

پهنه‌بندی غلظت و ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان

ثمر مرتضوی^{۱*}، فائزه صابری نسب^۲

۱. استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

چکیده

با افزایش بی‌رویه جمعیت و در پی آن توسعه صنایع آلاینده‌های بسیاری وارد محیط زیست شده است. بدین منظور بوم‌سازگان‌های آبی بیشتر در معرض مواد شیمیایی با ترکیبات مختلف به‌ویژه عناصر سنگین قرار دارند. در پژوهش حاضر آلودگی رسوبات اطراف حوضچه آبگیر تالاب میقان به فلزات سنگین سرب، روی و مس به کمک روش هضم اسیدی و با دستگاه جذب اتمی بررسی شد و شاخص‌های ضریب آلودگی (CF) و ریسک اکولوژیک (RI) محاسبه شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مقایسه با استاندارد کیفیت رسوب (SQGs) صورت پذیرفت. در نهایت، پهنه‌بندی فلزات به کمک برآورد تراکم کرنل نشان داد بخش‌های جنوبی و غربی این تالاب به‌علت استقرار شهرک‌های صنعتی و پساب‌های زمین‌های کشاورزی تمرکز زیادی از آلاینده‌ها دارد. همچنین بررسی فلزات سنگین بیان‌کننده غلظت زیاد فلز مس (۳۸/۱۸ میکروگرم بر گرم) نسبت به عناصر روی (۱۱/۵۷ میکروگرم بر گرم) و سرب (۹/۸۲ میکروگرم بر گرم) در منطقه بود. در پایان، لزوم کنترل آلاینده‌های موجود در تالاب میقان پیشنهاد می‌شود.

کلیدواژگان: تالاب میقان، تراکم کرنل، ریسک اکولوژیک، ضریب آلودگی، فلزات سنگین.

مقدمه

به منظور حفظ محیط زیست و کنترل آلودگی باید اطلاعات دقیقی از میزان آلودگی‌ها، به خصوص فلزات سنگین و پراکنش آنها در محیط‌های حساسی همچون تالاب‌ها وجود داشته باشد. بیشترین تمرکز آلودگی‌های وارد شده به مناطق دریایی و بوم‌سازگان‌های آبی در رسوبات وجود دارد. در واقع، حضور رسوبات در بستر و ستون آب، به دلیل تمایل یون‌های فلزی برای جذب شدن توسط ذرات رسوب، تأثیر مهمی در انتقال و سرنوشت یون‌های فلزات سنگین در رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاها و سایر محیط‌های آبی ایفا می‌کند [۱]. رسوبات به‌عنوان مخزن مواد آلاینده در محیط‌های آبی هستند و به همین دلیل برای استفاده بهتر و تعیین بار آلودگی محیط‌های آبی در بیشتر مطالعات تأکید شده‌اند [۲-۵]. بیش از ۹۰ درصد فلزات سنگین وارد شده به بوم‌سازگان‌های آبی به ذرات معلق متصل می‌شوند و یا در رسوبات تجمع پیدا می‌کنند، که این تجمع می‌تواند ناشی از ورود پساب کارخانه‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی و همچنین ته‌نشست اتمسفری باشد. بنابراین، رسوبات تأثیر مهمی در ارزیابی آلودگی فلزات سنگین ایفا می‌کنند [۶]. به‌طور نسبی کلیه آلودگی‌های تجمع‌یافته در رسوبات، به‌جز فلزات سمی، بر اثر واکنش‌هایی به تدریج تجزیه می‌شوند و از بین می‌روند و فقط عناصر سنگین هستند که در رسوبات تجمع می‌یابند و تقریباً در محیط باقی می‌مانند. از طرفی، فلزات در فازهای مختلف کانی‌شناسی در رسوب توزیع می‌شوند و بدین ترتیب تحرک و قابلیت دسترسی زیستی آنها می‌تواند به اشکال مختلف ذرات رسوب نیز بستگی داشته باشد [۷].

از مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به پژوهش بزی [۸] که به تعیین غلظت فلزات سنگین کادمیوم، مس، سرب، روی، نیکل، کروم، آهن و منیزیم و تعیین سطح آلودگی در رسوبات سطحی خلیج چابهار اشاره کرد. نتایج این مطالعه نشان داد غلظت فلزات در رسوبات بیشتر از آب است. همچنین غلظت فلزات در نمونه‌های رسوب و آب در همه ایستگاه‌ها از یک روند کلی پیروی کرد و نیز غلظت فلزات در فصول سرد بیشتر از فصول گرم سال به‌دست آمد. همچنین بهادر و همکارانش [۹] به‌منظور بررسی تأثیر فعالیت‌های انسانی در غلظت فلزات سنگین، مطالعه‌ای را روی رسوبات سطحی مصب رودخانه شور در شرق

بندرعباس انجام دادند. نتایج به کمک ضریب غنی‌شدگی (EF) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (mCd) بررسی شد و نشان داد نیکل کمترین میزان تجمع را در منطقه دارد. همچنین منطقه از نظر کیفیت زیست‌محیطی در زمره مناطق غیرآلوده تا آلودگی بسیار اندک قرار دارد. در مطالعه‌ای دیگر چنگ و همکارانش [۱۰] به ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه زرد^۳ پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد در نمونه‌های رسوب بیشترین غلظت مربوط به عنصر منگنز و کمترین غلظت مربوط به فلز روی است. همچنین شاخص‌های زمین‌انباشت مولر (Igeo) و ضریب آلودگی (^۵Cf) نشان داد غلظت کروم وابسته به منابع لیتوژنیک و غلظت سایر فلزات ناشی از منابع انسانی است. لی و همکارانش [۱۱] به بررسی غلظت فلزات سنگین و تعیین ریسک اکولوژیک در رسوبات سطحی جنگل مانگرو فوتیان^۶ در خلیج شنزن^۷ در جنوب چین پرداختند و نتایج بررسی آنها نشان داد روی بیشترین غلظت و کادمیوم کمترین غلظت را دارد. همچنین شاخص زمین‌انباشت مولر (Igeo) و ریسک بالقوه اکولوژیک^۸ نشان داد غلظت همه فلزات بررسی شده در منطقه زیاد است. همچنین رزاقی و همکارانش [۱۲] به ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات سطحی خلیج نایبند و عسلویه در شمال خلیج فارس پرداختند. در این مطالعه پتانسیل آلودگی منطقه به کمک شاخص‌های ضریب آلودگی (Cf) و درجه آلودگی (^۹Cd) محاسبه شد. نتایج نشان داد رسوبات در منطقه مطالعه شده از نظر فلزات نیکل، سرب، روی، کادمیوم و مس در محدوده ریسک کم و از نظر فلز جیوه در محدوده ریسک اکولوژیک بسیار زیاد قرار دارد. در مطالعه‌ای دیگر جمشیدی زنجانی و سعیدی [۱۳] آلودگی و پهنه‌بندی کیفی رسوبات سطحی تالاب انزلی را ارزیابی کردند. در این پژوهش غلظت فلزات مس، روی، کروم، آهن، منگنز، سرب، نیکل و کادمیوم در رسوبات ۴۱ ایستگاه نمونه‌برداری و به کمک شاخص‌های کیفی برآورد رسوب، سنجیده شد. نتایج بررسی شاخص‌های

1. Enrichment Factor
2. Modified of contamination
3. Yellow
4. Geo-accumulation Index
5. Contamination Factor
6. Futian
7. Shenzhen
8. Potential Ecological Risk Index
9. Degree of contamination

- بخش حاشیه حوضچه آبگیر که به‌علت وجود آب و زیادبودن درصد نمک گونه‌های آب‌دوست و مقاوم به شوری زیاد دارد (مثل *Juncus*).

