارگانیسم‌ها، گیاهان، جانوران و انسان مخاطره‌آمیز است. ورود سرب به بدن از طریق دستگاه گوارش، دستگاه تنفس، پوست و مخاط صورت می‌گیرد و اثرات زیانباری بر جا می‌گذارد. ورود فاضلاب شهری، استفاده از فاضلاب برای کشاورزی و نشست آن، زه‌آب صنایع و مصرف آفت‌کش‌ها از عوامل آلودگی تالاب به سرب است (Burger et al., 2002).

کادمیوم فلزی سنگین و سمی است که جذب مقدار بیش از حد آن در بدن باعث ایجاد اختلال در سیستم گردش خون و کلیه‌ها می‌شود و افزایش فشار خون، تخریب کلیه‌ها، تخریب بافت‌های بیضه و تخریب گلبول‌های قرمز، برونشیت و آمفیوزم مزمن از جمله عوارض سوء ناشی از کادمیوم است. به بیماری ناشی از کادمیوم در ژاپن ایتای-ایتای می‌گویند (WHO, 2002). با توجه به اینکه این فلز بیشتر از طریق سموم شیمیایی و یا کودهای فسفوره به محیط زیست وارد می‌شود؛ به منابع آب‌های زیرزمینی یا آب‌های سطحی راه می‌یابد، می‌توان بیان کرد که فعالیت‌های کشاورزی و فاضلاب‌های انسانی از دلایل مهم تأثیرگذار بر میزان غلظت کادمیوم در منابع آب شرب و آب‌های سطحی است (WHO, 2002). با توجه به ورود فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی و تالاب‌ها، به روشی مناسب جهت دسترسی و آگاهی از شرایط تالاب برای طیف وسیعی از اهداف نیاز داریم. ارزیابی ریسک محیط زیستی (Environmental Risk Assessment) یکی از روش‌هایی است که خطرات محیط زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی و بلایای طبیعی و سطح مناسبی از اقدامات مدیریتی متناسب با ریسک، جهت کاهش خطرات و اثرات سوء آن‌ها تا رسیدن به سطح قابل قبولی از ریسک را مورد ارزیابی قرار می‌دهد (Jafariazar et al., 2017). همچنین، در مدیریت بهینه تالاب‌ها نقش اساسی دارد. مطالعاتی که ارزیابی ریسک محیط زیستی در تالاب‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند، اندک است. از این‌رو، با ارزیابی ریسک محیط زیستی تالاب‌ها و ارائه برنامه مدیریت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز جراحی و تالاب شادگان

طولانی باقی بمانند، هستند (Gognou and Fisher, 1997). تعامل بین فلزات سنگین و رسوبات رودخانه‌ها و تالاب‌ها مهم تلقی می‌شود، زیرا رسوبات بستر اکوسیستم‌های آبی، مخزنی برای فلزات سنگین بوده که می‌توانند یک منبع بالقوه آلاینده در هنگام تغییر شرایط محیطی باشند (Farkas *et al.*, 2007) همچنین برای متابولیسم سم طبیعی ماهی، باید فلزات ضروری از آب، غذا یا رسوبات جذب شوند، از این طریق نیز فلزات سنگین ضروری و غیر ضروری را جذب و در بافت‌ها ذخیره می‌شود و بدین ترتیب فلزات سنگین در اثر مصرف ماهی وارد بدن انسان می‌شود (Mortazavi *et al.*, 2016).

مواد و روش‌ها

تالاب شادگان در ۳۰ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی در جنوب غربی ایران در استان خوزستان واقع شده است. مطابق با کنوانسیون رامسر، به‌عنوان یک تالاب بین‌المللی با وسعتی حدود ۴۰۰۰۰۰ هکتار، که حدود ۲۹۶۰۰۰ هکتار، پناهگاه حیات وحش را تشکیل می‌دهد (Ashayeri *et al.*, 2019). کانون منابع آلودگی در این منطقه شامل کودهای شیمیایی، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها در محدوده تو سعه نی شکر و اراضی کشاورزی در شمال

ریسک می‌توان شدت یا احتمال وقوع این ریسک‌ها را تا حد امکان کاهش داد (Betsy and Klee mann, 2009). در مطالعه‌ای با استفاده از روش واقع‌گرایانه یا روش کسر ریسک (RQ) به وسیله تعیین غلظت و ارزش کل سمیت (TRV) برای ۵ آفت‌کش ددت، آلدین، دی‌الدین، لیندان و آمتین در تالاب شادگان، آلودگی این ۵ آفت‌کش مورد بررسی قرار گرفت (Karimi, 2016). Vryzas و همکاران (۲۰۱۰) و Qi و همکاران (۲۰۲۲)، با نمونه‌برداری از آب رودخانه زردچین، با استفاده از روش کسر ریسک به ارزیابی ریسک فلزات سنگین پرداختند، اما تاکنون از این روش جهت ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در تالاب شادگان استفاده نشده است، بدین ترتیب در این تحقیق ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین سرب و کادمیوم با استفاده از کسر ریسک (RQ) و با استفاده از خروجی‌های مدل اکوفیت (Ecofate) انجام شد. رسوبات رودخانه‌ها و تالاب‌ها محل اصلی تجمع آلاینده‌ها است که با تجزیه و تحلیل میزان آن‌ها می‌توان سطوح آلودگی را مشخص نمود و راهکارهای مدیریتی را جهت کاهش آلاینده‌ها ارائه نمود (Mwamburi, 2015). اصولاً رسوبات به‌عنوان بزرگترین انبار برای ذخیره آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و جایگاه خاص برای ناپاکی‌هایی که می‌توانند برای مدت زمان

