ارزیابی میزان سرب، روی، مس و نیکل تالاب میقان اراک با شاخص‌های برآورد آلودگی رسوب

فائزه صابری نسب و ثمر مرتضوی[۱*]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱)

چکیده

امروزه رشد جمعیت و افزایش بی‌رویه شهرها و در پی آن توسعه صنایع در تمامی نقاط کره زمین مشهود است. این نوع از رشد و توسعه منجر به ورود مواد شیمیایی با ترکیبات مختلف به‌ویژه عناصر سنگین در اکوسیستم‌های آبی می‌شود. در این پژوهش آلودگی رسوبات اطراف حوضه آبگیر تالاب میقان به فلزات سنگین سرب، روی، مس و نیکل با کمک شاخص‌های ضریب آلودگی CF، زمین انباشت ژئوشیمیایی I_{geo} و شدت آلودگی رسوبات I_{POLL} بررسی شد. نتایج نشان‌دهنده غلظت بالایی از فلزات مس و نیکل نسبت به عناصر روی و سرب در منطقه مورد مطالعه بود. همچنین با توجه به محل استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مجاورت آنها با صنایع موجود در اطراف تالاب، نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات اندازه‌گیری شده با شاخص‌های کیفی رسوب، بیانگر تمرکز بالایی از آلاینده‌های مورد سنجش در بخش جنوبی تالاب بود و بر لزوم کنترل آلاینده‌های موجود در تالاب تأکید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: تالاب میقان، شاخص ضریب آلودگی، شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی، شدت آلودگی، فلزات سنگین

۱. گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر

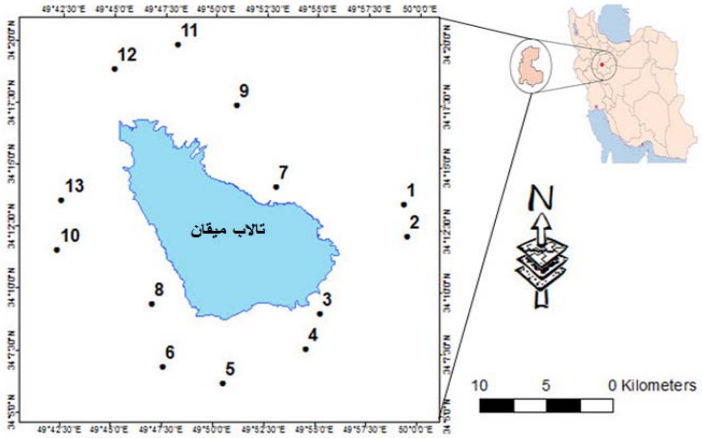
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mortazavi.s@gmail.com

مقدمه

آلودگی به‌طور عمده نتیجه توسعه تکنولوژی، به‌ویژه در قرن حاضر می‌باشد که با مسائل اقتصادی و اجتماعی گره خورده است. گرچه طبیعت در مقابل آلاینده‌های مختلف از قابلیت خودپالایی برخوردار می‌باشد، اما کثرت و فزونی مواد آلوده کننده در اغلب حالات این خودپالایی را از آن سلب نموده و سبب تغییرات اساسی در اکوسیستم و نابودی بسیاری از گونه‌های جانوری و غیر قابل استفاده شدن آب، هوا و خاک می‌شود (۱۱).

پایش دائمی وضعیت سلامت آب‌های داخل خشکی‌ها از جمله تالاب‌ها به‌منظور کنترل آلودگی و مدیریت محیط‌زیست آبی از اهمیت بالایی برخوردار است. نقش اکوسیستم‌های آبی به‌ویژه تالاب‌ها در طبیعت و زندگی بشر بر کسی پوشیده نیست. در کشور ایران تعداد تالاب‌ها ۸۴ عدد اعلام شده است (۱۰). امروزه توسعه صنایع و افزایش بی‌رویه شهرها و روستاها و در پی آن توسعه مناطق کشاورزی، استفاده از کودها و سموم دفع آفات موجب شده تا میزان زیادی فاضلاب شهری، صنعتی و همچنین پساب‌های کشاورزی که دارای ترکیبات شیمیایی مختلف به‌ویژه عناصر سنگین هستند وارد اکوسیستم‌های آبی شوند (۱۲). آلودگی اکوسیستم‌های آبی به فلزات سنگین می‌تواند از طریق بررسی آب، رسوب و موجودات زنده مورد تأیید قرار گیرد. تجمع بالای فلزات سنگین در آب می‌تواند منجر به تغییرات بوم‌شناسی جدی شود. از میان مواد آلاینده وارد شده به محیط‌های آبی، فلزات سنگین به‌علت اثرات سمی، ورود آن به زنجیره غذایی و پتانسیل تجمع زیستی در بسیاری از گونه‌های آبزی قابل توجه می‌باشند (۱۴). رسوبات حمل‌کننده‌های بسیار مهم فلزات سنگین در چرخه آبی محیط‌زیست هستند زیرا فلزات پیوند یافته با رسوبات، نقش مهمی در کیفیت آب دارند. در همین راستا اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب می‌تواند اطلاعات مناسبی از کیفیت رسوبات و سلامت اکوسیستم آبی در اختیار قرار دهد. تالاب ارزشمند میقان نیز به‌عنوان یک اکوسیستم آبی از این قاعده مستثنی نبوده و تحت تأثیر افزایش جمعیت و صنعتی شدن بخش های حاشیهٔ خود، به‌ویژه شهر اراک، قرار گرفته و در سال‌های اخیر آسیب‌های جدی وارده به تالاب میقان منجر به خشک شدن حدود نیمی از تالاب و کاهش پرندگان مهاجر و مسمومیت آنها شده که مسئولین را بر آن داشته تا راهی برای نجات تالاب میقان بیابند (۱).

