

ارزیابی غلظت عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در رسوب با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر (مطالعه موردی: تالاب میقان)

چکیده

رسوبات، جزئی تفکیک‌ناپذیر از بوم‌سازگان تالابی هستند، که مانند آرشیوی تاریخی در ثبت روند تغییرات تجمع فلزات سنگین عمل می‌کنند. بنابراین در این پژوهش، رسوبات تالاب میقان از نظر شدت آلودگی به فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور در سال ۱۳۹۱ پس از بازدید از منطقه، ۱۱ ایستگاه به صورت تصادفی انتخاب و در طی یک مرحله از هر ایستگاه، ۳ نمونه رسوب برداشت گردید. پس از آماده‌سازی و هضم رسوبات، غلظت فلزات سنگین مورد ارزیابی در نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی قرائت گردید. همچنین برای پردازش آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS استفاده شد. نتایج بیانگر آن بود که میانگین غلظت عنصر آهن در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته و میانگین غلظت عناصر سرب، کادمیوم و مس به جز در تعدادی از ایستگاه ها، در سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان داد. همچنین، مقایسه میانگین غلظت عناصر مورد ارزیابی با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی، بیانگر مقادیر بیش از حد استاندارد برای عناصر آهن و مس بود. در نهایت با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر، رسوبات تالاب میقان از نظر آلودگی به هر ۴ عنصر سنگین، با درجه آلودگی صفر و در رده غیر آلوده طبقه‌بندی شدند. به طور کلی با توجه به نتایج می‌توان ادعان نمود گرچه در حال حاضر رسوبات تالاب میقان آلوده به فلزات سنگین نیستند، اما ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی به تالاب، استقرار شرکت معدنی املاح ایران و تصفیه‌خانه شهر اراک در نزدیکی آن، می‌تواند در بلندمدت سبب آلودگی تالاب به انواع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین شده و تبعات غیر قابل جبرانی را نیز به دنبال داشته باشد.

واژگان کلیدی: آهن، مس، سرب، کادمیوم، رسوب تالاب میقان، شاخص ژئوشیمیایی مولر.

سهیل سبحان اردکانی^۱

کیانا جمشیدی^{۲*}

علی نیازی^۳

۱. استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان، همدان، ایران
۳. دانشیار گروه شیمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، اراک، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات

kiajam66@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴

کد مقاله: ۱۳۹۳۰۲۰۲۳۰

مقدمه

از آن جا که فلزات سنگین توسط فرآیندهای میکروبی از بین نمی‌روند، جزو آلاینده‌های پایدار و ذخیره شونده محسوب می‌شوند. حضور فلزات سنگین در آب‌ها و بافت‌های بدن موجودات زنده، بیانگر حضور طبیعی یا دخالت‌های انسانی است. یکی از منابع طبیعی اصلی فلزات در بوم سازگان‌های آبی، هوازدگی خاک‌ها و صخره‌ها است. از منابع انسانی نیز می‌توان به فاضلاب‌های صنعتی، شهری و تخلیه آن‌ها به منابع آبی اشاره نمود. امروزه یکی از روش‌های تشخیص ورود آلاینده‌هایی با منشا انسانی به محیط‌های آبی، بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات می‌باشد (سبزعلیزاده و دهقان مدیسه، ۱۳۸۹). علت اصلی استفاده از رسوب آن است که غلظت عناصر سنگین تحت تاثیر تغییرات فصلی- جوی قرار نگرفته، رسوبات همیشه با آب‌های فوقانی در واکنش بوده و جزئی تفکیک‌ناپذیر از بوم‌سازگان تالابی هستند، که مانند آرشیوی تاریخی، در ثبت روند تغییرات تجمع فلزات سنگین عمل می‌کنند (کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹؛ غضبیان و زارع خوش اقبال، ۱۳۹۰).



عناصر کمیاب به صورت پیوندهای سست، سولفیدی و آلی در رسوبات رودخانه‌ای حضور دارند، بنابراین افزایش غلظت عناصر سنگین توسط منابع آلوده‌ساز در هر سه پیوند مذکور امکان پذیر بوده و معمولاً با تغییرات جزئی در خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب رودخانه، امکان آزادسازی عناصر و ورود آن‌ها به آب رودخانه وجود دارد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۵).

مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات پیکره‌های آبی مانند رودخانه‌ها، مصب‌ها و بستر دریاها، می‌تواند گام موثری برای یافتن منشأ رسوبات، الگوی پراکنش عناصر و ارزشیابی محیط زیستی وضعیت موجود در یک منطقه باشد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۵). همچنین ژئوشیمی محیط زیستی، به طور گسترده‌ای در مطالعات وضعیت آلودگی پهنه‌های آبی مورد استفاده واقع شده است که از جمله می‌توان به مطالعه باقری و همکاران (۱۳۹۱)، بیاتی و همکاران (۱۳۹۱)، سبز عزیزاده و ناصری (۱۳۹۰)، خراط صادقی و کرباسی (۱۳۸۵)، کریمی و قاسمپور شیرازی (۱۳۹۱)، کرباسی و همکاران (۱۳۸۵) و ... اشاره نمود (جمشیدی، ۱۳۹۲).