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه در تالاب شادگان

| نام فضای سه بعدی | طول و عرض جغرافیایی | شماره فضای سه بعدی |
|---------------------|-----------------------|--------------------|
| پل صراخیه-رگبه | N 30,41,05 E 48,33,01 | اول |
| ۱ کیلومتر بعد از پل | N 30,40,06 E 48,30,09 | دوم |
| ۲ کیلومتر بعد از پل | N 30,40,00 E 48,31,01 | سوم |
| ۳ کیلومتر بعد از پل | N 30,40,05 E 48,31,05 | چهارم |

محیط زیستی، که شامل داده‌های هیدرودینامیکی، پارامترهای اکوسیستمی، اطلاعات مربوط به ورود مواد شیمیایی و اطلاعات مربوط به خصوصیات این مواد است. نمونه‌برداری فلزات سنگین هر کدام با ۳ بار تکرار از فضاهای سه بعدی تعیین شده از آب تالاب انجام شد. برای نمونه‌برداری آب جهت سنجش فلزات از بطری‌های یک لیتری استفاده شد. نمونه‌های آب در بطری‌هایی که از قبل با محلول آب مقطر و اسید نیتریک ۲ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شسته شده بودند، ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های آب به‌طور مستقیم درون دستگاه اتوسمپلر قرار داده شدند. سنجش فلزات سنگین مورد مطالعه به روش جذب اتمی و سیستم کوره گرافیتی با کمک دستگاه Perkin Elmer 4100 انجام شد. حد تشخیص فلزات توسط این دستگاه جذب اتمی به روش کوره در حد ppb (قسمت در بیلیون) بود که دارای دقت حدود ۱۰۰۰ برابر سیستم شعله است. جهت اندازه‌گیری کادمیوم و سرب، ابتدا به ۱۰ میلی‌لیتر محلول هضم شده نمونه‌ها، ۵ میلی‌لیتر محلول آمونیم پیرولیدین کار با مات اضافه شد سپس به مدت ۲۰ دقیقه نمونه‌ها هم زده شدند تا عناصر به صورت فرم آلی فلزی در محلول، کمپلکس شوند و سپس به نمونه‌ها ۲ میلی‌لیتر متیل ایزوبوتیل کتون اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه نمونه‌ها هم زده شدند. پس از ۱۰ دقیقه، نمونه‌ها در دور ۲۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شدند و عناصر مورد نظر به فاز آلی منتقل شدند. پس از تنظیم کوره و سیستم منبع تولید اشعه کاندی (Electrodeless Discharge Lamp) دستگاه و بهینه کردن دستگاه جذب اتمی، منحنی کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای این عناصر و ماتریکس مدیفایر (اصلاح

غربی از آب شیرین تالاب و منابع بی کانون شامل مواد مخاطره‌آمیز ناشی از پالایشگاه‌ها و پتروشیمی آبادان، بندر امام و ماهشهر می‌باشد. تالاب شادگان در برگیرنده اکوسیستم‌های متفاوتی چون آب‌های شیرین، شور و لب‌شور می‌باشد (Karimi et al., 2012).

غلظت اثر محیطی زیستی (EEC) فلز سنگین سرب و کادمیوم در ۴ فضای سه بعدی (Compartment) از آب و رسوب و ماهیان تالاب اندازه‌گیری شد (واژه فضای سه بعدی به دلیل نمونه‌برداری در تالاب که دارای طول، عرض و ارتفاع بوده و دارای حجم است، بکار رفته است)، انتخاب فضای سه بعدی براساس جریان، شوری آب و توپوگرافی بستر صورت می‌پذیرد. (Karimi, 2016). مختصات اولین فضای سه بعدی ورود آب به تالاب و فضاهای سه بعدی دیگر در فاصله دورتر از خروجی‌ها و در محور طولی همدیگر قرار دارند که در جدول ۱ اشاره شده است.

نمونه‌برداری از آب و رسوب به صورت فصلی در تابستان و زمستان ۱۴۰۰ و در ۴ فضای سه بعدی جمع‌آوری شد و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و در ظروف عایق‌بندی شده در مدت زمان کمتر از ۴۸ ساعت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. جمع‌آوری نمونه‌ها براساس استانداردهای کنترل کیفیت (QC) و تضمین کیفیت (QA) صورت گرفت (Karimi, 2016). نمونه‌برداری روی آب و رسوب به منظور سنجش سمیت مواد شیمیایی و اثر آنها روی موجودات زنده، به منظور تعیین و تکمیل پارامترهای بخش سرنوشت محیط زیستی آلاینده‌ها، ارزیابی مخاطرات مواد سمی، تجمع زیستی موجود در شبکه غذایی و ارزیابی ریسک‌های وارده بر سلامت انسانی طبق مدل اکوفیت (Ecofate) انجام شد. یکی از بخش‌های این مدل، بخش سرنوشت

به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر ریسک‌پذیری یا عدم ریسک پذیری اکوسیستم‌های آبی باشد، برای ارزیابی ریسک تالاب شادگان از ضریب یا کسر ریسک (Risk Quotation) استفاده شد، در صورتی که $RQ \geq 1$ باشد، حداکثر ریسک، $1 < RQ < 0.1$ ، ریسک متوسط و $0.1 < RQ < 0.01$ ، حداقل ریسک را شاهد خواهیم بود (Wee et al., 2019). با استفاده از رابطه ۱، کسر ریسک اکولوژیک فلزات سرب و کادمیوم در تالاب شادگان برای آب و رسوب و برای فصل تابستان و زمستان مورد محاسبه قرار گرفت و در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شد.