از مطالعات مشابه انجام گرفته در این زمینه می‌توان به پژوهش حسن‌زاده (۲) با عنوان تعیین میزان و منشاء عناصر سنگین (سرب، کادمیوم و مس) در رسوبات بستر تالاب بین‌المللی میانکاله اشاره نمود. این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات کادمیوم، مس و سرب در محدوده غلظت استاندارد ارائه شده، قرار دارند. همچنین میانگین غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه در ایستگاه‌های شرق بیشتر از جنوب تالاب و ایستگاه‌های جنوب نیز بیشتر از شمال تالاب بوده است. در پژوهشی مشابه آلتینداگ و ییگیتی (۱۳) تجمع فلزات سنگین سرب، کادمیوم، جیوه و کروم را در دریاچه بیشهیر به‌ترتیب Pb> Cd > Cr> Hg گزارش کردند. همچنین نتایج به‌دست آمده توسط خسروی و همکاران (۴) از بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوب سه بخش تالاب انزلی نشان داد بیشترین غلظت فلزات در تمام نمونه‌های برداشت شده در بخش شرقی تالاب است و بیانگر این است که بیشترین آلودگی در بخش شرقی تالاب بوده و این ناحیه متأثر از فعالیت‌های متنوع انسانی است. در پژوهشی لی و همکاران (۲۲) به بررسی غلظت فلزات سنگین و تعیین ریسک اکولوژیک در رسوبات سطحی جنگل مانگرو فوتیان در خلیج شنژه در جنوب چین پرداختند. نتایج حاصل از غلظت فلزات سنگین به‌صورت زیر گزارش شد: روی> کروم> سرب> مس> کادمیوم. در این پژوهش میزان شاخص زمین انباشت مولر (Igeo) و ریسک بالقوه اکولوژیک (Potential Ecological Risk Index) نشان داد غلظت تمامی فلزات مورد بررسی در منطقه بالاست. همچنین ایسلام و همکاران (۱۸) به بررسی آلودگی حاصل از فلزات سنگین در نمونه‌های آب و رسوب در بنگلادش پرداختند و شاخص‌های



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

زمین انباشت مولر (Igeo)، شدت آلودگی رسوبات (I_{POLL}) و ضریب آلودگی (CF) بررسی گردید. نتایج نشان داد رسوبات به صورت متوسط نسبت به عناصر کروم، آرسنیک، کادمیوم و سرب آلوده شده‌اند و با توجه به بالا بودن میزان شاخص بار آلودگی (>۱)، یک روند زوال و نابودی پیش رونده‌ای منطقه را تهدید می‌کند.

پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از شاخص‌های ضریب آلودگی، زمین انباشت ژئوشیمیایی و شدت آلودگی رسوبات، به بررسی کمی و کیفی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات اطراف حوضه آبگیر تالاب میقان بپردازد.

مواد و روش‌ها

تالاب میقان (تالاب کویری میقان) واقع در استان مرکزی و در ۱۵ کیلومتری شمال شرقی اراک و جنوب غربی داوود آباد قرار گرفته که در سال‌های با بارندگی مناسب، دارای آب قابل توجهی می‌باشد و در سال‌های کم آبی سطح تالاب خشک شده و به حالت کویری در می‌آید. ارتفاع تالاب از سطح دریاهای آزاد ۱۷۰۰ متر است و سطح آب در آن نسبت به فصل سال از ماندات (عمق بسیارکم) تا حدود ۱/۴۰ متر تغییر می‌کند. منابع تأمین آب تالاب را بارش‌های جوی، آب سه رودخانه قره کهریز، فراهان و شهراب و پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اراک تشکیل می‌دهند (۸). وسعت تالاب حدود ۲۵۰۰۰ هکتار است که شامل دریاچه با سه جزیره در وسط، قسمت کویری و دشت‌های اطراف می‌شود. از نظر دیرینه‌شناسی قدمت آن به دوره پالئوسن باز می‌گردد که در آن دوره، به‌دلیل حرکت صفحه‌های تکتونیکی اطراف شکل گرفته است. این تالاب دارای ویژگی‌های بوم‌شناسی مهمی می‌باشد، از جمله این که سالانه تعداد زیادی از پرندگان مهاجر را در خود جای می‌دهد که در میان آنها بعضی از گونه‌های نادر و حمایت شده دیده می‌شوند. به‌علت جمعیت بالای درنا در تالاب نسبت به زیستگاه‌های دیگر کشور، این تالاب اهمیت بیشتری پیدا کرده است. همچنین پوشش گیاهی منطقه بیشتر از نوع گیاهان شورپسند یا هالوفیت بوده که از این نظر نیز تالاب میقان یکی از ذخیره‌گاه‌های مهم گیاهان شور کشور به‌شمار می‌رود. علاوه بر پرندگان، گونه‌های پستانداران، آرتمیا و انواع جلبک آب شور از دیگر جانداران تالاب و محیط اطراف آن هستند (۸).