بنابراین هدف از اجرای این مطالعه، ارزیابی شدت آلودگی رسوبات تالاب میقان به عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر در سال ۱۳۹۱، مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری و با رهنمود سازمان بهداشت جهانی بوده است.

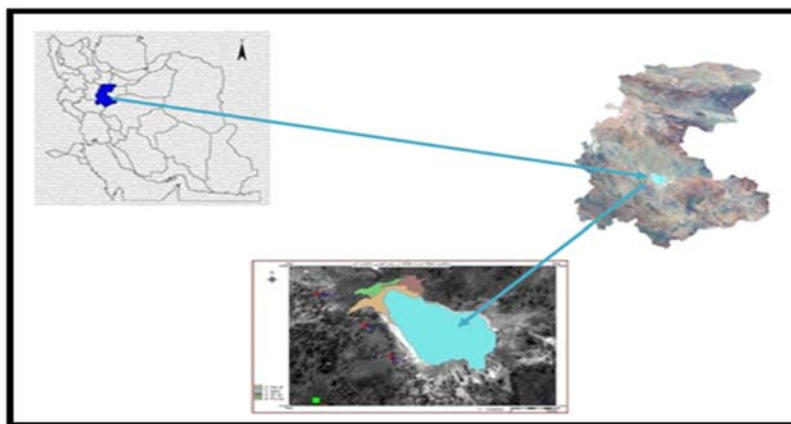
روش کار

در مرکز فرورفتگی بزرگ فلات ایران حدود ۶۰ پلایا وجود دارد که کویر میقان غربی‌ترین آن‌ها می‌باشد. این کویر در شمال شرقی شهرستان اراک در استان مرکزی واقع شده است و با مساحتی بالغ بر ۵۰ هزار هکتار و حوضچه آبگیر ۱۲۰۰۰ هکتاری در شمال و شمال شرقی شهر اراک، در مختصات جغرافیایی $49^{\circ} 40' 56''$ تا $49^{\circ} 04' 26''$ طول شرقی و $34^{\circ} 06' 17''$ تا $34^{\circ} 19' 05''$ عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع منطقه بین ۱۶۵۰ الی ۱۷۵۰ متر بوده و دارای شیب صفر الی ۵ درصد می‌باشد. همچنین تمام آبراهه‌ها و آب‌های زیرزمینی حوزه اراک، به این تالاب ختم شده و به‌طور طبیعی محل تجمع تمام جریان‌های سطحی و حتی زیرسطحی از جمله مسیل‌ها می‌باشد. حوزه آبگیر کویری میقان بین ۱۱۸/۴ تا ۱۳۰ کیلومتر مربع بسته به سیلابی بودن و فصول مختلف سال وسعت دارد. عمق آب در فصول پرآبی در بعضی از قسمت‌ها تا ۱/۵ متر هم می‌رسد، ولی در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور در اثر تبخیر زیاد به‌صورت باتلاقی در می‌آید. بنابراین تالاب میقان به‌عنوان یک تالاب فصلی محسوب می‌شود (داوودپور و هادیان، ۱۳۹۱). این تالاب به دلیل قرار گرفتن در مرکز کشور و زاویه برخورد دو رشته کوه البرز و زاگرس و منطقه خشک و نیمه خشک از تنوع زیستی قابل توجهی برخوردار بوده و از نظر زیستگاه پرندگان مهاجر، تعادل آب و هوایی منطقه، طبیعت‌گردی، ذخیره کربن، ذخیره املاح معدنی و ... بسیار با ارزش می‌باشد. از جمله مهمترین عوامل تهدیدکننده این تالاب می‌توان به ورود فاضلاب‌های شهری و صنعتی، استقرار شرکت معدنی املاح ایران و تصفیه‌خانه شهر اراک در مجاور آن اشاره نمود که می‌تواند باعث تجمع فلزات سنگین است در رسوبات این بوم سازگان شود (انصاری، ۱۳۹۰؛ آستانی و بهارمستیان، ۱۳۹۱).

نمونه‌برداری از رسوب در بهمن ماه سال ۱۳۹۱ از ۱۱ ایستگاه که به صورت تصادفی و با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی و فاصله از محل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی در محدوده قابل دسترس تالاب میقان انتخاب شدند، انجام شد. بدین ترتیب که از هر ایستگاه ۳ نمونه رسوب توسط نمونه گیر دستی (گِرپ پترسون) برداشت شد. پس از هر بار گسیل نمونه‌گیر دستی به بستر تالاب و بالا آوردن آن، محتویات آن به آرامی درون یک ظرف پلاستیکی استریل تخلیه گردید و سپس با استفاده از قاشق پلاستیکی مقداری از قسمت مرکزی رسوبات (محلی که با بدنه گراب تماس نداشت) برداشته و داخل ظروف پلاستیکی همراه با برچسب مشخصات قرار داده شد. نمونه‌ها، با استفاده از یک یونولیت حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شده و تا زمان خشک کردن رسوب که حداکثر ۲ تا ۳ روز طول می‌کشد، در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند (Allen et al., 1999). مشخصات جغرافیایی، موقعیت تالاب میقان در ایران و استان مرکزی و نقشه پراکنده‌ای ایستگاه‌های نمونه‌برداری به ترتیب در جدول ۱ و شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