- بخش‌های کناری دشت رسوبی که به‌علت کم‌بودن درصد نمک و تنوع در نوع خاک نسبت به سایر نقاط، پوشش متنوع‌تری دارد و بیشتر دارای گیاهان یک‌ساله است [۱۵] دسته‌بندی کرد.

همچنین این تالاب پذیرای شمار زیادی از پرندگان مهاجر در فصول سرد سال، به‌خصوص فصل زمستان است؛ که گونه‌ی درنای معمولی بیشترین پرنده مهاجر در این منطقه را شامل می‌شود [۱۵].

روش تحقیق

با بررسی میدانی منطقه و مطالعه نقشه‌های موجود، انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری براساس پوشش گیاهی تالاب، منابع آلودگی، سهولت دسترسی و سایر فاکتورهای مؤثر در نمونه‌برداری، صورت پذیرفت. موقعیت تالاب میقان و نقاط نمونه‌برداری در شکل ارائه شده است (شکل ۱).

نمونه‌برداری از ۳۰ ایستگاه، همراه با سه تکرار در نقاط مختلف تالاب انجام و موقعیت جغرافیایی همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد (شکل ۱). نمونه‌ها از عمق ۲۰-۳۰ سانتی‌متری رسوبات با تراشیدن لایه سطحی با استفاده از قاشق پلاستیکی تمیز برداشت شد و جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی در یخدان و دمای ۴°C بلافاصله به آزمایشگاه منتقل و در فریزر و در دمای ۲۰°C- برای مراحل آماده‌سازی و هضم نگهداری شد [۱۶].

به‌منظور آنالیز آزمایشگاهی، نمونه‌ها با استفاده از آون در دمای ۸۰°C خشک و سپس با الک ۶۳ میکرومتری الک شد. برای تعیین غلظت فلزات سنگین یک گرم از رسوبات خشک‌شده در ۱۰ میلی‌لیتر محلول مخلوط اسید نیتریک غلیظ^۲ و اسید پرکلریک^۳ با نسبت چهار به یک درون لوله آزمایش برای هضم اولیه، به‌مدت یک ساعت در دمای ۴۰°C و سپس برای هضم کامل به مدت سه ساعت، در ۱۴۰°C هضم شد. در پایان نمونه‌ها با کاغذ صافی واتمن^۴ ۴۲ میکرونی فیلتر شده و با کمک آب دو بار

ریسک اکولوژیک و درجه آلودگی اصلاح‌شده بیان‌کننده وضعیت آلودگی متوسط و ریسک اکولوژیکی زیاد، در مناطق شرقی و جنوب شرقی این تالاب نسبت به سایر بخش‌های آن بود.

این مطالعه به سنجش فلزات سنگین سرب، روی و مس در رسوبات سطحی اطراف حوضچه آبگیر تالاب میقان (با در نظر داشتن محل استقرار صنایع آلوده‌کننده در اطراف تالاب) می‌پردازد. همچنین هدف پژوهش حاضر ارزیابی کیفی رسوبات به کمک شاخص‌های کیفی و نیز پهنه‌بندی غلظت آلاینده‌های فلزی بررسی شده به کمک روش برآورد تراکم کرنل است.

مواد و روش‌ها

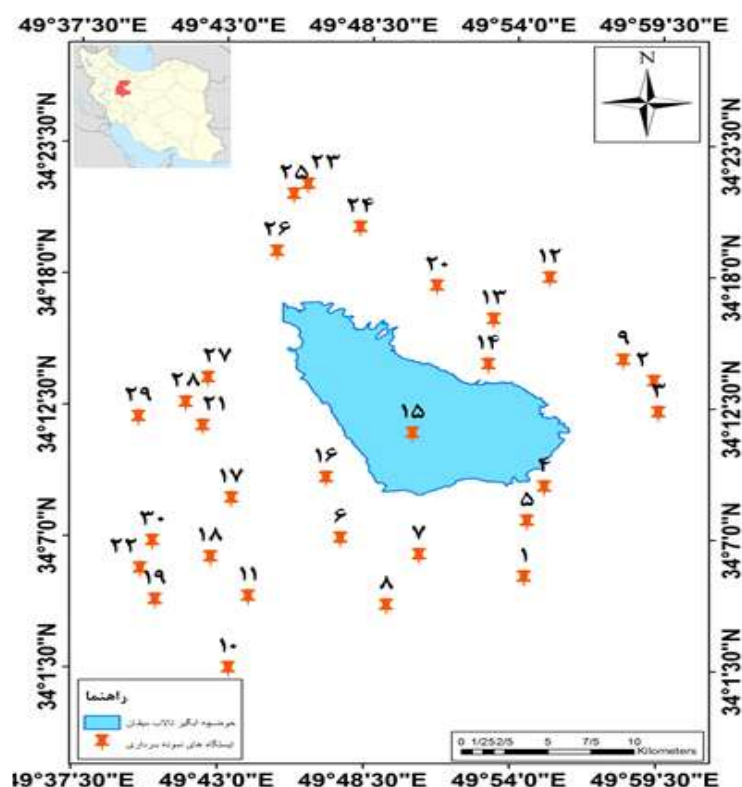
منطقه مطالعاتی

کویر میقان مشهورترین پدیده طبیعی در استان مرکزی است که مربوط به دوره کواترنر است. این حوزه رسوبی متعلق به کمربند ولکانیکی ارومیه است و بخش‌های میانی و جنوب غربی آن در زون سنندج-سیرجان واقع شده است [۱۴]. بافت غالب خاک منطقه از نوع Clay تا Sand-Clay-Loam است. اسیدیته (pH) خاک بین ۸/۱ تا ۸/۶ و هدایت الکتریکی آن بین ۱۸/۴ تا ۷۱/۱ میلی‌موس بر سانتی‌متر و درصد سدیم (ECP) بین ۲۸/۶ تا ۹۰/۱ است [۱۵]. میانگین ارتفاع در این منطقه ۱۶۶۰ متر از سطح دریا است و عرصه کویر به‌طور کلی تقریباً مسطح و شیب از سطوح غرب و جنوب به سمت مرکز (کویر نمک) است [۱۴]. بررسی هیدرولوژی این تالاب نشان می‌دهد بیشتر آب واردشده به تالاب به‌دست‌آمده از بارش‌های جوئی، چشمه‌های اطراف و رودخانه‌های فصلی در منطقه مانند رودخانه فراهان، شهرآب و قره‌کهریز است. در سال‌های اخیر ورود پساب فاضلاب شهر اراک به میزان ۷۰۰ لیتر در ثانیه از دیگر منابع تغذیه آبی تالاب بوده است که بر زیست‌بوم منطقه تأثیر گذاشته است [۱۴ و ۱۵].