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

جدول ۱. غلظت عناصر در میانگین شیل(µg/g) (۲۷)

عناصر	Pb	Zn	Cu	Ni
میانگین شیل	۲۰	۹۵	۴۵	۵۰

نمونه‌برداری از رسوبات سطحی ۱۳ ایستگاه، همراه با ۳ تکرار در نقاط مختلف تالاب انجام و موقعیت جغرافیایی تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت گردید (شکل ۱). نمونه‌ها از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری رسوبات با تراشیدن لایه سطحی با استفاده از قاشق پلاستیکی تمیز برداشت و به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی در یخدان و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد و در فریزر و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد برای مراحل آماده‌سازی و هضم نگهداری گردید (۱۶).

به‌منظور آنالیز آزمایشگاهی، نمونه‌ها با استفاده از آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس با الک ۶۳ میکرومتری الک شد. برای تعیین غلظت فلزات سنگین یک گرم از رسوبات خشک شده در ۱۰ میلی‌لیتر محلول مخلوط اسید نیتریک غلیظ (HNO_3; AnalaR grade, R&M 65%) و اسید پرکلریک ($HClO_4$: AnalaR grade, R&M 70%) با نسبت چهار به یک درون لوله آزمایش برای هضم اولیه، به‌مدت یک ساعت در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد و سپس برای هضم کامل به‌مدت سه ساعت، در ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد هضم گردید. در پایان نمونه‌ها با با کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرونی فیلتر شده (Whatman No.1) و با کمک آب دوبار تقطیر، در بالن‌های حجمی ۲۵ میلی‌لیتری به حجم رسانده شد. جهت اطمینان از دقت عملیات هضم و رفع خطای ناشی از آماده‌سازی نمونه و عدم تأثیر مواد مصرفی بر غلظت فلزات، در هر نوبت از عملیات هضم، یک نمونه شاهد در نظر گرفته شد. عصاره نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات با استفاده از اسپکتروفتومتر جذب اتمی شعله (SpectrAA Model VARIAN240) ساخت کشور آمریکا، آنالیز گردید. همچنین برای اندازه‌گیری فلزات سنگین به‌وسیله دستگاه جذب اتمی، ابتدا با استفاده از محلول‌های استاندارد مرک آلمان، دستگاه جذب اتمی کالیبره و سپس نمونه‌ها آنالیز شد (۱۹ و ۲۵).

آنالیز آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. پس از جمع‌آوری و ثبت داده‌ها، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و همژنیتی نتایج نیز به کمک آزمون لون (Leven) بررسی شد. به‌منظور بررسی وجود اختلاف معنادار بین غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف، از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (One Way ANOVA) و آزمون دانکن (Duncan) استفاده گردید. همچنین از آزمون همبستگی پیرسون (Pearson) برای بررسی رابطه بین غلظت عناصر موجود استفاده شد (۶). سرانجام با استفاده از شاخص‌های محیط زیستی، شدت آلودگی در منطقه مطالعاتی تعیین گردید.

برای تعیین میزان آلایندگی رسوب به عناصر سنگین در یک منطقه، بایستی غلظت عناصر در آن منطقه با یک استاندارد شناخته شده 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 می‌نماید. در کشور ما به‌دلیل عدم وجود استانداردهای معین برای درجه آلودگی رسوب، از استانداردهای موجود در دیگر کشورها و یا استانداردهای جهانی استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز برای تعیین میزان آلودگی رسوب به عناصر سنگین از میانگین شیل که توسط دفول و تورکیان (۲۷) ارائه شده، استفاده گردید (جدول ۱).

در همین راستا نیز پژوهشگران مقیاس‌هایی را برای تبدیل نتایج عددی به‌دست آمده به درجه‌هایی از شدت آلودگی پیشنهاد کرده‌اند (۹). همچنین ارزیابی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های مختلفی همچون ضریب آلودگی CF (Contamination Factor)، شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی (I_{geo}) (Geo-accumulation Index) و شاخص تجمع ژئوشیمیایی

جدول ۲. رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی CF رسوبات (۱۷)

مقدار CF	ضریب آلودگی رسوب
CF <۱	ضریب آلودگی پایین
۱ ≤ CF < ۳	ضریب آلودگی متوسط
۳ ≤ CF < ۶	ضریب آلودگی قابل توجه
CF ≥۶	ضریب آلودگی بسیار بالا

جدول ۳. درجه بندی سطح آلودگی رسوبات براساس شاخص‌های Igeo وI_{POLL} (۲۱ و ۲۴)

وضعیت آلودگی رسوب یا ذرات معلق	رده I_{geo}	عدد به دست آمده برای I_{geo}
کاملاً غیر آلوده	۰	۰
غیر آلوده تا آلودگی متوسط	۱	۰-۱
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا شدید	۳	۲-۳
آلودگی شدید	۴	۳-۴
آلودگی شدید تا بسیار شدید	۵	۴-۵
آلودگی بسیار شدید	۶	۵

یا شاخص شدت آلودگی رسوبات I_{POLL} (Index of Pollution) صورت می‌گیرد (۱۷ و ۲۴).

شاخص ضریب آلودگی CF

ضریب آلودگی، توصیفی از آلودگی مربوط به فلز مورد بررسی را ارائه می‌دهد (جدول۲). ضریب آلودگی هاکنسون (۱۷) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$CF = \frac{M_x}{M_b} \qquad [۱]$$

در این رابطه M_x غلظت عنصر در نمونه و M_b غلظت همان فلز در ماده مرجع (شیل میانگین) می‌باشد (رابطه ۱).