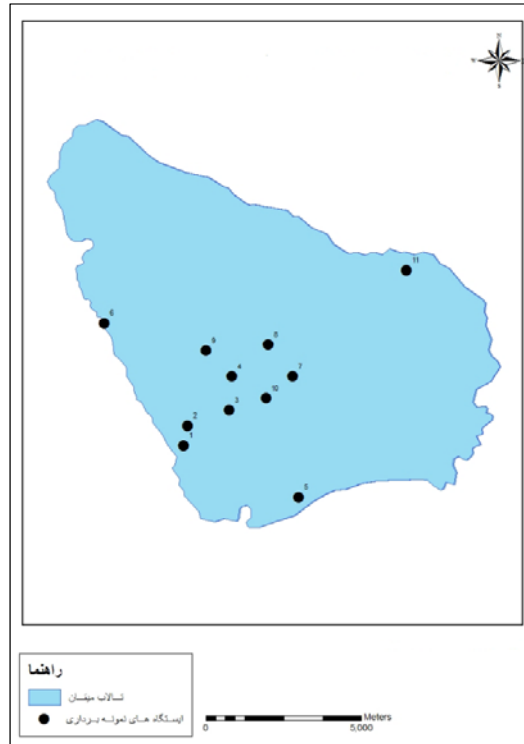
جدول ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری.

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	۳۴° ۱۰' ۱۱/۸۳"	۴۹° ۴۸' ۴۰/۷۱"
۲	۳۴° ۱۰' ۳۱/۹۰"	۴۹° ۴۸' ۴۶/۶۶"
۳	۳۴° ۱۰' ۴۸/۱۸"	۴۹° ۴۹' ۳۸/۷۱"
۴	۳۴° ۱۱' ۲۳/۷۹"	۴۹° ۴۹' ۴۱/۷۶"
۵	۳۴° ۰۹' ۰۴/۳۷"	۴۹° ۵۱' ۱۶/۹۰"
۶	۳۴° ۱۲' ۱۷/۷۳"	۴۹° ۴۷' ۰۰/۳۱"
۷	۳۴° ۱۱' ۲۴/۴۶"	۴۹° ۵۰' ۵۷/۸۹"
۸	۳۴° ۱۱' ۵۷/۳۵"	۴۹° ۵۰' ۲۶/۴۴"
۹	۳۴° ۱۱' ۵۰/۳۵"	۴۹° ۴۹' ۰۸/۳۳"
۱۰	۳۴° ۱۱' ۰۱/۴۱"	۴۹° ۵۰' ۲۴/۴۵"
۱۱	۳۴° ۱۳' ۱۶/۶۰"	۴۹° ۵۳' ۱۹/۴۶"



شکل ۱: موقعیت تالاب میقان در ایران و استان مرکزی

به منظور آماده‌سازی و هضم نمونه‌ها، رسوبات را از یخچال خارج نموده و پس از هم‌دم شدن آن‌ها با محیط، با شست و شو در آب برداشت شده از محل ایستگاه‌های نمونه برداری، از الک ۶۳ میکرون گذرانده شدند. رسوب خارج شده از الک را به مدت ۲۴ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و نمونه‌ها را پس از خشک شدن در هاون عقیق پودر کردیم. سپس به ۰/۵ گرم از رسوب، ۷ میلی‌لیتر تیزاب سلطانی (مخلوط ۱:۳ اسید کلریدریک و اسید نیتریک) و ۳ میلی‌لیتر $HClO_4$ اضافه و پس از گذراندن از فیلتر، محلول حاصل را به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده و در نهایت پس از تهیه محلول استاندارد هر فلز و کالیبره کردن دستگاه، غلظت فلزات سنگین مورد ارزیابی در سه تکرار توسط دستگاه جذب اتمی Shimadzu مدل AA 680، قرائت گردید (کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹).



شکل ۲: نقشه توزیع ایستگاه‌های نمونه برداری در تالاب میقان.

به منظور محاسبه شدت آلودگی رسوبات با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر از رابطه ۱ و جدول ۲ استفاده شد:

رابطه

$$Igeo = \log_2 [(Cn / (1.5 \times Bn))]$$

در این رابطه:

$Igeo$ = شاخص تجمع ژئوشیمیایی (شاخص شدت آلودگی در رسوبات)

Cn = غلظت ماده آلاینده در رسوبات با قطر کمتر از ۶۳ میکرون بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم

Bn = غلظت ماده آلاینده در سنگ شیل یا غلظت اولیه عناصر در زمانی که آلودگی وجود نداشته است بر حسب میلی گرم بر کیلوگرم

ضریب ۱/۵ نیز به منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل تاثیر عوامل زمینی اعمال شده است (کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹؛ Muller,

1979).