تجزیه و تحلیل آماری: برای آزمون‌های آماری از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۷) استفاده شد. پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون (Shapiro wilk)، به‌منظور مقایسه غلظت بین فضاهای سه بعدی مختلف، از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و جهت مقایسه غلظت فلزات در آب و رسوب از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد، سطح معنی‌داری مورد نظر 0.05 در نظر گرفته شد. برای رسم جدول‌ها و نتایج مدل اکوفیت از نرم‌افزار Excel (۲۰۱۶) نسخه استفاده شد.

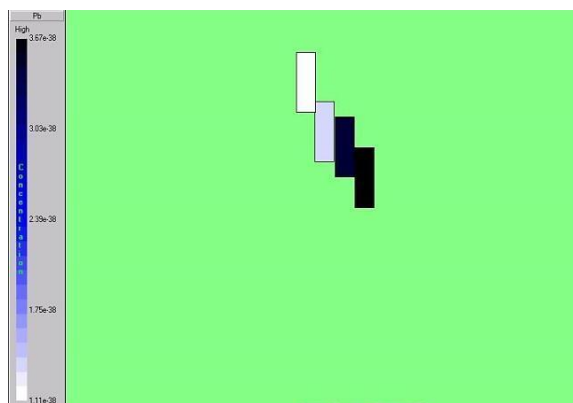
نتایج

با توجه به نتایج حاصل از سنجش فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب و رسوب، و وارد کردن داده‌ها در زیر مدل اکوفیت، غلظت آلاینده‌های مورد نظر برحسب ۴ فضای سه بعدی مورد نظر در دو فصل تابستان و زمستان در شکل‌های ۲ تا ۹ جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. براساس نتایج، بیشترین میزان فلز سرب در آب تالاب در فصل تابستان حدود $3.67e-38$ ng/l با رنگ تیره‌تری نسبت به کمپارتمنت سه با میزان حدود $3.03e-38$ ng/l به‌دست آمد (شکل ۲). شکل ۳ نشان می‌دهد، که بیشترین میزان فلز سرب در آب تالاب در فصل زمستان به مقدار $3.17e-24$ ng/l بوده که با رنگ تیره‌تری نسبت به کمپارتمنت سه با مقدار $2.60e-24$ ng/l بوده است. مطابق شکل ۴، بیشترین میزان

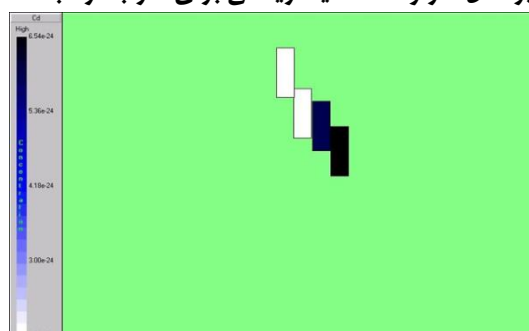
کننده) پالادیم با استفاده از نرم‌افزار WinLab (نسخه ۳۲) رسم گردید و مقدار این عناصر در محلول‌های آماده شده اندازه‌گیری شد (Koshafar et al., 2020). نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از دستگاه گرب (VAN VEEN) از ۳۰ سانتی‌متری بستر و در هر ایستگاه با ۳ تکرار انجام شد. نمونه‌های رسوب در پلاستیک‌های مخصوص زیپ‌دار که از قبل با محلول آب مقطر و اسیدنیتریک ۱۰ درصد استریل شده بودند، قرار داده شده سپس به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های رسوبات، به مدت ۱۲۰ تا ۱۵۰ دقیقه در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده تا به وزن ثابت رسیدند سپس از داخل آون خارج شدند. برای هم‌ضم نمونه‌ها از روش مرطوب استفاده شد (ROPME, 1999) به این صورت که 0.5 گرم از نمونه در یک بالن 250 میلی‌لیتر ریخته شد و به آن 25 میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، 20 میلی‌لیتر اسیدنیتریک 7 مولار و 1 میلی‌لیتر محلول مولیبدات سدیم 2 درصد اضافه شد و از سنگ جوش برای یکنواخت جوشیدن استفاده شد، سپس به نمونه سرد شده از بالای مبرد به آرامی 20 میلی‌لیتر مخلوط اسیدنیتریک و اسیدپرکلریک غلیظ به نسبت $1:1$ با اضافه شد، سپس مخلوط حرارت داده شد تا بخارهای سفید رنگ اسید به‌طور کامل حذف شد، در حالی که بالن چرخانده می‌شد، به مخلوط سرد شده 10 میلی‌لیتر آب مقطر از بالای مبرد به آن اضافه شد. با حرارت دادن حدود 100 دقیقه محلول کاملاً شفاف به دست آمد، این محلول پس از سرد شدن به داخل بالن ژوژه 100 میلی‌لیتر انتقال داده و به حجم رسانده شد (Koshafar, 2020). پس از اندازه‌گیری و ثبت غلظت آلاینده‌ها در آب و رسوب، از رابطه ۱ به‌منظور اندازه‌گیری ریسک اکولوژیک از شاخص خارج قسمت ریسک (RQ) استفاده شده است، که در آن مجموع میانگین غلظت آلاینده‌ها (MCEi) و مقدار مرجع سمیت آلاینده (TRVi) است (Karimi et al., 2012).