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

یک روش متداول برای تخمین آلودگی رسوبات به فلزات سنگین، به‌دست آوردن غلظت فلزات سنگین در رسوب به غلظت زمینه فلز، با استفاده از این شاخص است که اولین بار توسط مولر (۲۴) ارائه گردیده است (جدول ۳). این شاخص بر پایه رابطه زیر استوار است (رابطه ۲):

$$I_{geo} = \log_2(\frac{C_n}{1/5B_n}) \qquad [۲]$$

که در آن:

I_{geo}: شاخص انباشت ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی

C_n: غلظت فلز سنگین در رسوب

B_n: غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل)

ضریب ۱/۵ به‌منظور کمینه کردن اثر تغییر احتمالی در غلظت‌های زمینه که عموماً به تغییرات سنگ‌شناسی رسوبات و تأثیر عوامل زمینی نسبت داده می‌شود، منظور شده است.

شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی رسوبات I_{POLL}

برای بررسی کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از شدت آلودگی رسوبات در منطقه از شاخص آلودگی کرباسی استفاده شد (۲۱). این شاخص در واقع شاخصی توسعه یافته و بهینه شده نسبت به شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی مولر می‌باشد (جدول ۳).

$$I_{POLL} = \log_2(\frac{C_n}{B_n}) \qquad [۳]$$

شکل ۲. میانگین غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات تالاب میقان

در این رابطه (رابطه ۳):

I_{POLL}: شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی رسوبات

C_n: غلظت فلز سنگین در رسوب

B_n: غلظت زمینه (غلظت عنصر در شیل)

هفت رده مختلف برای دو شاخص Igeo و I_{POLL} وجود دارد که در آن بالاترین رده مقادیر عناصر حداقل ۱۰۰ برابر مقادیر مرجع است (۲۱). این رده‌بندی به‌صورت زیر قابل ارائه می‌باشد (جدول ۳).

نتایج

میانگین غلظت عناصر سنگین مس و نیکل در ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوبات تالاب میقان (برحسب میکروگرم بر گرم) در هر ایستگاه مطابق شکل (۲) ارائه شده است.

میانگین کل غلظت فلزات سرب، روی، مس و نیکل در رسوبات تالاب میقان به‌ترتیب شامل ۹/۱۸۲، ۹/۵۱۴، ۴۵/۳۵۱ و ۴۳/۴۵۶ (µg/g) می‌باشد (شکل ۲). همچنین مقادیر کمینه و بیشینه غلظت این فلزات به تفکیک هر عنصر در هر ایستگاه، برای فلز سرب ۴/۱۱ در ایستگاه ۱۲ و ۱۳/۰۳ در ایستگاه ۸، برای عنصر روی ۳/۸۸ در ایستگاه ۱۱ و ۲۰/۳۴ در ایستگاه ۱۳، برای عنصر مس ۱۵/۴۵ در ایستگاه ۱۲ و ۱۵۲/۱۹ در ایستگاه ۱۰ و برای فلز نیکل ۲۳/۷۵ در ایستگاه ۲ و ۶۴/۳۳ (µg/g) در ایستگاه ۷ می‌باشد.

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

نتایج آنالیز آماری

با کمک آزمون کولموگروف- اسمیرنوف نرمال بودن نتایج ($P>0/05$) و با کمک آزمون یکنواختی لون، هموژنیتی داده‌ها تأیید شد ($P>0/05$). همچنین مقایسه غلظت فلزات در ایستگاه‌های مختلف به کمک آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA)، نشان داد اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین مورد سنجش در ایستگاه‌های مختلف وجود دارد ($P<0/05$) (جدول ۴).

نتایج آزمون دانکن نشان داد غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در بیشتر ایستگاه‌های نمونه‌برداری در بخش‌های شمال و شمال غربی تالاب (ایستگاه‌های ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲ و ۱۳) با غالب ایستگاه‌های واقع در جنوب و جنوب شرقی (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶) دارای اختلاف معنی‌داری است (جدول ۵).

جدول ۴. نتایج بررسی نرمالیتی، هموژنیتی و آنالیز واریانس یک طرفه فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان

فلزات سنگین	سطح معنی‌داری		
	آزمون نرمالیته	آنالیز واریانس یک طرفه	هموژنیتی
سرب	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۲۲
روی	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۱۴
مس	۰/۰۹	۰/۰۰	۰/۱۷
نیکل	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۲۵

جدول ۵. نتایج آزمون دانکن

ایستگاه‌ها	ضلع شمالی	ضلع شمال غربی	ضلع جنوبی	ضلع جنوب شرقی
ضلع شمالی			۰/۰۳	۰/۰۲
ضلع شمال غربی			۰/۰۴	۰/۰۱
ضلع جنوبی	۰/۰۴	۰/۰۳		
ضلع جنوب شرقی	۰/۰۱	۰/۰۲		

جدول ۶. نتایج همبستگی آزمون پیرسون عناصر سرب، روی و مس در رسوبات تالاب میقان

عناصر	سرب	روی	مس	نیکل
سرب	۱			
روی	۰/۰۵	۱		
مس	۰/۰۷	۰/۴۱**	۱	
نیکل	-۰/۰۹	۰/۰۴	-۰/۰۳	۱

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ درصد

همچنین نتایج آزمون همبستگی پیرسون، نشان داد با احتمال ۹۹٪، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین غلظت فلزات روی و مس در ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب میقان وجود دارد (P<۰/۰۱) (جدول ۶).

نتایج شاخص ضریب آلودگی CF

نتایج محاسبه شاخص ضریب آلودگی CF مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات سطحی این تالاب به‌صورت زیر قابل ارائه می‌باشد (جدول۷).