پوشش گیاهی تالاب کویری میقان را می‌توان به‌صورت:

- بخش آبگیر مرکزی بیشتر فاقد پوشش گیاهی است که به‌علت وجود نمک خالص در منطقه است.

1. Geographic Positional System
2. HNO₃; AnalaR grade, R&M 65%
3. HClO₄; AnalaR grade, R&M 70%
4. Whatman No.1



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و نقشه توزیع ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوب در تالاب میقان

توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^۲ و هموژنیته^۳ نتایج نیز به کمک آزمون لون^۴ بررسی شد. به‌منظور بررسی وجود اختلاف معنادار بین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف، از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه^۵، آزمون دانکن^۶ و آزمون Dunnett T3 استفاده شد. همچنین از آزمون همبستگی پیرسون^۷ برای بررسی رابطه بین غلظت عناصر موجود استفاده شد.

در این پژوهش شاخص‌های ضریب آلودگی CF، ارزیابی ریسک اکولوژیک^۸ RI^۸ اندازه‌گیری شد و درجه سمیت رسوبات به‌وسیله معیار کیفیت رسوب SQGs^۹ بررسی شد. همچنین غلظت فلزات بررسی شده در منطقه با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS (ورژن ۱۰/۳) به‌کمک روش برآورد تراکم کرنل^{۱۰}، پهنه‌بندی شد.

تقطیر، در بالن‌های حجمی ۲۵ میلی‌لیتری به حجم‌ساز شده. برای اطمینان از دقت عملیات هضم و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی نمونه و تأثیرنداشتن مواد مصرفی بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه شاهد در نظر گرفته شد. عصاره نمونه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت فلزات با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی شعله^۱ ساخت آمریکا، آنالیز شد. همچنین برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به‌وسیله جذب اتمی، ابتدا با استفاده از محلول‌های استاندارد آماده شرکت مرک آلمان، دستگاه جذب اتمی کالیبره و سپس نمونه‌ها آنالیز شد [۱۷ و ۱۸].

حد تشخیص دستگاه برای سنجش فلزات بررسی شده سرب، روی و مس به‌ترتیب ۰/۳۹۸، ۰/۱۸۵ و ۱/۰۱۲ میکروگرم بر گرم و ریکآوری نتایج در محدوده ۸۷-۹۵ درصد به‌دست آمد.

آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۲۳) انجام شد. پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، نرمال بودن

2. Kolmogorov-Smirnov

3. Homogeneity

4. Leven Test

5. One Way ANOVA

6. Duncan

7. Pearson

8. Potential Ecological Risk Index

9. Sediment Quality Guidelines

10. Kernel Density

1. SpectrAA Model VARIAN240

براساس نظر هاکنسون [۱۹]، میزان Tr که به صورت ضریب سمیت در این رابطه تعریف شده است، برای فلزات سرب، روی و مس به ترتیب ۵، ۱ و ۵ بیان شده است. در جدول ۳ نیز طبقه‌بندی نتایج براساس شاخص ریسک اکولوژیک ارائه شده است.

جدول ۳. طبقه‌بندی ریسک اکولوژیک بر مبنای محاسبه RI [۱۹]

مقدار RI	وضعیت ریسک اکولوژیک
۱۵۰ >	ریسک اکولوژیکی کم
۱۵۰-۳۰۰	ریسک اکولوژیکی متوسط
۳۰۰-۶۰۰	ریسک اکولوژیکی شایان توجه
۶۰۰ <	ریسک اکولوژیکی بسیار زیاد

معیار کیفیت رسوب (SQGs)

تعیین درجه سمیت رسوبات به فلزات سنگین و اینکه آیا تهدیدی برای زندگی آبزیان در بر خواهند داشت، بسیار مهم است. این موضوع با دو مجموعه از معیارهای کیفیت رسوب شامل سطح اثر آستانه (TEL^۲) و سطح اثر احتمالی (PEL^۳)، محدوده تأثیرات کم (ERL^۴) و محدوده تأثیرات متوسط (ERM^۵) ارزیابی می‌شود [۲۱ و ۲۲].

استاندارد SQGs برای ارزیابی وضعیت مواد شیمیایی در رسوب که ممکن است موجودات آبزی را تحت تأثیر قرار دهد و برای کمک به تفسیر کیفیت رسوب طراحی شده است [۲۳ و ۲۴]. در این مطالعه از معیار TEL که نشان‌دهنده غلظت کم است و در آن تأثیرات سوء بر موجودات ساکن رسوب به ندرت انتظار می‌رود؛ و PEL که نشان‌دهنده غلظت شیمیایی زیاد است و احتمال ایجاد تأثیرات نامطلوب در آن زیاد است [۲۵]، برای ارزیابی کیفیت رسوبات منطقه استفاده شد. معیار SQGs در آمریکا برای بوم‌سازگان‌های آب شیرین و دریا استفاده شده و برای شناسایی آلاینده‌های نگران‌کننده در پهنه‌های آبی بهره‌برداری می‌شود [۲۵].

مقادیر شاخص‌های سطح اثر آستانه (TEL) و سطح اثر احتمالی (PEL) (جدول ۴) همراه جدول رده‌بندی (جدول ۵) آنها در ادامه آمده است.

شاخص ضریب آلودگی (CF)

ضریب آلودگی توصیفی از آلودگی مربوط به فلز بررسی شده را ارائه می‌دهد. ضریب آلودگی هاکنسون [۱۹] از رابطه ۱ به دست می‌آید:

$$CF = \frac{M_x}{M_b} \quad (1)$$

در این زمینه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) است.

جدول ۱. رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی CF رسوبات [۱۹]

مقدار CF	ضریب آلودگی رسوب
۱ < CF	ضریب آلودگی پایین
۱ ≤ CF < ۳	ضریب آلودگی متوسط
۳ ≤ CF < ۶	ضریب آلودگی شایان توجه
CF ≥ ۶	ضریب آلودگی بسیار زیاد

برای تعیین میزان آلاینده‌های رسوب به عناصر سنگین در یک منطقه، باید غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته‌شده مقایسه شود. بهترین شیوه، مقایسه داده‌ها با استانداردهای موجود برای همان منطقه است، زیرا شرایط زمین‌شناسی، محیطی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند که در کشور ما به دلیل نبود استانداردهای خاص برای درجه آلودگی رسوب، غالباً از میانگین شیل که توسط Wedephol, Turkian ارائه شده [۲۰]، استفاده می‌شود.

جدول ۲. غلظت عناصر در میانگین شیل (μg/g) [۲۰]

عناصر	سرب	روی	مس
میانگین شیل (μg/g)	۲۰	۹۵	۴۵

شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک (RI)

هاکنسون [۱۹] برای ارزیابی ریسک اکولوژیک رسوبات در محیط‌های آبی شاخصی را به صورت زیر بیان کرد:

$$RI = \sum_{i=1}^m Er_i \text{ و } Er = Tr \times CF \quad (2)$$

که در آن Er پتانسیل ریسک اکولوژیک هر یک از عناصر و RI پتانسیل ریسک اکولوژیک کل فلزات (تجمعی) است.

2. Threshold Effect Level
3. Probable Effect Level
4. Effect Range Low
5. Effect Range Median

1. Hakanson

همچنین کمترین میانگین کل غلظت مربوط به عنصر سرب و بیشترین میزان مربوط به عنصر مس در این پژوهش به دست آمد.