$$RQ = \frac{MCEi}{TRVi} \quad \text{رابطه ۱}$$

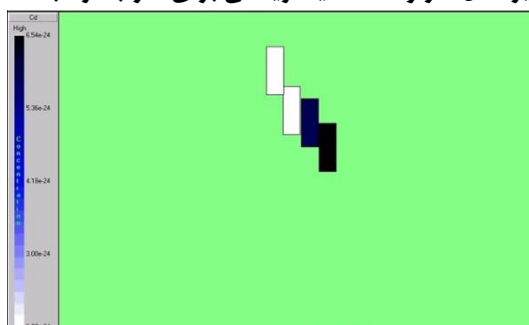
با توجه به اینکه غلظت آلاینده‌ها در آب، رسوب و آبزیان



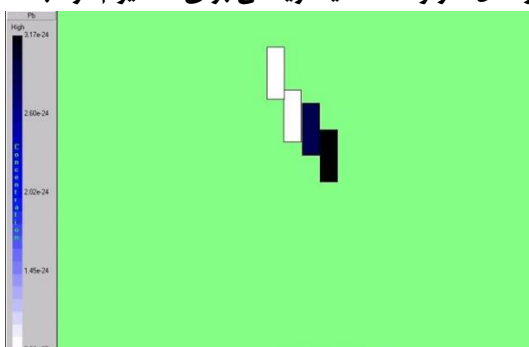
شکل ۲- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای سرب در آب تالاب (فصل تابستان)



شکل ۳- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای سرب در آب تالاب ، فصل زمستان



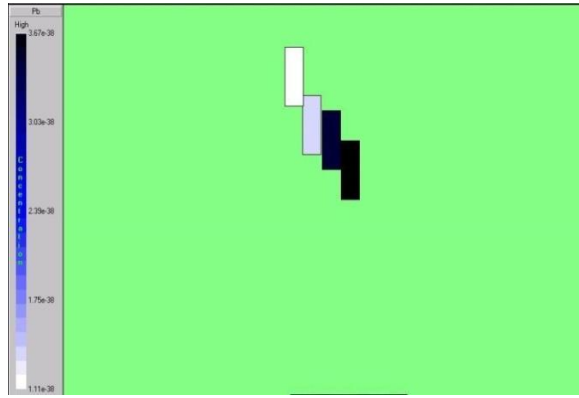
شکل ۵- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای کادمیوم در آب تالاب (فصل زمستان)



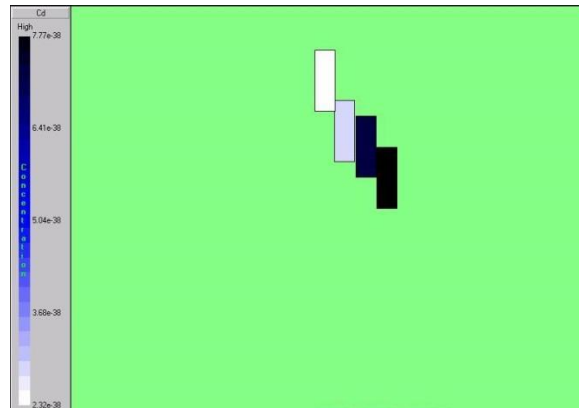
شکل ۶- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای سرب در رسوب تالاب (فصل تابستان)

مقدار $5.34e-28$ مشاهده شد که نسبت به کمپارتمنت ۳ با مقدار $5.15e-28$ ng/l، مقادیر بیشتری را از نظر آلودگی نشان داد. بیشترین میزان سرب در رسوب تالاب در فصل تابستان در کمپارتمنت ۴ با مقدار $3.17e-24$ ng/l نسبت به کمپارتمنت ۳ ($2.60 e-24$ ng/l) بوده است که با رنگ تیره

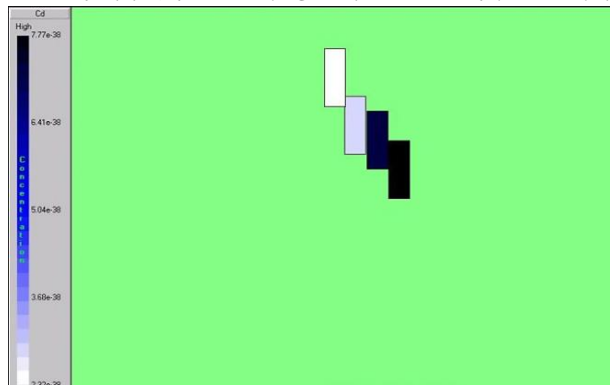
فلز کادمیوم در آب تالاب در فصل تابستان نیز $6.54e-24$ ng/l برآورد شد که نسبت به کمپارتمنت شماره سه، $5.36e-24$ ng/l مقادیر بیشتری را از نظر آلودگی نشان داد. شکل ۵، بیشترین میزان فلز کادمیوم در آب تالاب را در فصل زمستان را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج، در کمپارتمنت ۴،



شکل ۷- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای سرب در رسوب تالاب (فصل زمستان)



شکل ۸- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای کادمیوم در رسوب تالاب (فصل تابستان)



شکل ۹- خروجی زیر مدل سرنوشت محیط زیستی برای کادمیوم در رسوب تالاب (فصل زمستان)

هر کدام مقادیر متفاوتی را نشان می‌دهند، که فلز سرب مطابق با استانداردهای ذکر شده (سازمان بهداشت جهانی)، مقادیر بیشتری را نسبت به کادمیوم در کمپارتمنت‌های مختلف نشان می‌دهند. ریسک ناشی از فلزات سرب و کادمیوم در آب و رسوب تالاب شادگان نشان می‌دهد. مطابق (جدول‌های ۳ و ۵) برای محاسبه کسر ریسک RQ از تقسیم مقادیر MEC1 بر TRV1 استفاده شد.