با توجه به نتایج محاسبه شده جدول (۷)، ضریب آلودگی برای عناصر در ایستگاه‌های مختلف براساس رده‌بندی هاکنسون به این شرح می‌باشد:

عنصر سرب و روی در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای ضریب آلودگی پایینی در منطقه است. عنصر مس در ایستگاه‌های ۳ و ۱۰ دارای ضریب آلودگی قابل توجه، در ایستگاه‌های ۶ و ۹ دارای ضریب آلودگی متوسط و در مابقی ایستگاه‌ها از ضریب آلودگی پایینی برخوردار می‌باشد. همچنین براساس این رده‌بندی، فلز نیکل در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ ضریب آلودگی متوسط و در مابقی ایستگاه‌ها ضریب آلودگی پایینی را داراست.

نتایج شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی I_{geo}

نتایج محاسبه شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی مولر I_{geo} مربوط به عناصر مورد نظر در رسوبات این تالاب به‌صورت زیر قابل ارائه می‌باشد (جدول ۸).

با توجه به محاسات انجام گرفته بر روی نتایج حاصل از غلظت فلزات جدول (۸) و به کمک رده‌بندی مولر، عناصر

جدول ۷. شاخص ضریب آلودگی CF فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات تالاب میقان

ایستگاه نمونه‌برداری	مقادیر شاخص ضریب آلودگی (CF)			
	Pb	Zn	Cu	Ni
۱	۰/۴۵	۰/۱۰	۰/۳۷	۱/۲۵
۲	۰/۲۵	۰/۱۰	۰/۶۷	۱/۲۸
۳	۰/۶۴	۰/۰۸	۳/۰۷	۱/۰۰
۴	۰/۵۲	۰/۳۰	۰/۳۹	۰/۸۳
۵	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۵۳	۰/۸۷
۶	۰/۶۲	۰/۰۸	۱/۱۲	۰/۹۵
۷	۰/۳۷	۰/۰۸	۰/۴۹	۰/۴۷
۸	۰/۶۴	۰/۰۹	۰/۴۶	۰/۵۹
۹	۰/۵۹	۰/۰۶	۱/۱۰	۰/۵۲
۱۰	۰/۲۸	۰/۲۱	۳/۳۸	۰/۸۷
۱۱	۰/۵۲	۰/۰۴	۰/۳۹	۰/۷۷
۱۲	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۳۴	۰/۹۳
۱۳	۰/۴۵	۰/۲۱	۰/۷۴	۰/۹۰

جدول ۸. شاخص زمین‌انباشت ژئوشیمیایی I_{geo} فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات تالاب میقان

ایستگاه نمونه‌برداری	مقادیر شاخص مولر (I_{geo})			
	Pb	Zn	Cu	Ni
۱	−۱/۷۸	−۴/۰۵	−۲/۰۵	−۲/۸۶
۲	−۲/۶۴	−۴/۰۵	−۱/۱۸	−۲/۵۱
۳	−۱/۲۵	−۴/۳۲	+۱/۰۱	−۵/۹۹
۴	−۱/۵۵	−۲/۳۳	−۲	−۸/۸۸
۵	−۲	−۴/۳۲	−۱/۵۵	−۸/۱
۶	−۱/۳۲	−۴/۳۲	−۴/۵۴	−۶/۸۹
۷	−۲/۰۵	−۴/۳۲	−۱/۶۴	−۱/۶۸
۸	−۱/۲۵	−۴/۳۲	−۱/۷۳	−۱/۳۹
۹	−۱/۳۹	−۵/۰۵	−۴/۷۳	−۱/۵۵
۱۰	−۲/۴۷	−۲/۹۴	+۱/۱۵	−۸/۱۰
۱۱	−۱/۵۵	−۵/۶۴	−۲	−۱
۱۲	−۲/۹۴	−۵/۰۵	−۲/۱۸	−۷/۱۳
۱۳	−۱/۷۸	−۲/۹۴	−۱/۰۵	−۷/۶۱

سرب، روی و نیکل در تمامی ایستگاه‌ها فاقد آلودگی است و فلز مس در ایستگاه‌های ۳ و ۱۰ از آلودگی متوسطی برخوردار بوده و در مابقی ایستگاه‌ها فاقد آلودگی می‌باشد.

نتایج شاخص تجمع ژئوشیمیایی یا شاخص شدت آلودگی رسوبات IPOLL

نتایج محاسبه شاخص شدت آلودگی رسوبات IPOLL مربوط به

جدول ۹. شاخص شدت آلودگی I_{POLL} فلزات اندازه‌گیری شده در رسوبات تالاب میقان

ایستگاه نمونه‌برداری	مقادیر شاخص بار آلودگی (I_{POLL})			
	Pb	Zn	Cu	Ni
۱	۰/۶۷	۰/۳۱	۰/۶۰	۱/۱۱
۲	۰/۵	۰/۳۱	۰/۸۱	۱/۳۱
۳	۰/۸	۰/۲۸	۱/۷۵	۱/۰۰
۴	۰/۷۲	۰/۵۴	۰/۶۲	۰/۹۱
۵	۰/۶۱	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۹۳
۶	۰/۷۸	۰/۲۸	۱/۰۵	۰/۹۷
۷	۰/۶۰	۰/۲۸	۰/۷۰	۰/۶۸
۸	۰/۸	۰/۳	۰/۶۷	۰/۷۶
۹	۰/۷۶	۰/۲۴	۱/۰۴	۰/۷۲
۱۰	۰/۵۲	۰/۴۵	۱/۸۳	۰/۹۳
۱۱	۰/۷۲	۰/۲	۰/۶۲	۰/۸۷
۱۲	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۵۸	۰/۹۶
۱۳	۰/۶۷	۰/۴۵	۰/۸۶	۰/۹۴