نتایج آنالیز آماری

با کمک آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال بودن نتایج ($p > 0.05$) و با کمک آزمون یکنواختی لون، هموزنیته داده‌ها بررسی شد ($p > 0.05$) نتایج هموزنیته نشان داد تنها عنصر روی همگنی و یکنواختی دارد. همچنین مقایسه غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف به کمک آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA)، نشان داد اختلاف معناداری بین غلظت فلزات سنگین سنجیده شده در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد ($p < 0.05$) (جدول ۷).

نتایج آزمون دانکن^۲ برای عنصر روی، و آزمون Dunnett T3 برای فلزات سرب و مس نشان داد غلظت فلزات سنگین بررسی شده در بیشتر ایستگاه‌های نمونه برداری در بخش‌های شمالی و شرقی تالاب با بیشتر ایستگاه‌های واقع در جنوب و غرب اختلاف معناداری دارد (جدول ۸).

همچنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون، نشان داد با احتمال ۹۹ درصد، همبستگی مثبت و معناداری بین غلظت فلزات سرب و مس در ایستگاه‌های نمونه برداری در تالاب میقان وجود دارد ($p < 0.01$) (جدول ۹).

نتایج شاخص ضریب آلودگی (CF)

نتایج محاسبه شاخص ضریب آلودگی CF مربوط به عناصر مد نظر در رسوبات این تالاب به صورت زیر قابل ارائه است (شکل ۲).

با توجه به نتایج محاسبه شده (شکل ۲)، ضریب آلودگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف براساس رده بندی هاکنسون [۱۹] به این شرح است. فلز سرب و روی در همه ایستگاه‌های نمونه برداری مقادیری کمتر از یک دارند و در نتیجه دارای ضریب آلودگی کمی هستند. فلز مس در ایستگاه‌های ۴ (ضلع جنوب شرقی)، ۱۸ (ضلع جنوب غربی) و ۲۱ (ضلع غربی) دارای ضریب آلودگی شایان توجه، در ایستگاه‌های ۱۰ (ضلع جنوبی) و ۲۰ (ضلع شمالی) دارای ضریب آلودگی متوسط و در باقی ایستگاه‌ها ضریب آلودگی کمی را نشان داد.

جدول ۴. مقادیر استاندارد SQGs برای فلزات سنگین [۲۳]

فلزات سنگین	TEL	PEL
سرب	۳۵	۹۱/۳
روی	۱۲۳	۳۱۵
مس	۳۵/۷	۱۹۷

جدول ۵. رده بندی معیارهای کیفیت رسوب SQGs و تأثیرات آن [۲۶ و ۲۷]

تأثیرات	معیار کیفی رسوبات
با تأثیرات نامطلوب زیست‌شناختی همراه نیست	$<TEL$
گاهی اوقات ممکن است با تأثیرات نامطلوب زیست‌شناختی همراه باشد	$TEL-PEL$
بیشتر با تأثیرات نامطلوب زیست‌شناختی همراه است	$>PEL$

پهنه بندی به روش برآورد تراکم کرنل

روش برآورد تراکم کرنل که به وسیله رزنبلات^۱ در سال ۱۹۵۶ میلادی معرفی شد، توجه شایان توجهی را در برآورد غیرپارامتریک تراکم احتمالی به خود جلب کرده است. برآورد تراکم کرنل روشی محبوب به منظور تحلیل داده‌های یک بعدی و دوبعدی است. برآورد تراکم اطلاعات مفیدی را در زمینه عوارض و پارامترهای موجود در داده‌ها ارائه می‌دهد [۲۸]. این روش قادر است به سرعت و به صورت بصری نقاط کانون را از پایگاه داده‌های بزرگ شناسایی کند و در نتیجه خروجی کیفی رضایت بخشی را ارائه دهد [۲۹] که به منظور پهنه بندی غلظت فلزات سنگین در تالاب میقان از این روش استفاده شد.

نتایج

مطابق با جدول ۶، میانگین کل غلظت فلزات سرب، روی و مس در رسوبات تالاب میقان (برحسب میکروگرم بر گرم) به ترتیب شامل ۹/۸۲، ۱۱/۵۷ و ۳۸/۱۸ در ایستگاه‌های نمونه برداری است. همچنین مقادیر کمینه و بیشینه غلظت این فلزات به تفکیک هر عنصر در هر ایستگاه، برای فلز سرب ۴/۱۱ در ایستگاه ۲۶ و ۱۸/۵۱ در ایستگاه ۱۸، برای عنصر روی ۱/۹۵ در ایستگاه ۲۳ و ۴۱/۲۳ در ایستگاه ۳۰ و برای عنصر مس ۱۱/۶۰ در ایستگاه ۱۳ و ۱۵۲/۱۹ در ایستگاه ۲۱ است.

جدول ۶. غلظت فلزات سنگین سرب، روی و مس در رسوبات تالاب میقان (برحسب میکروگرم بر گرم)