براین اساس مقادیر کسر ریسک متوسط برای فلز سرب و ضعیف برای فلز کادمیوم در آب تالاب تعیین گردید. در

نمایش داده شده است (شکل‌های ۷ و ۸). در فصل زمستان نیز کمپارتمنت ۴ نیز مقادیر آلودگی بیشتری را نشان داد که این آلودگی در کمپارتمنت ۳ نیز اضافه شده است (شکل ۷). بیشترین میزان کادمیوم در رسوب تالاب در فصول تابستان و زمستان در کمپارتمنت‌های دو، سه و چهار بوده که با رنگ تیره‌تری نسبت به دو کمپارتمنت دیگر نشان داده شده‌اند (شکل‌های ۸ و ۹). میانگین غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب تالاب شادگان و مقایسه آن با استانداردهای جهانی به ترتیب در جدول‌های ۲ و ۴ ارائه شده است. براساس نتایج،

جدول ۲- میانگین غلظت فلزات سنگین در آب تالاب شادگان و استانداردهای جهانی (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم)

| کادمیوم (Cd) | | سرب (Pb) | | نام فضای سه بعدی و استانداردها |
|--------------|---------|------------|---------|--------------------------------------|
| زمستان | تابستان | زمستان | تابستان | |
| ۰/۰۵۱۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۶۴۰۳ | ۰/۵۲۱۳ | پل صراخیه-رگبه |
| ۰/۰۶۲۳ | ۰/۰۴۴۳ | ۰/۶۷۲۷ | ۰/۵۸۵ | ۱ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۰۵۷۷ | ۰/۰۳۰۷ | ۰/۷۴۱۷ | ۰/۶۰۲۳ | ۲ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۰۶۰۷ | ۰/۰۴۶۳ | ۰/۷۹۲ | ۰/۶۲۱۳ | ۳ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۱ | | ۰/۱ | | استاندارد کیفیت آب‌های سطحی چین (۳۶) |
| ۰/۰۰۵ - ۰/۰۱ | | ۰/۰۵ - ۰/۱ | | استاندارد سازمان بهداشت جهانی (۲) |

جدول ۳- مقادیر ریسک حاصل در آب تالاب شادگان نسبت به فلزات (بر حسب میکروگرم بر لیتر)

| زمستان | | تابستان | | نام آلاینده |
|------------|--------|------------|--------|--------------|
| RQ | MCE1 | RQ | MCE1 | TRV1 |
| ۰/۵۲۸۸ | ۰/۷۱۱۲ | ۰/۴۴۱۳ | ۰/۵۸۲۸ | ۱/۳۲ |
| ریسک متوسط | | ریسک متوسط | | سرب (Pb) |
| ۰/۰۸۷۹ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۵۵۴ | ۰/۰۳۶۶ | ۰/۶۶ |
| ریسک متوسط | | ریسک متوسط | | کادمیوم (Cd) |
| ۰/۰۶۰۷ | ۰/۰۴۶۳ | ۰/۷۹۲ | ۰/۶۲۱۳ | ۰/۶۲۱۳ |
| حداقل ریسک | | حداقل ریسک | | |

جدول ۴- میانگین غلظت فلزات سنگین در رسوب تالاب شادگان و مقایسه با مطالعات دیگر و برخی از استانداردهای جهانی (بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم)

| کادمیوم (Cd) | | سرب (Pb) | | نام فضای سه بعدی |
|--|---------|-----------|---------|--------------------------------------|
| زمستان | تابستان | زمستان | تابستان | |
| ۰/۰۵۱۳ | ۰/۰۲۵ | ۰/۶۴۰۳ | ۰/۵۲۱۳ | پل صراخیه-رگبه |
| ۰/۰۶۲۳ | ۰/۰۴۴۳ | ۰/۶۷۲۷ | ۰/۵۸۵ | ۱ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۰۵۷۷ | ۰/۰۳۰۷ | ۰/۷۴۱۷ | ۰/۶۰۲۳ | ۲ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۰۶۰۷ | ۰/۰۴۶۳ | ۰/۷۹۲ | ۰/۶۲۱۳ | ۳ کیلومتر بعد از پل |
| ۰/۲۷ | | ۱۶/۸۹ | | تالاب شادگان (Ashayeri و همکاران) |
| ۰/۰۶ | | ۳۰/۴۴ | | رودخانه لنگات مالزی (Yang و همکاران) |
| ۲/۹۸-۳/۹۳ | | ۳/۰۳-۱۲/۲ | | دریاچه سد ارس (Farsani و همکاران) |
| استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) | | | | |
| - | | <۴۰ | | بدون آلودگی |
| - | | ۴۰-۶۰ | | نسبتاً آلوده |
| >۶ | | >۶۰ | | به شدت آلوده |

لیتر برآورد شد که این غلظت‌ها از غلظت استاندارد کیفیت آب‌های سطحی چین (WQS, CHINA) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) بالاتر است (Bala et al., 2008). در بررسی‌های مشابه دیگر، غلظت سرب، روی و کادمیوم در آب تالاب گمیشان و خلیج گرگان در حد استانداردهای جهانی گزارش شد (Hassanpour et al.,

خصوص رسوبات نیز این میزان برای فلز سرب متوسط و برای فلز کادمیوم مقادیر ریسک قوی را نشان دادند.