عناصر مورد نظر در رسوبات این تالاب جدول (۹) نشان داد عنصر سرب و روی در تمامی ایستگاه‌ها دارای درجه آلودگی غیر آلوده تا آلودگی متوسط، فلز مس در ایستگاه‌های ۳، ۶، ۹ و ۱۰ دارای آلودگی متوسط و در مابقی ایستگاه‌ها دارای درجه آلودگی غیر آلوده تا آلودگی متوسط و عنصر نیکل در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ دارای آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها دارای درجه آلودگی غیر آلوده تا آلودگی متوسط می‌باشد.

بحث

رسوبات از عوامل مهم انتقال فلزات در چرخه هیدرولوژیکی هستند که از یک سو بسته به شرایط محیطی فلزات را از محیط آب جذب کرده و از سوی دیگر می‌توانند فلزات را مجدداً به محیط آب بازگردانده و نقش منشاء عناصر فلزی را ایفا نمایند. علاوه بر این، آلودگی در رسوبات به‌علت داشتن یک محیط نسبتاً پایدار بهتر از محیط متحرک و ناپایدار آب قابل اندازه‌گیری و ارزیابی می‌باشد که می‌تواند اهمیت رسوبات را در ارزیابی آلودگی شیمیایی محیط‌های آبی نشان دهد (۲۳).

اثر آلودگی فلزات سنگین در محیط‌هایی مانند خاک و رسوب به مشارکت شیمیایی آنها وابسته است. به‌طورکلی تکنیک‌های پاک‌سازی رسوبات از آلاینده‌ها در مقابل سایر مواد زائد جامد بسیار محدود می‌باشد. بررسی فعالیت‌های لایروبی در نقاط مختلف دنیا بیانگر آن است که بخش بسیار کوچکی از این رسوبات از طریق اعمال روش‌های مختلف تصفیه مانند تصفیه بیولوژیکی و واجذبی حرارتی پاک‌سازی خواهند شد. همچنین، عملیاتی شدن روش‌های مورد اشاره به سهولت میسر نمی‌شوند. از این‌رو سنجش وضعیت آلودگی رسوبات محیط‌های آبی، شناسایی دقیق منابع آلودگی و اعمال راهکارهای مدیریتی با توجه به نتایج ارزیابی‌های صورت گرفته، به‌منظور کاهش میزان ورود آلاینده‌ها به محیط‌های آبی، از اهمیت بیشتری در مقایسه با روش‌های پاک‌سازی برخوردار می‌باشد. به همین جهت از دهه‌های گذشته تاکنون مطالعات بسیاری بر سنجش وضعیت آلودگی رسوبات محیط‌های آبی در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است (۲۶).

در پژوهش حاضر ارزیابی عناصر سنگین به کمک شاخص‌های مختلفی همچون ضریب آلودگی CF، شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی I_{geo} و شاخص شدت آلودگی رسوبات I_{POLL} درک بهتری از درجه کیفیت آلودگی رسوبات

منطقه را ارائه داده که بیانگر وجود آلودگی در سطوح متفاوت از منظر هر شاخصی می‌باشد. چنانچه نتایج حاصل از ضریب آلودگی (CF) این تالاب را به سه سطح از آلودگی شامل آلودگی پایین، متوسط و قابل توجه تقسیم می‌نماید. که با توجه به این شاخص عنصر مس دارای بیشترین ضریب آلودگی در بخش جنوبی تالاب، در ایستگاه‌های ۳ و ۱۰ و عناصر سرب و روی در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای کمترین میزان درجه آلودگی بودند. شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی مولر I_{geo} تالاب میقان را به دو سطح از آلودگی تقسیم نمود که این تقسیم‌بندی عنصر مس را در ایستگاه‌های بخش جنوبی (ایستگاه‌های ۳ و ۱۰) دارای سطح متوسطی از آلودگی و برای سایر عناصر مورد سنجش فاقد آلودگی ارزیابی نمود. نهایتاً رده‌بندی به کمک شاخص شدت آلودگی رسوبات I_{POLL} این تالاب کویری را به دو رده غیر آلوده تا متوسط و آلودگی متوسط رده‌بندی کرد که بررسی نتایج نشان داد فلز مس در ایستگاه‌های ۹، ۶، ۳ و۱۰ و فلز نیکل در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ که عمدتاً شامل ایستگاه‌های نمونه‌برداری واقع در بخش جنوبی تالاب می‌باشند، دارای آلودگی متوسط و برای سایر فلزات و ایستگاه‌های نمونه‌برداری دارای رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط می‌باشد.

همچنین می‌توان منطقه را از نظر غلظت کل عناصر و درجه آلایندگی رسوبات به فلزات مورد سنجش در این پژوهش، به‌ترتیب مس> نیکل> روی> سرب رتبه‌بندی نمود:

بالا بودن میزان غلظت کل عناصر سنگین در این تالاب را می‌توان ناشی از منابع انسانی و طبیعی همچون استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی به‌ویژه کودهای میکرو و گرانوله، کاربرد سموم و کود بی‌کیفیت، ورود زه‌آب‌های اراضی زراعی به تالاب، زیاد بودن نسبت سطح به حجم رسوبات دانه ریز و کمتر از ۶۳ میکرون، بالا بودن بار مواد آلی، افزایش نسبت سطح به حجم در رسوبات و در نتیجه احتمال جذب سطحی بیشتر آلاینده‌ها برروی آنها و نرم و گلی بودن بستر تالاب، مقاومت به انحلال در آب و لذا تجمع در رسوب و فساد گیاهی نسبت داد (۱۵ و ۲۰).