ایستگاه نمونه برداری	سرب			روی			مس		
	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین
۱	۹/۸۷	۹/۷۵	۹/۸۰	۶/۷۴	۶/۶۰	۶/۶۵	۱۷/۶۳	۱۷/۴۴	۱۷/۵۳
۲	۹/۲۰	۹/۰۰	۹/۱۰	۹/۷۳	۹/۵۶	۹/۶۳	۱۷/۱۳	۱۷/۰۱	۱۷/۰۳
۳	۵/۳۰	۵/۰۰	۵/۱۳	۹/۵۵	۹/۴۹	۹/۵۱	۳۰/۳۵	۳۰/۲۹	۳۰/۳۲
۴	۱۳/۰۰	۱۲/۷۹	۱۲/۸۶	۷/۶۶	۷/۵۸	۷/۶۳	۱۳۸/۴۱	۱۳۸/۳۱	۱۳۸/۳۵
۵	۱۰/۴۴	۱۰/۳۸	۱۰/۴۴	۷/۱۰	۷/۰۳	۷/۰۶	۱۷/۶۷	۱۷/۵۰	۱۷/۵۷
۶	۸/۶۵	۸/۴۳	۸/۵۲	۲۸/۰۱	۲۸/۸۸	۲۸/۹۵	۱۸/۱۶	۱۸/۰۹	۱۸/۱۲
۷	۷/۷۸	۷/۵۴	۷/۶۴	۷/۷۶	۷/۷۰	۷/۷۲	۲۳/۹۳	۲۳/۸۶	۲۳/۸۹
۸	۱۸/۴۰	۱۸/۳۴	۱۸/۳۶	۶/۹۱	۶/۸۷	۶/۸۸	۱۸/۱۱	۱۶/۰۸	۱۶/۷۷
۹	۸/۱۰	۸/۰۰	۸/۳۶	۹/۳۰	۹/۲۲	۹/۲۶	۱۹/۲۰	۱۹/۱۴	۱۹/۱۷
۱۰	۱۲/۶۳	۱۲/۵۰	۱۲/۵۷	۷/۶۵	۷/۵۹	۷/۶۱	۵۰/۶۷	۵۰/۴۹	۵۰/۶۰
۱۱	۸/۰۰	۷/۵۶	۷/۸۵	۷/۱۹	۷/۱۱	۷/۱۴	۳۲/۱۱	۳۲/۰۶	۳۲/۰۸
۱۲	۱۱/۳۴	۱۱/۱۴	۱۱/۲۳	۸/۱۵	۷/۹۹	۸/۰۵	۲۱/۱۹	۲۱/۰۶	۲۱/۱۲
۱۳	۶/۶۳	۶/۵۰	۶/۵۷	۸/۳۸	۸/۲۶	۸/۳۱	۱۱/۷۳	۱۱/۶۰	۱۱/۶۶
۱۴	۷/۵۹	۷/۴۰	۷/۴۹	۸/۱۹	۸/۱۲	۸/۱۵	۲۲/۴۳	۲۲/۳۱	۲۲/۳۷
۱۵	۸/۴۳	۸/۳۸	۸/۴۰	۸/۶۶	۸/۵۹	۸/۶۲	۱۴/۵۳	۱۴/۴۲	۱۴/۴۶
۱۶	۱۳/۰۳	۱۲/۸۵	۱۲/۹۶	۹/۱۰	۸/۹۶	۹/۰۱	۲۰/۱۳	۲۰/۰۳	۲۰/۸۳
۱۷	۱۱/۱۰	۱۰/۹۳	۱۱/۰۱	۹/۸۸	۹/۶۰	۹/۷۴	۲۲/۹۱	۲۲/۸۳	۲۲/۸۷
۱۸	۱۸/۵۱	۱۸/۴۰	۱۸/۴۵	۹/۶۷	۹/۵۴	۹/۶۰	۱۹۷/۶۴	۱۹۷/۴۹	۱۹۷/۵۶
۱۹	۵/۱۰	۵/۰۲	۵/۰۵	۷/۴۳	۷/۳۰	۷/۳۵	۲۵/۹۸	۲۵/۸۷	۲۵/۹۳
۲۰	۱۱/۹۲	۱۱/۸۲	۱۱/۸۸	۶/۶۳	۶/۵۳	۶/۵۷	۴۹/۹۳	۴۹/۸۱	۴۹/۸۷
۲۱	۵/۶۳	۵/۵۷	۵/۶۰	۲۰/۱۰	۱۹/۸۷	۱۹/۹۷	۱۵۲/۱۹	۱۵۲/۰۲	۱۵۲/۱۱
۲۲	۱۵/۳۱	۱۵/۱۲	۱۵/۲۳	۱۰/۱۴	۱۰/۰۵	۱۰/۹۳	۳۲/۶۶	۳۲/۵۶	۳۲/۶۱
۲۳	۸/۶۸	۸/۵۴	۸/۶۳	۲/۰۱	۱/۹۵	۱/۹۸	۲۲/۳۴	۲۲/۲۳	۲۲/۲۸
۲۴	۱۰/۵۴	۱۰/۳۷	۱۰/۴۴	۳/۹۸	۳/۸۸	۳/۹۳	۱۷/۷۱	۱۷/۵۶	۱۷/۶۵
۲۵	۷/۷۰	۷/۶۳	۷/۶۶	۲/۲۳	۲/۰۶	۲/۱۳	۱۵/۳۳	۱۵/۲۴	۱۵/۲۸
۲۶	۴/۱۵	۴/۱۱	۴/۱۲	۶/۷۶	۶/۵۱	۶/۶۲	۱۵/۵۹	۱۵/۴۵	۱۵/۵۰
۲۷	۹/۱۹	۹/۰۹	۹/۱۴	۲۰/۳۴	۲۰/۲۱	۲۰/۲۸	۳۳/۵۱	۳۳/۴۴	۳۳/۴۸
۲۸	۷/۵۹	۷/۲۹	۷/۴۴	۲۴/۱۹	۲۴/۱۰	۲۴/۱۴	۳۱/۷۹	۳۱/۷۳	۳۱/۷۶
۲۹	۱۴/۱۱	۱۴/۰۰	۱۴/۰۴	۲۸/۱۰	۲۷/۸۶	۲۷/۹۸	۱۶/۹۱	۱۶/۸۰	۱۶/۸۴
۳۰	۱۱/۹۳	۱۱/۷۳	۱۱/۸۲	۴۱/۲۳	۴۱/۱۱	۴۱/۱۶	۳۹/۱۱	۳۹/۰۴	۳۹/۷۳

جدول ۷. نتایج بررسی نرمالیتی، هموزنیته و آنالیز واریانس یک طرفه فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان

فلزات سنگین	سطح معناداری	
	آزمون نرمالیتی	آنالیز واریانس یک طرفه
سرب	۰/۱۴	۰/۰۰
روی	۰/۱۸	۰/۰۰
مس	۰/۰۹	۰/۰۴

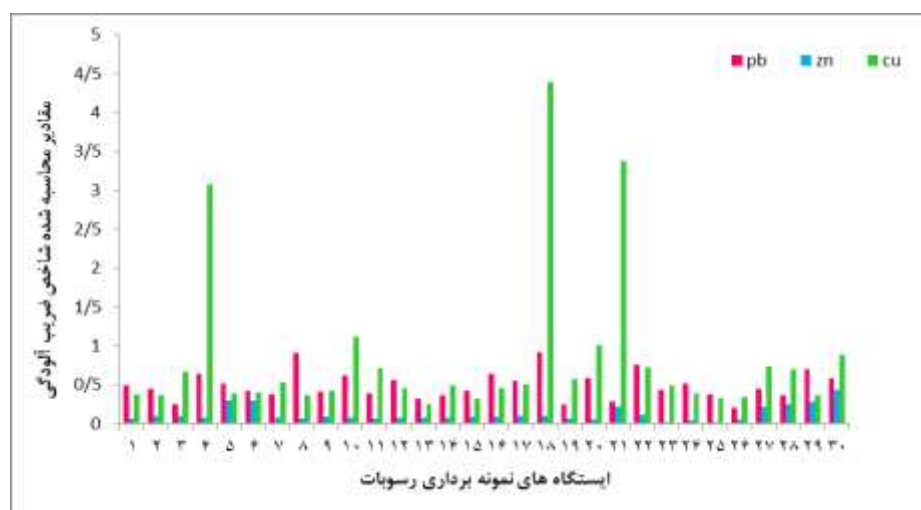
جدول ۸. نتایج آزمون دانکن و آزمون Dunnett T3

ایستگاه‌ها	ضلع شمالی	ضلع شمال شرقی	ضلع جنوب شرقی	ضلع جنوب غربی	ضلع غربی	ضلع شمال غربی
ضلع شمالی	*	*	*	*	*	*
ضلع شمال شرقی	*	*	*	*	*	*
ضلع شرقی	*	*	*	*	*	*
ضلع جنوب شرقی	*	*	*	*	*	*
ضلع جنوبی	*	*	*	*	*	*
ضلع جنوب غربی	*	*	*	*	*	*
ضلع غربی	*	*	*	*	*	*
ضلع شمال غربی	*	*	*	*	*	*

* نشان دهنده وجود اختلاف معنادار میان ایستگاه‌های مشخص شده است.