بحث و نتیجه گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که بیشترین غلظت فلز سرب و کادمیوم در آب به ترتیب ۰/۷۹۲ و ۰/۰۶۲۳ میلی گرم بر

جدول ۵- مقادیر ریسک حاصل در رسوب تالاب شادگان نسبت به فلزات (بر حسب میکروگرم بر لیتر)

| زمستان | | تابستان | | نام آلاینده |
|-------------|--------|-------------|--------|--------------|
| RQ | MCE1 | RQ | MCE1 | TRV1 |
| ۰/۵۹۴ | ۳۷/۷۴۵ | ۰/۵۹۱ | ۳۷/۵۹ | ۴۶/۷ |
| ریسک متوسط | | ریسک متوسط | | سرب (Pb) |
| ۲/۸۸ | ۳/۴۵۲۵ | ۲/۷۹ | ۳/۳۴۶۶ | ۱/۲ |
| حداکثر ریسک | | حداکثر ریسک | | کادمیوم (Cd) |

Farsani و همکاران (۲۰۱۹)، با بررسی فصلی فلزات سنگین در دریاچه سد ارس غلظت سرب را در دامنه ۳/۰۳ تا ۱۲/۲ و غلظت کادمیوم را ۲/۹۸ تا ۳/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری کردند. با توجه به نتایج، ریسک متوسط، برای فلز سرب در آب و رسوب و حداقل و حداکثر ریسک برای فلز کادمیوم به ترتیب در آب و رسوبات تالاب مشاهده شد. Karimi و همکاران (۲۰۱۶)، با استفاده از کسر ریسک به ارزیابی ریسک محیط زیستی ناشی از آفت‌کش‌ها در تالاب شادگان پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد که کسر ریسک برای گونه‌های (*Barbus grypus*)، (*Barbus Sharpeyi*)، (*Barbus luteus*) و (*Chironomus sp.*) بالا است و محیط برای این گونه‌ها در معرض خطر بیشتری قرار دارد (Karimi et al., 2016). Razak و همکاران (۲۰۱۹)، ارزیابی ریسک رودخانه لینگلی مالزی را از طریق ضریب یا کسر ریسک مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر ریسک متوسط برای فلز آلومینیوم و ریسک کم برای فلزات مس، نیکل، سرب و سلیوم بود.

Wang و همکاران (۲۰۰۲)، ارزیابی ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در دریای بوهان شمال چین را مورد مطالعه قرار دادند که ریسک بالای سرب و ریسک متوسط برای کادمیوم در دریای بوهان به دست آمد. در مطالعه‌ای دیگر با نمونه‌برداری از ۳۰ نقطه رسوبات دریاچه تایهوی چین، ارزیابی ریسک محیط زیستی فلز جیوه با استفاده از روش کسر ریسک انجام شد. نتایج برای تمام نقاط ریسک متوسط را نشان داد (Su et al., 2021). در محاسبات آماری بین سرب موجود در آب و سرب موجود در رسوب، رابطه معنی‌داری مشاهده نشد ولی بین کادمیوم موجود در

(2012). در مطالعه‌ای دیگر بررسی فلزات در آب و رسوب رودخانه لنگات مالزی بررسی و میانگین غلظت سرب و کادمیوم در آب رودخانه را به ترتیب ۱/۰۷ و ۰/۱۱ میکروگرم بر لیتر گزارش کردند که از غلظت استاندارد کیفیت آب آشامیدنی مالزی (MOH) کمتر بود (Wan et al. 2012). Yochi و همکاران (۲۰۱۷)، با نمونه‌برداری از رودخانه زرد چین و اندازه‌گیری غلظت فلزات مس و سرب بیان کردند که این دو فلز در آب رودخانه خطر اکولوژیک پایینی دارند. در مطالعه مشابه، ارزیابی محیط زیستی فلزات روی، کادمیوم و سرب در تالاب آلاگل انجام شد که غلظت فلزات کادمیوم و سرب بالاتر از استانداردهای جهانی و غلظت فلز روی در حد استاندارد اعلام شد (Alipour et al., 2016). نتایج حاصل از اندازه‌گیری فلزات سنگین سرب و کادمیوم در رسوب تالاب شادگان نشان داد که بیشترین غلظت سرب برابر ۲۹/۳۱۳۳ و برای کادمیوم ۳/۹۵۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد که هر دو غلظت از استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست (EPA) پایین‌تر می‌باشد.

Wan و همکاران (۲۰۱۲)، در بررسی فلزات در رسوب رودخانه لنگات مالزی، غلظت عناصر سرب و کادمیوم در را به ترتیب ۳۰/۴۴ و ۰/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه کردند که از غلظت استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQG) پایین‌تر بود (Wan et al., 2012). Ashayeri و همکاران (۲۰۱۹) غلظت عناصر سنگین در رسوب تالاب شادگان را بررسی و غلظت سرب و کادمیوم را به ترتیب ۱۶/۸۹ و ۰/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کردند که از استاندارد جهانی کیفیت رسوب پایین‌تر بود (Ashayeri et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر، Naderi

آلاینده‌های سرب و کادمیوم قرار دارد، که با مدیریت صحیح و شناسایی منابع ورود این فلزات به آب و رسوبات تالاب، می‌توان از ریسک اکولوژیک این تالاب نسبت به این فلزات جلوگیری به عمل آورد.