جدول ۲: طبقه بندی کیفیت رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر (Muller, 1979).

مقادیر $Igeo$	درجه آلودگی	وضعیت آلودگی (محدوده مولر)
≤ 0	۰	غیر آلوده
۰-۱	۱	از غیر آلوده تا آلودگی متوسط
۱-۲	۲	آلودگی متوسط
۲-۳	۳	از آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد
۳-۴	۴	آلودگی زیاد
۴-۵	۵	از آلودگی زیاد تا به شدت آلوده
> 5	۶	به شدت آلوده

به منظور پردازش آماری داده‌ها از ویرایش ۱۹ نرم افزار SPSS استفاده شد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. سپس برای مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از آزمون آماری تحلیل واریانس بین‌آزمودنی یک طرفه (آزمون چند دامنه‌ای دانکن) و برای مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی با رهنمود سازمان بهداشت جهانی از آزمون تی تک نمونه ای استفاده شد.

نتایج

مقایسه میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوبات تالاب میقان به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری بیانگر آن بود که کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر آهن به ترتیب با $3068/33 \pm 95/92$ و $3340/0 \pm 86/65$ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب مربوط به ایستگاه‌های ۶ و ۷، کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر سرب به ترتیب با $15/0 \pm 5/0$ و $26/66 \pm 7/63$ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب مربوط به ایستگاه‌های ۵ و ۱۰، کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر کادمیوم به ترتیب با $0/16 \pm 0/11$ و $0/43 \pm 0/11$ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب به ترتیب مربوط به ایستگاه‌های ۲ و ۶ و کمینه و بیشینه میانگین غلظت عنصر مس به ترتیب با $13/33 \pm 1/15$ و $21/0 \pm 1/73$ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب مربوط به ایستگاه‌های ۷ و ۹ بوده است. نتایج در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳: میانگین غلظت* (انحراف معیار \pm میانگین) تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوبات تالاب میقان

به تفکیک ایستگاه‌های نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک رسوب.

ایستگاه	عنصر		
	آهن	سرب	کادمیوم
۱	$3188 \pm 46/60^{**}$	$17/0 \pm 2/88^c$	$0/23 \pm 0/15^c$
۲	$3180 \pm 150/62^d$	$22/0 \pm 10/40^f$	$0/16 \pm 0/11^a$
۳	$3149 \pm 113/53^c$	$16/0 \pm 6/02^b$	$0/33 \pm 0/15^f$
۴	$3271 \pm 265/53^j$	$18/0 \pm 10/40^d$	$0/36 \pm 0/05^g$
۵	$3224 \pm 50/22^h$	$15/0 \pm 5/0^a$	$0/23 \pm 0/12^c$
۶	$3068 \pm 95/92^a$	$18/0 \pm 2/88^d$	$0/43 \pm 0/11^h$
۷	$3340 \pm 86/65^k$	$20/0 \pm 8/66^e$	$0/30 \pm 0/17^e$
۸	$3207 \pm 37/87^g$	$20/0 \pm 5/0^e$	$0/23 \pm 0/05^c$
۹	$3265 \pm 19/85^i$	$20/0 \pm 5/50^e$	$0/23 \pm 0/15^c$
۱۰	$3195 \pm 191/23^f$	$27/7/63^g$	$0/20 \pm 0/10^b$
۱۱	$3070 \pm 266/48^b$	$18/0 \pm 2/88^d$	$0/26 \pm 0/20^d$

* داده‌ها مربوط به میانگین غلظت سه تکرار می باشد.

** حروف غیر مشترک (a, b, c, d, ...) در هر ستون، بیانگر تفاوت معنی‌دار ($P < 0/05$) بین ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوب بر اساس نتایج آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (آزمون دانکن) می‌باشد.

نتایج گروه‌بندی ایستگاه‌های نمونه‌برداری از نظر مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوبات، نشان داد که میانگین غلظت عنصر آهن در تمام ایستگاه‌های نمونه‌برداری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($P < 0/05$)، میانگین غلظت عنصر سرب به جز مابین ایستگاه‌های ۴ و ۶ و ۱۱؛ و ۷ و ۸ و ۹، در سایر ایستگاه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($P < 0/05$)، میانگین غلظت عنصر کادمیوم به جز مابین ایستگاه‌های ۱، ۵، ۸ و ۹، در سایر ایستگاه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته ($P < 0/05$)، و میانگین غلظت عنصر

مس به جز مابین ایستگاه‌های ۲ با ۵ و ۱ با ۶، در سایر ایستگاه‌ها با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشته است ($P < 0.05$). نتایج در نمودارهای ۱ تا ۴ ارایه شده است.

نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوبات با مقادیر استاندارد سازمان بهداشت جهانی (جدول ۴) بیانگر آن بود که میانگین غلظت عناصر آهن و مس نمونه‌ها با حد استاندارد اختلاف معنی‌دار داشته و بیشتر از مقادیر تعیین شده بوده ($P < 0.05$) ولی میانگین غلظت عناصر سرب و کادمیوم نمونه‌ها با حد استاندارد اختلاف معنی‌دار نداشته است. نتایج در جدول ۵ ارایه شده است.

جدول ۴: حداکثر غلظت مجاز عناصر سنگین در رسوب.

عنصر	حداکثر غلظت مجاز (قسمت در میلیون)
آهن	۴
سرب	۲۰
کادمیوم	۰/۳
مس	۴

جدول ۵: نتایج مقایسه آماری میانگین غلظت تجمع یافته عناصر مورد ارزیابی در رسوبات با حد استاندارد.

پیراسنجه	تعداد	تفاوت میانگین از استاندارد	آماره t	درجه آزادی	P-value	فاصله اطمینان (%۹۵)	
						حد پایینی	حد بالایی
Test value= 4							
آهن	۳۳	۳۱۹۲/۲۱	۱۲۹/۷۵۴	۳۲	۰/۰۰۰	۳۱۳۷/۳۹۳۴	۳۲۴۷/۰۲۶۶
Test value= 20							
سرب	۳۳	-۰/۸۲۱۸۲	-۰/۸۴۹	۳۲	۰/۴۱۶	-۲/۹۷۹۵	۱/۳۳۵۸
Test value= 0.3							
کادمیوم	۳۳	-۰/۰۳۰۹۱	-۱/۳۰۵	۳۲	۰/۲۲۱	-۰/۰۸۳۷	۰/۰۲۱۹
Test value= 4							
مس	۳۳	۱۲/۹۹۷۲۷	۱۶/۶۹۴	۳۲	۰/۰۰۰	۱۱/۲۶۲۶	۱۴/۷۳۲۰

نتایج محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر به منظور طبقه‌بندی رسوبات از نظر شدت آلودگی به عناصر مورد ارزیابی، بیانگر آن بود که رسوبات تالاب میقان از نظر آلودگی به هر ۴ عنصر سنگین با درجه آلودگی صفر، در طبقه غیر آلوده قرار می‌گیرند (جدول ۶). لازم به ذکر است که در این پژوهش به دلیل عدم وجود سوابق مطالعاتی در منطقه، در محاسبه شاخص مولر از مقادیر مرجع ارایه شده در مطالعه میانگین پوسته زمین ارایه شده توسط Grosbois و همکاران (۲۰۰۱) استفاده شده است (Woitke et al., 2003) (جدول ۷).

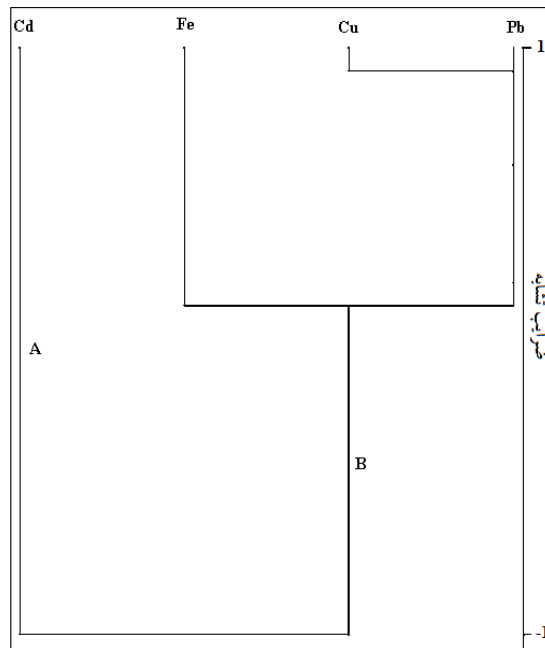
جدول ۶: مقادیر محاسبه شده شاخص مولر و طبقه‌بندی رسوبات تالاب میقان از نظر شدت آلودگی به عناصر سنگین مورد ارزیابی.

شاخص مولر	ایستگاه											
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	
IgeoFe	-۳/۸۶	-۳/۸۷	-۳/۸۸	-۳/۸۴	-۳/۸۶	-۳/۹۲	-۳/۷۹	-۳/۸۶	-۳/۸۴	-۳/۸۶	-۳/۹۲	-۳/۸۶
IgeoPb	-۱/۰۵	-۰/۶۷	-۱/۱۴	-۰/۹۱	-۱/۲۰	-۰/۹۱	-۰/۷۸	-۰/۷۸	-۰/۷۶	-۰/۳۷	-۰/۹۱	-۰/۸۵
IgeoCd	-۲/۸۴	-۳/۳۷	-۲/۳۲	-۲/۱۸	-۲/۸۴	-۱/۹۴	-۲/۴۶	-۲/۸۴	-۲/۸۴	-۳/۰۵	-۲/۶۶	-۱/۸۹
IgeoCu	-۱/۱۵	-۱/۳۵	-۱/۴۲	-۱/۰۱	-۱/۲۹	-۱/۱۱	-۱/۴۹	-۰/۹۱	-۰/۸۴	-۰/۹۳	-۱/۲۳	-۱/۱۴

جدول ۷: میانگین نیل برای عناصر مورد ارزیابی (Woitke et al., 2003).