جدول ۹. نتایج همبستگی آزمون پیرسون عناصر سرب، روی و مس در رسوبات تالاب میقان

عناصر	سرب	روی	مس
سرب	r P	۱ -	
روی	r P	۰/۰۵ ۰/۶۱	۱ -
مس	r P	۰/۰۷ ۰/۴۷	۱ -



شکل ۲. شاخص ضریب آلودگی CF فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات تالاب میقان

نتایج برآورد ریسک اکولوژیک و مقایسه آنها با رده‌بندی ریسک اکولوژیک (جدول ۳)، این تالاب از نظر فلزات سنگین سرب، روی و مس ریسک اکولوژیک کمی دارد.

نتایج شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک (RI) نتایج محاسبه ریسک اکولوژیک رسوبات نسبت به فلزات سنگین بررسی شده در جدول ۱۰ آمده است. براساس

نتایج معیار کیفیت رسوب (SQGs)

نتایج محاسبه معیار کیفیت رسوب SQGs در جدول ۱۱ آمده است.

براساس جدول ۱۲ غلظت سرب و روی در همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری در زیر سطح TEL قرار دارند. برای عنصر مس نیز ۸۰ درصد نمونه‌ها در زیر سطح TEL بوده و ۱۶/۷۰ درصد آنها غلظتی بین TEL و PEL داشتند و فقط ۳/۳۰ درصد از آنها غلظتی بیشتر از سطح PEL را شامل شدند.

نتایج پهنه‌بندی به روش برآورد تراکم کرنل

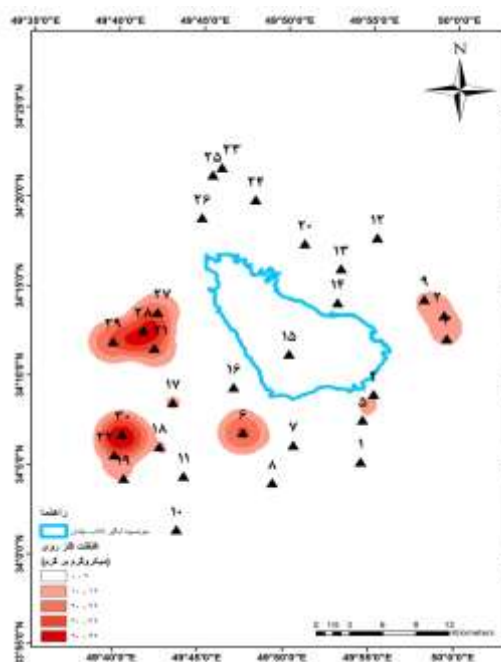
نتایج پهنه‌بندی فلزات سنگین، براساس روش برآورد تراکم کرنل، در شکل‌های ۳-۵ ارائه شده است. براساس نقشه‌های پهنه‌بندی، هرچه غلظت فلز سنگین در ایستگاه مربوط بیشتر می‌شود، درجه رنگ نیز در آنها افزایش می‌یابد. نقشه‌های ارائه‌شده تصویری روشن از چگونگی پراکنش مکانی فلزات برحسب غلظت‌های بررسی‌شده در این مطالعه را ارائه می‌دهند.

جدول ۱۰. نتایج شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک در رسوبات تالاب میقان

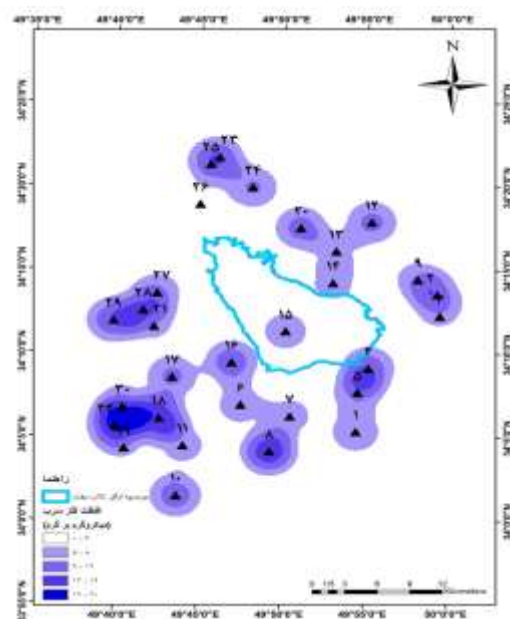
فلزات سنگین	مقدار RI	وضعیت ریسک اکولوژیک
سرب	۳۷/۹۰	ریسک اکولوژیکی کم
روی	۳/۷۳	ریسک اکولوژیکی کم
مس	۱۲۶/۵۵	ریسک اکولوژیکی کم

جدول ۱۱. نتایج مقایسه فلزات اندازه‌گیری‌شده با معیار کیفیت رسوب SQGs

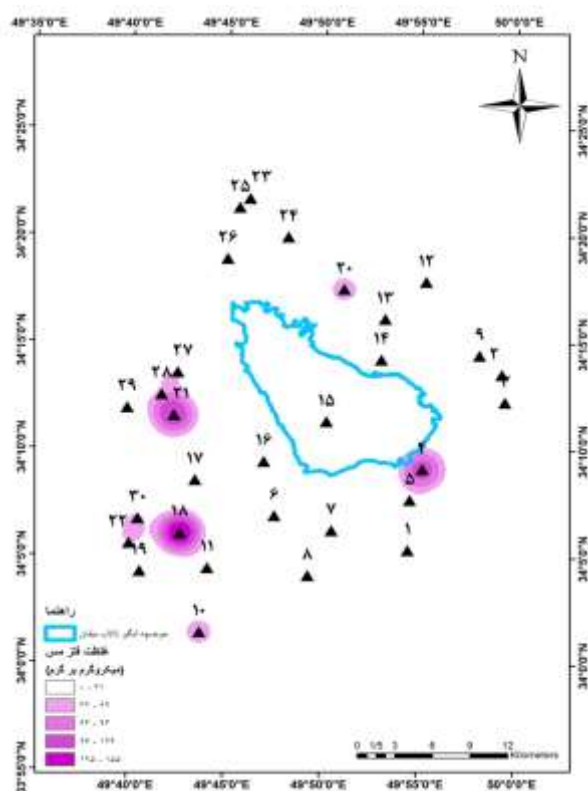
فلزات سنگین	سرب	روی	مس
شاخص‌ها			
% <TEL	۱۰۰ درصد	۱۰۰ درصد	۸۰ درصد
% TEL-PEL	۰ درصد	۰ درصد	۱۶/۷۰ درصد
% >PEL	۰ درصد	۰ درصد	۳/۳۰ درصد



شکل ۴. پهنه‌بندی غلظت فلز روی در رسوبات سطحی تالاب میقان



شکل ۳. پهنه‌بندی غلظت فلز سرب در رسوبات سطحی تالاب میقان



شکل ۵. پهنه‌بندی غلظت فلز مس در رسوبات سطحی تالاب میقان

۲۳، ۲۵ و ۲۶ مشاهده شد که مربوط به نقاط نمونه‌برداری در بخش شمالی و شمال شرقی و جزیره مرکزی تالاب است. بدین‌منظور مطالعات میدانی نشان داد ضلع شمالی این تالاب تمرکز کمتری از صنایع مختلف آلاینده نسبت به سایر بخش‌های این حوضچه آبگیر دارد. همچنین این تالاب فقط از نظر فلز مس در وضعیت شایان توجه از نظر آلودگی قرار دارد و ایستگاه‌های دارای این شدت از آلودگی در بخش‌های غربی، جنوب غربی و جنوب شرقی واقع شده‌اند. بررسی کاربری‌های اطراف این ایستگاه‌ها نشان داد، تمرکز مراکز آلاینده‌ای چون شهرک صنعتی ایبک‌آباد، وجود زمین‌های کشاورزی روستاهای بخش غربی، منطقه صنعتی گاوخانه، کارخانه املاح معدنی و شهر صنعتی اراک می‌تواند از عوامل ایجادکننده این شدت از آلودگی باشد.