آب و کادمیوم موجود در رسوب رابطه‌ی معنی‌دار مشاهده شد ($P < 0.05$)، که بیانگر افزایش غلظت فلز کادمیوم در آب تالاب و رسوبات می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از این مطالعه و مقایسه با استانداردها و بررسی‌های انجام شده، تالاب شادگان در معرض ریسک متوسط تا بالای

References

- Alipour, H., Mortazavi, K., Hassanpour, S., 2016. Environmental assessment of zinc, cadmium and lead in water, sediment and eastern river shrimp (*Macrobrachium nipponese* De Haan, 1849) in Algal lagoon. Journal of Marine Biology 9(33), 73-82. (In Persian)
- Bale, M., Shah, R.A., Laval, M., 2008. Determination of the level of some heavy metals in water collected from two pollution prone irrigation areas around Kano metropolis. Bayero Journal of Pure and Applied Sciences 1(1), 36-38.
- Betsy, M., Klee Mann, S., 2009. Multi-level discrepancies with sharing data on protected areas: What we have and what we need for the global village. Journal of Environmental Management 90(1), 8-24.
- Burger, J., Gaines, K.F., Boring Stephens Snodgrass Dixon, C.W.L., McMahan, J., Shukla, C., Shukla, S., Gochfeld, J.M., 2002. Metal levels in fish from the Savannah River: potential hazards to fish and other receptors. Environmental Research 89, 85-97.
- Demark, A., Yilmaz, F., Tuna, AL., Ozdemir, N., 2006. Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* from a stream in southwestern Turkey. Chemosphere 63(9), 1451-1458.
- Ebrahimi Sirizi, Z. M., Sakizadeh Esmaili, A., Sari, N., Bahramifar, S., Ghasempouri M., Abbasi, K., 2012. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu and Zn) Contamination in Muscle tissue of *Esox lucius* from Anzali International Wetland: Accumulation and Risk Assessment. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 22(87), 57-63. (In Persian)
- Farkas, A., Erratico, C., Vigano, L., 2007. Assessment of the environment significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. Chemosphere 68(4), 761-768.
- Gognou, C., Fisher, N.S., 1997. The bioavailability of sediment bound Cd, Co, and Ag to the mussel *Mytilus edulis*. Canadian Journal Fish Aquatic Science 54, 147-156.
- Hassan pour, M., Pourkhabbaz, A., Ghorbanifar, R., 2012. The Measurement of Heavy Metals in Water, Sediment and Wild Bird (Common Coot) in Southeast Caspian Sea. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences 21(1), 184-194. (In Persian)
- Haidari Chaharlang, B., Riyadh Bakhtaran, A., Mohammad Farschi, J., 2017. Geochemical fractionation and pollution assessment of Zn, Cu, and Fe in surface sediments from Shadegan Wildlife Refuge. Southwest of Iran. Environmental Science and Pollution Research 24(26), 21334-21350.
- Ishan, A.R., Zaydi, M.S., Aziz, M.Y., 2020. Determination of lead and cadmium in tilapia fish (*Oreochromis Nilotic us*) from selected areas in Kuala Lumpur. Egyptian Journal of Aquatic Research 46(3), 221-235.
- Jafariazar, S., Sabzghabaei, G.R., Tavakoly, M., Dashti, S., 2017. Assessment and Prioritization of Environmental Risks in Gaz and Hara Rivers Estuary International Wetland Iranian. Journal of Applied Ecology 6(3), 71-87. (In Persian)
- Karimi, F., 2016. Presentation of Deterministic approach for survey ecological risk of pesticides in Shadegan wetland. Journal of Wetland Ecobiology 7(4), 15-22
- Karimi, F., Moattar, F., Farshchi, P., Savari, A., Parham, H., 2012. Suitable Methode for Estimation of Ecological Effects of Pesticide Contamination on Aquatic Species. Journal of the Persian Gulf 3(8), 67-73.
- Klink, A., Wisłocka, M., Musiał, M., 2014. Macro- and Trace-Elements Accumulation in *Typha angustifolia* L. and *Typha latifolia* L. Organs and their Use in Bioindication. Polish. Journal of Environmental Studies 22,