نتایج حاصل از پژوهش حاضر همسو با مطالعات برخی پژوهشگران به‌شرح زیر می‌باشد: حمزه و همکاران (۳) که به بررسی ژئوشیمیایی منشاء و اثرات آلودگی فلزات سنگین در بنادر صیادی رمین و بریس در دریای عمان به کمک شاخص‌های مولر (I_{geo}) و ضریب غنی‌شدگی (EF) پرداختند، ترتیب غلظت فلزات سنگین در منطقه به‌صورت: مس> روی> سرب> کادمیوم> نیکل> آرسنیک گزارش شد. در پژوهشی دیگر رفیعی و همکاران (۵) به بررسی پراکندگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خروجی تالاب انزلی در شمال ایران پرداخته و همچنین شاخص مولر (I_{geo})، ضریب غنی‌شدگی (EF) و شاخص بار آلودگی (PLI) را نیز مورد سنجش قرار دادند. نتایج نشان داد منطقه در رده غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد. واعظی و همکاران (۲۸) به ارزیابی ریسک اکولوژیک حاصل از آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بامدژ در اهواز پرداختند. نتایج به کمک شاخص‌های زمین انباشت مولر (I_{geo})، شاخص بار آلودگی (PLI) و شاخص آلودگی (I_{POLL}) مورد ارزیابی قرار گرفت و نشان داد شاخص‌های آلودگی، منطقه را به‌صورت غیر آلوده تا آلودگی متوسط و آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد توصیف می‌نماید. همچنین سبحان اردکانی و همکاران (۷) تالاب میقان را تنها به کمک شاخص زمین انباشت ژئوشیمیایی I_{geo} از نظر فلزات سنگین آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوبات داخلی حوضه آبگیر این تالاب بررسی نموده و آن را در رده غیر آلوده از نظر این فلزات طبقه‌بندی کرده‌اند که باتوجه به وجود تفاوت در ایستگاه‌های انتخابی (در مطالعه حاضر رسوبات اطراف حوضه آبگیر سنجش شده‌اند) و نوع عناصر مورد بررسی این ناهمگونی مورد تأیید می‌باشد.

باتوجه به نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات اندازه‌گیری شده به‌وسیله شاخص‌های برآورد کیفیت رسوب و نیز بررسی محل استقرار ایستگاه‌های نمونه‌برداری و مجاورت آنها با صنایع موجود در اطراف این تالاب می‌توان نتیجه گرفت بخش جنوبی

تالاب (شامل بخش‌های جنوب، جنوب شرقی و جنوب غربی) دارای تمرکز بالایی از آلاینده‌های فلزی مس و نیکل نسبت به عناصر روی و سرب بوده که شامل ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۶، ۹ و ۱۰ می‌باشد.

با توجه به نتایج پژوهش حاضر در بلند مدت، ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی، زه‌آب اراضی کشاورزی، استقرار شرکت معدنی املاح ایران در مجاور تالاب، استقرار فرودگاه اراک در نزدیکی تالاب و نزدیکی تصفیه‌خانه شهر اراک به این اکوسیستم، در کنار شرایط طبیعی و حساس حاکم بر تالاب میقان، سبب تجمع بیش از حد استاندارد عناصر سنگین در رسوبات می‌شود که با توجه به شرایط اکوسیستمی ویژه این تالاب، نیازمند کنترل و مدیریت محیط‌زیستی مناسب‌تری می‌باشد.

منابع مورد استفاده

۱. اله‌دادی، م. و ف. قدیمی. ۱۳۸۹. بررسی اثرات محیط زیستی معدن سولفات سدیم برتالاب میقان، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. تهران.

۲. حسن‌زاده، ح. ۱۳۷۹. تعیین میزان و منشاء عناصر سنگین (سرب، کادمیوم، مس، کروم) در رسوبات بستر تالاب بین‌المللی میانکاله، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

۳. حمزه، م.، م. محمودی قرایی. و غ. بسکله. ۱۳۹۳. بررسی ژئوشیمیایی منشاء و اثرات آلودگی فلزات سنگین در بنادر صیادی زمین و بریس، مجله اقیانوس شناسی ۵(۱۷):۳۱-۲۱.

۴. خسروی، م. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات مکانی آلودگی برخی فلزات سنگین در آب، رسوب و سه گونه ماهی، تالاب انزلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

۵. رفیعی، ب.، ع. موثق.، ا. کریم‌خانی. و م. صادقی‌فر. ۱۳۹۳. پراکندگی فلزات سنگین در رسوبات سطحی خروجی تالاب انزلی، شمال ایران، مجله رسوب شناسی کاربردی ۲(۴):۱۵-۱.

۶. زارع چاهوکی، م. ۱۳۹۰. آنالیز آماری در منابع طبیعی با استفاده از نرم‌افزار SPSS. انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.

۷. سبحان اردکانی، س.، ک. جمشیدی. و ع. نیازی. ۱۳۹۳. ارزیابی غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوب با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر (مطالعه موردی: تالاب میقان)، نشریه اکوبیولوژی تالاب ۶(۲۰):۷۷-۶۷.