عنصر	میانگین نیل (قسمت در میلیون)
آهن	۳۱۰۰۰
سرب	۲۳
کادمیوم	۱/۱
مس	۲۵

نتایج محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بین عناصر مورد مطالعه در رسوبات تالاب میقان که در قالب دندوگرام آنالیز خوشه‌ای ارائه شده است، بیانگر آن است که آنالیز خوشه‌ای از دو شاخه A و B تشکیل شده است که با ضریب تشابه منفی به یکدیگر متصل شده‌اند. در شاخه A عنصر کادمیوم و در شاخه B سه عنصر آهن، مس و سرب حضور دارند. بدین ترتیب که عناصر سرب و مس با ضرایب تشابه بالا و معنی‌دار با هم ارتباط داشته و احتمالاً تحت تاثیر عوامل کنترل کننده یکسان قرار دارند. این دو عنصر در درجه بعدی با آهن و سپس با کادمیوم همبستگی نشان دادند. به این معنی که منشاء عناصر سرب و مس یکسان و متفاوت با آهن و کادمیوم بوده است (نمودار ۱).



نمودار ۱: دندوگرام آنالیز خوشه‌ای عناصر سنگین در رسوبات تالاب میقان.

بحث و نتیجه گیری

آنالیز رسوبات، از اهمیت بسزایی در ارزیابی شرایط آلودگی بوم‌سازگان‌های آبی برخوردار می‌باشند. از طرفی رسوبات، به ویژه رسوبات موجود در تالاب‌های همجوار مناطق شهری و صنعتی که تالاب میقان نیز این چنین است- توانایی بالقوه جذب و ته نشین کردن آلاینده‌های گوناگون از جمله فلزات سنگین را دارا می‌باشند (سبز عزیزاده و ناصری، ۱۳۹۰). اگرچه آلاینده‌ها برای مدت طولانی در رسوبات باقی می‌مانند، ولی در اثر فعالیت‌های زیست‌شناختی و تغییر شرایط فیزیکی و شیمیایی می‌توانند وارد آب‌های فوقانی شوند. لذا، اندازه‌گیری غلظت کل عنصر سنگین می‌تواند تصویری واقعی از آلودگی یک محیط آبی را فراهم آورد (باقری و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج این مطالعه، بیانگر وجود اختلاف معنی‌دار میانگین غلظت تجمع یافته عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس مابین اکثر ایستگاه‌های نمونه‌برداری با یکدیگر به دلیل فعالیت کارخانه املاح معدنی ایران و ورود پساب تصفیه‌خانه شهر اراک در محدوده‌ای از تالاب بود، که با دستاورد پژوهش خسروی و همکاران (۱۳۹۰) که به بررسی غلظت فلزات سنگین در ۳ بخش شرقی، غربی و مرکزی تالاب انزلی پرداخته و نتیجه گرفتند که اختلاف معنی‌داری بین آلودگی فلزات سنگین در منطقه شرقی با دو منطقه دیگر به دلیل ورود حجم بالای آلاینده‌ها از صنایع و اراضی کشاورزی وجود دارد، مطابقت داشت.

نتایج پژوهش حاکی از آن بود که میانگین غلظت عناصر آهن و مس تجمع یافته در رسوبات بالاتر از حد استاندارد ارائه شده سازمان بهداشت جهانی می‌باشد. این امر را می‌توان ناشی از منابع انسانی و طبیعی همچون استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی به ویژه

کودهای میکرو و گرانوله، کاربرد سموم و کود بی کیفیت، ورود زه‌آب های 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 بر روی آن‌ها و نرم و گلی بودن بستر تالاب، مقاومت به انحلال در آب و لذا تجمع در رسوب، فساد گیاهی و وجود رگه های طبیعی آهن در پیرامون منطقه به ویژه روستای شمس آباد نسبت داد (Jain, 2004; Buccolieri et al., 2006). این نتایج با دستاورد پژوهش خراسانی و همکاران (۱۳۸۴) که به ارزیابی غلظت تجمع یافته عناصر روی، مس، آهن، کروم و سرب در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس اقدام نمودند؛ دستاورد پژوهش باقری و همکاران (۱۳۹۱) که به ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین رسوبات خلیج گرگان پرداختند؛ دستاورد پژوهش بیاتی و همکاران (۱۳۹۱) که نسبت به ارزیابی زیست‌محیطی فلزات بالقوه سمی در رسوبات بستر شمال غرب خلیج فارس در محدوده استان بوشهر اقدام نمودند؛ دستاورد پژوهش سبز علیزاده و ناصری (۱۳۹۰) که به ارزیابی غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر تالاب رفیع در استان خوزستان پرداختند؛ دستاورد پژوهش خراط صادقی و کرباسی (۱۳۸۵) که به بررسی غلظت و منشأ عناصر سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیروود اقدام نمودند، مغایرت ولی با دستاورد پژوهش کریمی و قاسمپور شیرازی (۱۳۹۱) که به بررسی توزیع ژئوشیمیایی و میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کر پرداختند و با دستاورد پژوهش غضیبان و زارع خوش اقبال (۱۳۹۰) که به ارزیابی منشأ آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی پرداختند، تشابه داشت.