- 183-190.
- Koshafar, A., Savari, A., Sakhaei, N., Archangi, B., Karimi Organi, F., 2020. Evaluation of carcinogenicity and non-carcinogenicity of heavy metals in the dominant muscle of Bahmanshir River. *Journal of Animal Environment* 11(4), 155-162. (In Persian)
- Lahijani, O., Rastegari Mehr, M., Shakeri, A., Yeganehfar, M., 2020. Study of heavy metals in bottom sediments of Mahabad River and dam, and investigating the risk of consumption of edible fish in the area. *Iranian Journal of Health and Environment* 13(1), 49-64. (In Persian)
- Mohammadi roozbahani, M., Rasekh, A., Jaafar, A.H., 2013. Biological assessment with use of HFBI index in shadeگان wetland. *Journal of Wetland Ecobiology* 5(17), 75-84. (In Persian)
- Mortazavi, S., Rahmani, J., Chamani, A., 2018. Biomonitoring of Heavy Metals using *Phragmites australis* in Hashilan Wetland, Kermanshah. *Journal of Environmental Science and Technology* 19(4), 67-79. (In Persian)
- Mortazavi, A., Hatamikia, M., Bahmani, M., Hassanzadazar, H., 2016. Heavy metals (mercury, lead and cadmium) determination in 17 species of fish marketed in Khorramabad city, west of Iran. *Journal of Chemical Health Risks* 6(1), 41-48.
- Mwamburi, J., 2015. Comparative evaluation of the concentrations of lead, cadmium and zinc in surficial sediments from two shallow tectonic freshwater lake basins, Kenya. *African Journal of Environmental Science and Technology* 9(6), 531-544.
- Naderi Farsani, M., Jenabi Haghparast, R., Shahbazi Naserabad, S., Moghadas, F., Bagheri, T., Gerami, M.H., 2019. Seasonal heavy metal monitoring of water, sediment and common carp (*Cyprinus carpio*) in Aras Dam Lake of Iran. *International Journal of Aquatic Biology* 7(3), 123-131.
- Newman, M.C and M.A. Unger. 2003. *Fundamentals of ecotoxicology*. CRC Press.
- Pham, N.M., Huynh, T.L., Nasir, M.A., 2020. Environmental consequences of population, affluence and technological progress for European countries: A Malthusian view. *Journal of Environmental Management* 260, 110143.
- Qi, Y., Zhao, Y., Fu, G., Li, J., Zhao, C., Guan, X., Zhu, S., 2022. The Nutrient and Heavy Metal Contents in Water of Tidal Creek of the Yellow River Delta, China: Spatial Variations, Pollution Statuses, and Ecological Risks. *Journal of Water* 14(5), 713 -725.
- Razak, M.R., Aris, A.Z., Zakaria, N.M Wee, S.Y., Ismail, N., 2021. Accumulation and risk assessment of heavy metals employing species sensitivity distributions in Linggi River, Negeri Sembilan, Malaysia. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 211, 1- 12.
- Su, H., Shi, D., Yang, J.Y., Tao, Y., Sunm, F., Wei, Y., 2021. Distribution Characteristics and Risk Assessment of Mercury in Sediments from Taihu Lake. *Journal of Frontiers in Environmental Science* 9, 1-8
- Velayatzadeh, M., Abdollahi, S., 2021. Study and comparison Hg, Cd and Pb accumulation in the muscle and liver tissues of *Aspius vorax* in Karoon River in winter season. *Journal of Animal Environment* 2(4), 65-72. (In Persian)
- Vryzas, Z., Alexoudis, C., Vassiliou, G., Galanis, K., Papadopoulou, E., 2011. Determination and aquatic risk assessment of pesticide residues in riparian drainage canals in northeastern Greece. *Journal of Ecotoxicology and Environmental Safety* 74(2), 168-181.
- Wan, Y.L., Aris, A.Z., Zakaria, M.P., 2012. Spatial Variability of Metals in Surface Water and Sediment in the Langat River and Geochemical Factors That Influence Their Water-Sediment Interactions. *Journal of Scientific World* 2012(4), 1-14.
- Wang, J., Chen, S., Xia, T., 2010. Environmental risk assessment of heavy metals in Bhai Sea, North China. *Journal of Procedia Environmental Sciences* 174, 465-473.
- Wee, S.Y., Aris, A.Z., Yusoff, F.M., Praveena, S.M., 2019. Occurrence and risk assessment of multiclass endocrine disrupting compounds in an urban tropical river and a proposed risk management and monitoring framework. *Journal of Science of the Total Environment* 671, 431-442.
- Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C., Glasmacher, A., 2003. Heterotrophic plate count Measurement in Drinking water safety management who Geneva. *World Health Organization*, 256 p.
- Bartram, J., Cotruvo, J., Exner, M., Fricker, C., Glasmacher, A., 2002. *World health organization Heterotrophic plate count*

- measurement in drinking water safety management. Report of an Expert Meeting Geneva, 24-25. *Journal of Food Microbiology* 92(3), 241-248.
- Ashayeri, Y., Keshavarzi, N., Keshavarzi, B., 2019. Geochemical characteristics, partitioning, quantitative source apportionment, and ecological and health risk of heavy metals in sediments and water: A case study in Shadegan Wetland, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 149 (2019), 110495- 110500
- Zhang, X., Yang, L., Li, Y., Li, H., Wang, W., Ye, B., 2012. Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment* 184(4), 2261-2273.

Investigating the environmental risk of lead and cadmium heavy metals using the Ecofate model, case study: Shadgan wetland

Seyed Ayad Mohammadi¹, Fatemeh Karimi Organi^{1*}, Ahmad Savari^{1,2}, Soolmaz Dashti¹, Azita Koushafar¹

¹Department of Environment, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

²Department of Marine Biology, Faculty of Marine and Oceanic Sciences, University of Marine Sciences and Technology, Khorramshahr, Iran

*Corresponding author: fatemeh_karimi88@yahoo.com

Abstract

Due to human activities, Shadgan wetland is always exposed to heavy metal pollution. The purpose of this research is to evaluate the environmental risk of Shadgan wetland caused by the entry of heavy metals lead and cadmium into the wetland. For this purpose, the water and sediment of the wetland were sampled and the concentration of metals in the water and sediment was measured by atomic absorption method and graphic furnace system using a device (Perkin Elmer 4100). The results showed that the concentration of lead and cadmium in the water was higher than the standards of the World Health Organization and the US Environmental Protection Agency (EPA). The concentration of these two metals in the lagoon sediment was lower than the standards. Using the outputs of the Ecofate model, risk assessment was done with the risk reduction (RQ) method. Based on the results, moderate risk was estimated for lead in water and in sediment, minimum risk for cadmium in water, and maximum risk for cadmium in sediments. Pearson's correlation coefficient showed a strong and significant relationship between cadmium in water and cadmium in sediment ($P>0.05$), so the ecological risk of the wetland caused by the accumulation of this metal in the sediments of the wetland has been brought about, so the correct environmental considerations in Shadgan wetland should always be taken into consideration.

Keywords: Risk Assessment, Heavy Metals, Sedimentation, Ecofate Model, RQ