نتایج برآورد ریسک اکولوژیک (RI)، این تالاب را از نظر همه فلزات بررسی شده در محدوده ریسک اکولوژیک کم دسته‌بندی کرد. همچنین نتایج جدول ۱۱ نشان داد بیشترین میزان ریسک اکولوژیک مربوط به عنصر مس در این تالاب است.

بحث و نتیجه‌گیری

رسوبات محل تجمع بسیاری از مواد فیزیکی و زیستی هستند و طیف گسترده‌ای از مواد شیمیایی را در خود نگه می‌دارند. آنچه سبب اهمیت بررسی مواد متشکله رسوبات می‌شود این است که بسیاری از گونه‌های زنده، بخش زیاد دوره زندگی خود را در محیط رسوبی یا روی آن می‌گذرانند. از این‌رو، مواد موجود در رسوبات از طریق چرخه‌های زیستی وارد بدن موجودات دیگر و همچنین انسان می‌شود؛ به همین دلیل در بیشتر مطالعات تأکید شده‌اند [۳۰].

براساس نتایج به‌دست‌آمده از شاخص ضریب آلودگی، دامنه تغییرات شاخص ضریب آلودگی برای فلز سرب بین ۰/۲۰ تا ۰/۹۲، برای فلز روی بین ۰/۰۲ تا ۰/۴۳، برای عنصر مس بین ۰/۳۲ تا ۴/۳۹ و برای عنصر نیکل بین ۰/۲۶ تا ۱/۲۸ محاسبه شد. بیشترین مقادیر مربوط به ایستگاه‌های ۳، ۱۸ و ۳۰ بوده است که بیشتر آنها در ایستگاه‌های بخش جنوب غربی این تالاب و دارای بیشترین مجاورت و نزدیکی به شهر صنعتی اراک و سایر صنایع آلاینده در این بخش هستند. همچنین کمترین مقادیر در ایستگاه‌های ۱۲، ۱۵،

آلودگی (Cf) سنجیده و نتایج نشان داد رسوبات منطقه غنی‌شدگی شدید نسبت به قلع و غنی‌شدگی متوسط نسبت به کادمیوم را دارد. همچنین منطقه از نظر شاخص بار آلودگی در برخی ایستگاه‌ها آلودگی داشته است. لیانگ و همکارانش [۳۳] به بررسی زمانی - مکانی غلظت فلزات سنگین و منشأ آنها در رسوبات بخش جنوبی تالاب دانگتینگ^۴ پرداختند. این مطالعه طی سه سال در ۱۰ مختلف انجام شد و نتایج بررسی غلظت فلزات سنگین نشان داد کروم بیشترین میزان و جیوه کمترین میزان در منطقه مطالعاتی را دارد. شاخص‌های زمین‌انباشت مولر (Igeo) و شاخص بار آلودگی (PLI) نیز ارزیابی شد. همچنین به کمک نرم‌افزار GIS پراکنش مکانی و زمانی فلزات سنگین در منطقه نمایش داده و نتایج بیان داشت منشأ آلودگی‌ها در منطقه به‌علت فعالیت‌های انسانی، بخش صنعتی، فعالیت‌های کشاورزی، معدن‌کاری، صنایع شیمیایی و تصفیه‌ای در اطراف منطقه مطالعه شده است.

نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی فلزات به کمک برآورد تراکم کرنل نیز نشان‌دهنده حضور فراوان مواد آلاینده فلزی در بخش‌های جنوبی و غربی (جنوب، غرب، جنوب شرقی و جنوب غربی) این تالاب است. که شکل‌های ۳-۵ تأییدکننده این امر هستند.

درنهایت، نتایج به‌دست‌آمده از شاخص ضریب آلودگی (CF)، برآورد ریسک اکولوژیک (RI) و نیز مقایسه غلظت عناصر بررسی شده با معیار کیفیت رسوب SQGs نشان‌دهنده تمرکز زیاد آلودگی در کرانه‌های جنوبی و غربی (جنوب، غرب، جنوب غربی و جنوب شرقی) این تالاب است که منطبق با نقشه‌های پهنه‌بندی به کمک روش برآورد تراکم کرنل است. احتمال می‌رود وجود آلودگی در ضلع جنوبی و غربی تالاب و تمرکز زیاد عنصر مس نسبت به روی و سرب، ناشی از حضور مراکز تولید آلودگی همچون کارخانه املاح ایران، تصفیه‌خانه فاضلاب شهری اراک، فرودگاه اراک، بخش‌های صنعتی موجود، زمین‌های کشاورزی و چرای غیرمجاز دام در این بخش باشد و به اعمال مدیریتی بهینه برای کاهش و کنترل مواد آلاینده در این اکوسیستم تلاقی نیاز دارد.

مقایسه غلظت عناصر بررسی شده با معیار کیفیت رسوب SQGs نشان داد عنصر مس در ۱۶/۷۰ درصد ایستگاه‌های نمونه‌برداری غلظتی بین TEL و PEL، در ۸۰ درصد ایستگاه‌ها غلظتی کمتر از TEL و در ۳/۳۰ درصد از ایستگاه‌ها غلظتی بیشتر از PEL دارد. همچنین همه ایستگاه‌های نمونه‌برداری سرب و روی غلظتی کمتر از سطح TEL را نشان دادند. گرچه تنها فلز مس در این تالاب غلظتی بیشتر از PEL را نشان داد و به تعبیری این تالاب فقط از نظر مس تأثیرات نامطلوب زیست‌شناختی دارد، ولی باید پیش از آنکه سایر فلزات سنگین نیز به تهدیدی جدی برای سلامت محیط زیست و موجودات منطقه تبدیل شوند، اقدامات پیش‌گیرانه و نیز مدیریت و نظارت صحیحی در تالاب لحاظ شود، تا از افزایش میزان مواد آلاینده جلوگیری شود.

همچنین می‌توان تالاب میقان را از نظر غلظت کل عناصر و درجه آلودگی رسوبات به فلزات بررسی شده در این پژوهش، به ترتیب زیر رتبه‌بندی کرد:

مس < روی < سرب

با توجه به زیادبودن عنصر مس نسبت به سایر فلزات بررسی شده، و از آنجا که مس بیشتر از تخلیه پساب‌های صنعتی و خانگی ناشی می‌شود، حضور این عنصر آلاینده در این تالاب به کنترل جدی نیاز دارد.