نتایج محاسبه شدت آلودگی رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص مولر بیانگر آن بود که رسوبات از نظر متوسط شدت آلودگی به عناصر آهن، سرب، کادمیوم و مس در طبقه غیرآلوده قرار گرفته‌اند. این نتایج با دستاورد پژوهش باقری و همکاران که نسبت به ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان توسط شاخص ژئوشیمیایی مولر اقدام نموده و نتیجه گرفتند که رسوبات از نظر متوسط شدت آلودگی به عنصر آهن به علت برداشت نمونه‌ها از عمق و ناچیز بودن فعالیت‌های انسانی در زمان نهشته شدن رسوبات عمیق، در رده غیرآلوده طبقه‌بندی می‌شوند؛ با دستاورد پژوهش کرباسی و همکاران که نسبت به ارزیابی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر اقدام نموده و نتیجه گرفتند که شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین در رده غیرآلوده می‌باشد؛ با دستاورد پژوهش کرباسی و ولوی که نسبت به ارزیابی شدت آلودگی عناصر سرب و آهن در رسوبات تالاب بامدژ توسط شاخص ژئوشیمیایی مولر پرداخته و نتیجه گرفتند که شدت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین در رده غیرآلوده می‌باشد؛ با دستاورد پژوهش بیاتی و همکاران که نسبت به ارزیابی زیست‌محیطی فلزات بالقوه سمی در رسوبات بستر شمال غرب خلیج فارس (محدوده استان بوشهر) با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر اقدام نموده و نتیجه گرفتند که رسوبات از نظر کیفیت آلودگی برای اکثر عناصر مورد مطالعه در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند، با دستاورد پژوهش سبز علیزاده و ناصری که با محاسبه شاخص ژئوشیمیایی مولر نسبت به بررسی و تعیین غلظت فلزات سنگین در رسوبات بستر تالاب رفیع استان خوزستان اقدام نموده و نتیجه گرفتند که رسوبات از نظر غلظت فلزات سنگین در رده غیرآلوده قرار می‌گیرند، با دستاورد پژوهش Alagarsamy که توسط شاخص تجمع زمینی مولر به ارزیابی شدت آلودگی عناصر سرب و مس در رسوبات مصب ماندای هندوستان پرداخته و عنوان نمودند که مقادیر شاخص برای این عناصر در طبقه غیرآلوده می‌باشد و با دستاورد پژوهش Buccolieri و همکاران که توسط شاخص تجمع زمینی مولر نسبت به ارزیابی غلظت عنصر مس در رسوبات خلیج تارانتو ایتالیا اقدام و نتیجه گرفتند که مقادیر محاسبه شده شاخص کمتر از صفر و در طبقه غیرآلوده بوده است، مطابقت دارد (کرباسی و همکاران، ۱۳۸۵؛ کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹؛ سبز علیزاده و ناصری، ۱۳۹۰؛ باقری و همکاران، ۱۳۹۱؛ بیاتی و همکاران، ۱۳۹۱؛ Alagarsamy, 2006؛ Buccolieri et al., 2006). به طور کلی و با توجه به نتایج پژوهش می‌توان ادعان نمود که شرایط حاکم بر منطقه از جمله ورود فاضلاب شهری، روستایی و صنعتی، زه‌آب اراضی کشاورزی، استقرار شرکت معدنی املاح ایران در مجاور تالاب و نزدیکی تصفیه‌خانه شهر اراک به تالاب، در کنار شرایط طبیعی حاکم بر منطقه، در بلندمدت سبب تجمع بیش از حد استاندارد عناصر سنگین به ویژه آهن و مس در رسوبات شده و به منظور کنترل این روند و ممانعت از افزایش بار آلودگی تالاب به سایر عناصر سمی، می‌بایست تمهیدات ویژه‌ای در خصوص مدیریت منابع آلاینده ورودی به این بوم‌سازگان با اهمیت بوم‌شناختی ویژه، توسط دست اندرکاران اندیشیده شود.