۸. صدوقی، م.ب. و ا. انصاری. ۱۳۸۶. معرفی تالاب میقان به‌عنوان تالاب مهم بین‌المللی و منطقه مهم پرندگان IBA، فصلنامه علوم و مهندسی محیط زیست ۴۵(۳۱): ۳۴-۲۳.

۹. کرباسی،ع.، ا. بیاتی. و غ. نبی بیدهندی. ۱۳۸۵. بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود، مجله محیط شناسی.۳۲(۳۹):۴۸-۴۱.

۱۰. مجنونیان، ه. ۱۳۹۳. *مناطق حفاظت شده: مبانی و تدابیر حفاظت از پارک‌ها و مناطق در ایران و جهان*. انتشارات دی نگار، تهران.

۱۱. محمدی، م. و م. سمائی. ۱۳۸۴. بررسی میزان عناصر سرب و کادمیوم در آب، رسوبات معلق و بافت ماهیچه‌ای ماهی در رودخانه قره‌چای، مجله علوم دریایی ایران ۴(۴۳): ۵۸-۵۳.

۱۲. منصوری، ج. و ن. ا. خراسانی. ۱۳۶۴. تالاب‌ها، ارزش و اهمیت آنها برای انسان، مجله محیط شناسی ۱۲(۱۳): ۵۴-۶۰.

13. Altindag, A. and S. Yigiti. 2005. Assessment of heavy metals concentrations in the food web of lake Beysehir, Turkey, J. Chemosphere 60: 523-530.

14. Blevins, R. D. and O. C. Pancorbo. 1986. Metal concentration in muscle of fish from aquatic system in east

Tennessee, U.S.A, J. Water Res. 45: 120-132.
15. Buccolieri, A., G. Buccolieri, N. Cardellicchio, A. Dell Atti, A. Di Leo and A. Maci. 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf, Ionian Sea, Southern Italy, J. Mar. Chem. 99: 227-235.
16. Delman, O., A. Demirak. and A. Balci. 2006. 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, J. Food Chem. 95(1): 157-162.
17. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach, Water Res.14: 975-1001.
18. Islam, M., M. Ahmed, M. Raknuzzaman, M. Habibullah -Al- Mamun and M. Kamrul Islam. 2015. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country, Ecol. Indic. 48: 282-291.
19. Ismail, A. 1993. Heavy metal concentration in sediments of Bintulu, Malaysia, J. Mar. Pollut. Bull. 134(1): 706-707.
20. Jain, C. K. 2004. Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India, J. Water Res. 38: 569-578.
21. Karbassi, A. R., S. M. Monavari, G. H. R. Nabi Bidhendi, J. Nouri. and K. Nematpour. 2008. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River, Environ. Monit Assess. 147: 107-116.
22. Li, R., R. Li, M. Chai, X. Shen, H. Xu and G. Qiu. 2015. Heavy metal contamination and ecological risk in Futian mangrove forest sediment in Shenzhen Bay, South China, Mar. Pollut. Bull. 101(1): 448–456.
23. Meiggs, T. 1980. The use of sediment analysis in forensic investigations and procedural requirements for such studies, J. Soil Sediment Contam. 297-308.
24. Muller, G. 1969. Index of geo-accumulation in the sediments of the Rhine River. Geojournal. 2: 108-118.
25. Naji, A. and A. Ismail. 2012. Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia, J. Aquat Ecosyst Health Manag. 15(3): 287-293.
26. Saeedi, M., L. Li, A. R. Karbassi and A. J. Zanjani. 2012. Sorbed metals fractionation and risk assessment of release in river sediment and particulate matter, J. Environ. Monit Assess. 185(2): 1737-1754.
27. Turkian, K. K. and K. H. Wedephol. 1964. Distribution of the elements in some major units of the earth crust, Geol. Soc. Am. Bull. 175-192.
28. Vaezi, A. R., A. R. Karbassi, Sh. Valavi and M. R. Gangali. 2015. Ecological risk assessment of metals contamination in the sediment of the Bamdezh wetland, Iran, Int. J. Environ. Sci. Technol. 12(3): 951-958.

J. Water and Soil Sci. (Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour.)
Vol. 22, No. 1, Spiring 2018, Isf. Univ. Technol., Isf., Iran.

Evaluation of Pb, Zn, Cu and Ni Concentration in Arak Mighan Wetland Based on Sediment Pollution Indices

F. Saberinasab and S. Mortazavi[1*]

(Received: Nov. 20-2016; Accepted: March 11-2017)

Abstract

Today, the growth of population, the excessive growth of cities and subsequently, the industries development in all parts of the planet are evident. Such development leads to the entrance of chemical martials with various compounds, particularly heavy metals, in aquatic ecosystems. In this study, the contamination of the sediments around the Mighan wetland basin with heavy metals such as lead, zinc, copper and nickel was investigated using CF indexes (contamination factor), IGeo geo-accumulation indexes, and IPOLL sediment contamination severity. The results indicated a high concentration of copper and nickel metals, in comparison to zinc and lead metals, in the studied area. Also, regarding the location of sampling stations and their proximity of the industries around the wetland, the comparison of the results related to the measured metal concentration and the sediment quality indices, indicated a high concentration of the pollutants under examination in the southern part of the wetland, thereby emphasizing the need to control the pollutants in the wetland.

Keywords: Meighan wetland, Contamination Factor, Geo-accumulation Index, Index of Pollution, Heavy metals.

1. Dept. of Environ., Faculty of Natural Resour. and Environ., Malayer Univ., Hamedan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mortazavi.s@gmail.com