نتایج این مطالعه همسو با مطالعات برخی پژوهشگران به شرح زیر است. در مطالعه‌ای باقری و همکارانش [۳۱] به مطالعه پراکنش فلزات سنگین جیوه، آرسنیک، کادمیوم، نیکل، وانادیوم، سرب و روی در رسوبات سطحی سواحل سیسنگان در جنوب دریای خزر پرداختند. نتایج بیان‌کننده آن بود که وانادیوم بیشترین تجمع و جیوه کمترین تجمع در منطقه بررسی شده را دارد. همچنین مقایسه با استانداردهای جهانی همچون راهنمای کیفیت رسوب NOAA^۱ و کانادا نشان داد تنها غلظت فلزات کادمیوم و نیکل در منطقه بالاست. در پژوهشی دیگر کادومما و همکارانش [۳۲] به بررسی پراکنش فلزات سنگین در رسوبات سطحی حوضه رودخانه لانگات^۲ در مالزی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده از مطالعه توسط شاخص‌های زمین‌انباشت مولر (Igeo)، ضریب غنی‌شدگی (EF)، شاخص بار آلودگی (PLI)^۳ و ضریب

1. National Oceanic and Atmospheric Administration
2. Langat
3. Pollution Load Index

4. Dongting

منابع

- [1]. Mahdavi A, Omid MH, Ganjali MR. Experimental study of sorption and transport of Cadmium in the presence of bed load. *J Environ Sci.* 2009;34(48):1-12, [Persian].
- [2]. Salomons W, Forstner U. *Metals in the hydrocycle.* Springer: Berlin; 1984.
- [3]. Sobczynski T, Siepak J. Speciation of heavy metals in bottom sediments of lakes in the area of Wielkopolski National Park. *Pol. J. Environ. Stud.* 2001;10(6):463.
- [4]. Eggleton J, Thomas KV. A review of factors affecting the release and bioavailability of contaminants during sediment disturbance events. *Environment international.* 2004;30(7):973-80.
- [5]. Wang Y, Yang Z, Shen Z, Tang Z, Niu J, Gao F. Assessment of heavy metals in sediments from a typical catchment of the Yangtze River, China. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2011;172(1):407-17.
- [6]. Luo W, Lu Y, Wang T, Hu W, Jiao W, Naile JE, Khim JS, Giesy JP. Ecological risk assessment of arsenic and metals in sediments of coastal areas of northern Bohai and Yellow Seas, China. *Ambio.* 2010;39(5-6):367-75.
- [7]. Gissera MJ, Lacal J, da Silva P, Garcia R, Sevilla MT, Procopio JR. Study of metal fractionation in river sediments. A comparison between kinetic and sequential extraction procedures. *Environmental Pollution.* 2004;127(2):175-82.
- [8]. Bazzi A. Determining the level of heavy metal pollution in surface sediments of the Gulf of Chabahar. *ijhe.* 2015; 8(1):45-56, [Persian].
- [9]. Bahaor M, Naji A, Dehghani M. Anthropogenic impacts on heavy metals (Pb, Ni, Zn and Fe) concentration in surface sediments of Shoor River Estuary, Bandar Abbas. *Journal of Aquatic Ecology.* 2015;5(2):38-48, [Persian].
- [10]. Cheng Q, Wang R, Huang W, Wang W, Li X. Assessment of heavy metal contamination in the sediments from the Yellow River Wetland National Nature Reserve (the Sanmenxia section), China. *Environmental Science and Pollution Research.* 2015;22(11):8586-93.
- [11]. Li R, Li R, Chai M, Shen X, Xu H, Qiu G. Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China. *Marine pollution bulletin.* 2015;101(1):448-56.
- [12]. Razaghi M, Shokri M R, Savari A, Pazooki J. Ecological risk assessment using heavy metals from surface sediments of Nayband Bay and Asaluyeh region (Northern Persian Gulf). *J. Aqu. Eco..* 2013; 2 (3) :68-57[Persian].
- [13]. Jamshidi ZA, Saeedi M. Metals pollution assessment of surface sediment in Anzali wetland and their quality zonation. *J. Environ. Stud.* 2014;4(39):157-170[Persian].
- [14]. Omidi M, Ghiabi P, Naebi M. Study the effect of climate change on drying of Mighan wetland. The third national conference on combating desertification and sustainable development of Iran desert wetland. 2012, [Persian].
- [15]. Ansari A. Introducing of Meighan Wetland as International Wetland. *Environ J.* 2007;45, [Persian].
- [16]. Dalman O, Demirak A, Balcı A. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry.* 2006;95(1):157-62.
- [17]. Ismail A. Heavy metal concentrations in sediments off Bintulu, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin.* 1993;26(12):706-7.
- [18]. Ismail A. Heavy metal concentrations in sediments off Bintulu, Malaysia. *Marine Pollution Bulletin.* 1993;26(12):706-7.
- [19]. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water research.* 1980;14(8):975-1001.
- [20]. Turkian KK, Wedephol KH. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. *Geol Soc Am Bull.* 1964;175-192.
- [21]. Bai J, Cui B, Chen B, Zhang K, Deng W, Gao H, Xiao R. Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake wetland, China. *Ecological Modelling.* 2011;222(2):301-6.
- [22]. Sundaray SK, Nayak BB, Lin S, Bhatta D. Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments—a case study: Mahanadi basin, India. *Journal of hazardous materials.* 2011;186(2):1837-46.
- [23]. Smith SL, MacDonald DD, Keenleyside KA, Ingersoll CG, Field LJ. A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research.* 1996;22(3):624-38.
- [24]. CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. Protocol for the derivation of Canadian Sediment quality guidelines for the

- protection of aquatic life. Canadian Council of Ministers of the Environment; 1995.
- [25]. MacDonald DD, Ingersoll CG, Berger TA. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. Archives of environmental contamination and toxicology. 2000;39(1):20-31.
- [26]. Macdonald DD, Carr RS, Calder FD, Long ER, Ingersoll CG. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. Ecotoxicology. 1996;5(4):253-78.
- [27]. MacDonald DD. Development and applications of sediment quality criteria for managing contaminated sediment in British Columbia. MacDonald Environmental Sciences Limited; 2003.
- [28]. Duong T, Cowling A, Koch I, Wand MP. Feature significance for multivariate kernel density estimation. Computational Statistics & Data Analysis. 2008;52(9):4225-42.
- [29]. Sabel CE, Kingham S, Nicholson A, Bartie P. Road traffic accident simulation modelling-a kernel estimation approach. In The 17th Annual Colloquium of the Spatial Information Research Centre University of Otago, Dunedin, New Zealand 2005; 67-75.-
- [30]. Adams WJ, Kimerle RA, Barnett Jr JW. Sediment quality and aquatic life assessment. Environmental science & technology. 1992;26(10):1864-75.
- [31]. Bagheri H, Azimi A. The distribution of heavy metals in surface sediments of Sisangan coasts-the southern coast of Caspian sea. JOC. 2015; 6 (21) :27-36, [Persian].
- [32]. Kadhum SA, Ishak MY, Zulkifli SZ, binti Hashim R. Evaluation of the status and distributions of heavy metal pollution in surface sediments of the Langat River Basin in Selangor Malaysia. Marine pollution bulletin. 2015;101(1):391-6.
- [33]. Liang J, Liu J, Yuan X, Zeng G, Lai X, Li X, Wu H, Yuan Y, Li F. Spatial and temporal variation of heavy metal risk and source in sediments of Dongting Lake wetland, mid-south China. Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2015;50(1):100-8.