منابع

- آستانی، س.، و بهارمستیان، ب.، ۱۳۹۱. ارزیابی مخاطرات محیط زیستی تالاب کویری میقان، مجموعه مقالات سومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، صفحات ۳۴۶-۳۵۱.
- انصاری، ا.، ۱۳۹۰. بررسی وضعیت زیست‌محیطی تالاب کویری میقان اراک با استفاده از GIS و RS. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مقابله با بیابان‌زایی و توسعه پایدار تالاب‌های کویری ایران، صفحات ۱۴۶۷-۱۴۷۶.
- باقری، ح.، درویش بسطامی، ک.، شارمند، ت.، و باقری، ز.، ۱۳۹۱. ارزیابی پراکنش آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان، مجله اقیانوس‌شناسی، دوره سوم (شماره ۱۱)، صفحات ۶۵-۷۲.
- بیاتی، ف.، مدبری، س.، لک، ر.، و سعیدی، م.، ۱۳۹۱. ارزیابی زیست‌محیطی فلزات بالقوه سمی در رسوبات بستر شمال غرب خلیج فارس (محدوده استان بوشهر)، سی و یکمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰ ص.
- جمشیدی، ک.، ۱۳۹۲. ارزیابی غلظت عناصر آهن، مس، سرب و کادمیوم در رسوبات تالاب میقان با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، ۸۸ ص.
- خراسانی، ن.، شایگان، ج.، و کریمی شهری، ن.، ۱۳۸۴. بررسی غلظت فلزات سنگین (روی، مس، آهن، کروم و سرب) در رسوبات سطحی سواحل بندرعباس، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۸ (شماره ۴)، صفحات ۸۶۱-۸۶۹.
- خراط صادقی، م.، و کرباسی، ع.، ۱۳۸۵. بررسی غلظت و منشا عناصر سنگین در رسوبات بستر رودخانه شیروود، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره ۸ (شماره ۳)، صفحات ۴۳-۵۱.
- خسروی، م.، بهرامی فرو، ن.، و قاسمیپوری، س.، ۱۳۹۰. بررسی آلودگی فلزات سنگین (Cu، Zn، Hg، Pb، Cd) در رسوب سه بخش تالاب انزلی، مجله سلامت و محیط، دوره ۴ (شماره ۲)، صفحات ۲۲۳-۲۳۲.
- داود پور، ر.، و هادیان، ن.، ۱۳۹۱. پرندهگان تالاب میقان اراک. انتشارات نشر سهی، ۱۶۰ ص.
- سبز علیزاده، س.، و دهقان مدیسه، س.، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی فلزات سنگین در رسوبات منطقه لیفه-بوسیف (سواحل شمال غرب خلیج فارس) بر اساس شاخص تجمع زمینی، مجله علمی شیلات ایران، سال ۱۹ (شماره ۳)، صفحات ۵۱-۶۰.
- سبز علیزاده، س.، و ناصری، س.، ۱۳۹۰. بررسی و تعیین میزان غلظت فلزات سنگین (Ni، Cu، Cr، Pb، Cd) در رسوبات بستر تالاب رفیع در استان خوزستان، پروژه شورای تحقیقات شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان، کد ۸۹۰۰۹.
- غضبان، ف.، و زارع خوش اقبال، م.، ۱۳۹۰. بررسی منشا آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب انزلی (شمال ایران)، مجله محیط شناسی، سال ۳۷ (شماره ۵۷)، صفحات ۴۵-۵۶.
- کرباسی، ع.، بیاتی، ا.، و نبی بیدهندی، غ.، ۱۳۸۵. بررسی شدت آلودگی عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شفارود، مجله محیط شناسی، سال ۳۲ (۳۹)، صفحات ۴۱-۴۸.
- کرباسی، ع.، و ولوی، ش.، ۱۳۸۹. تعیین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بامدژ با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر، محیط شناسی، سال ۳۶ (شماره ۵۴)، صفحات ۱-۱۰.
- کریمی، م.، و قاسمیپور شیرازی، س.، ۱۳۹۱. توزیع ژئوشیمیایی و میزان آلودگی فلزات سنگین (سرب، روی، نیکل، کروم و آرسنیک) در رسوبات رودخانه کر (جنوب مرودشت)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۸ (شماره ۲)، صفحات ۱۳۳-۱۴۵.

Alagarsamy, R., 2006. Distribution and seasonal variation of trace metals in surface sediments of the Mandovi Estuary, West Coast of India. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 67 (1-2), 333-339.

Allen, H. E., Boothman, G. F., DiToro, D. M. and Mahony, J. D., 1991. Determination of acid volatile sulfide and selected simultaneously extractable metals in sediment. Draft Method, US EPA, Washington, DC, pp.42-43.

Buccolieri, A., Buccolieri, G., Cardellicchio, N., Dell Atti, A., Di Leo, A. and Maci, A., 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf, Ionian Sea, Southern Italy. *Marine Chemistry*, 99, 227-235.

Jain, C. K., 2004. Metal fractionation study on bed sediments of River Yamuna, India. *Water Research*, 38, 569-578.

Kelepertsis, A., Alexakis, D. and Kita, I., 2001. Environmental geochemistry of soils and waters of Susaki Area, Korinthos, Greece. *Environmental Geochemistry and Health*, 23(2), 117-135.

Muller, G., 1979. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geological Journal*, 2, 109-118.

Woitke, P., Wellnitz, J., Helm, D., Kube, P., Lepom, P. and Litheraty, P., 2003. Analysis and assessment of heavy metal pollution in suspended solids and sediments of the river Danube. *Chemosphere*, 51, 633-642.

World Health Organization (WHO), 1992. Cadmium: environmental aspects. *Environmental Health Criteria*: 135, Geneva, p.156.