بررسی غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس در رسوبات بستر تالاب گندمان با استفاده از شاخص‌های ژئوشیمیایی

کیمیا چراغعلی[۱]
عاطفه چمنی[۲*]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.
۲. استادیار گروه محیطزیست، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

*مسئول مکاتبات:
atefehchamani@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹۹۰۴۰۸۴۳
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۵
این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد است.

چکیده

رسوبات، نقش مؤثری در کنترل آلودگی یا پالایش آب اکوسیستم تالابی ایفا می‌کنند و مانند آرشیوی تاریخی، در ثبت فلزات سنگین هستند. تالاب گندمان یکی از ۱۰ تالاب برتر پرنده‌نگری در ایران است. هدف از این مطالعه، بررسی شدت آلودگی رسوبات تالاب گندمان به فلزات سنگین سرب، کادمیوم، مس و روی می‌باشد. بدین منظور، نمونه‌برداری از رسوبات در تابستان و پاییز سال ۱۳۹۶ به‌صورت یک‌بار نمونه‌برداری در نیمه هر فصل، در ۱۲ ایستگاه با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی و فاصله از محل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی به‌صورت دستی انجام شد. در کل تعداد ۳۶ نمونه رسوب در هر فصل و در کل، ۷۲ نمونه از عمق ۲۰ سانتی‌متری برداشت و به آزمایشگاه منتقل شدند. غلظت فلزات سرب، روی، کادمیوم و مس نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری گردید. میانگین غلظت سرب، روی، کادمیوم و مس در تالاب گندمان، به ترتیب ۲۶/۳۴، ۶۱/۹۸، ۱/۲۵ و ۱۸/۷۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم به-دست‌آمد. مقایسه میانگین غلظت فلزات با مقادیر استاندارد کیفیت رسوب کانادا برای آب‌های شیرین (ISQG) نشان داد که میزان مس و سرب موجود در رسوبات از میزان استاندارد (ISQG) کمتر است، اما روی نزدیک به مرز استاندارد (ISQG) قرارگرفته و کادمیوم بیش از میزان استاندارد (ISQG) است. آلودگی به کادمیوم ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای کشاورزی در اراضی گسترده کشاورزی در اطراف تالاب گندمان است که زهاب کشاورزی خود را به این تالاب سرازیر می‌کنند.

واژگان کلیدی: شاخص بار آلودگی، درجه آلودگی، فاکتور آلودگی، شاخص ژئوشیمیایی مولر.

مقدمه

اکوسیستم‌های آبی همواره تحت تأثیر آلاینده‌های مختلف آلی و معدنی هستند (Ozbay *et al.*, ۲۰۱۷). عناصر بالقوه سمی، یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌های غیر آلی هستند که به خاطر غیرقابل تجزیه بودن، سمیت، پایداری و تجمع در زنجیره غذایی دارای اثرات برگشت‌ناپذیر در زندگی و سلامت انسان هستند (Yang *et al.*, ۲۰۰۹). این عناصر از راه‌های مختلف طبیعی و انسانی وارد اکوسیستم‌های آبی می‌شوند.

تخلیه پساب صنعتی، رواناب کشاورزی و فاضلاب شهری به‌وسیله انسان، از عمده‌ترین راه‌های ورود این عناصر به طبیعت محسوب می‌شود (Safahieh *et al.*, ۲۰۱۱). آلودگی رسوبات به فلزات سنگین، به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران، توجه و نگرانی‌های زیادی را به خود معطوف کرده و تحقیقات بسیاری در دهه‌های اخیر در این مورد صورت گرفته است (Jafarabadi *et al.*, ۲۰۱۷; Shabankareh *et al.*, ۲۰۱۸; Hamidian *et al.*, ۲۰۱۶; Sharifinia *et al.*, ۲۰۱۸).

برخی از فلزات سنگین غیرضروری مانند کادمیوم و سرب حتی در غلظت‌های کم هم سمی هستند و با افزایش غلظت در محیط، میزان سمیت آن‌ها نیز افزایش می‌یابد (Has-Schön *et al.*, ۲۰۱۵). سرب از باتری، مهمات، لحیم‌کاری، لوله‌کشی، رنگ‌های مبتنی بر سرب، حمل‌ونقل و ترافیک، حشره‌کش‌ها و آلیاژهای مختلف وارد طبیعت می‌شود (Sayadi and Sayyed, ۲۰۱۱؛Nezat *et al.*, ۲۰۱۷) و بعد از ورود به

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

زنجیره غذایی، باعث ناهنجاری‌های مختلفی را در انسان می‌شود (Renieri *et al.*, ۲۰۱۹). سرب در خون سبب افزایش فشارخون افراد می‌شود (WHO, ۲۰۰٦). بیماری‌هایی مانند آسیب جدی مغزی و عقب‌ماندگی ذهنی، اختلالات رفتاری و تغییرات خلقی، اختلال در نمو عصبی کودکان و ... از عوارض مزمن مسمومیت‌های سربی است (Malakootian and Khashi, ۲۰۱٤).

کادمیوم در طبیعت همراه سرب، مس و روی یافت می‌شود، اما از طرفی از آلاینده‌های مهم و شایع محیطزیست است که قرار گرفتن در معرض آن بیماری‌های متعددی مانند پوکی استخوان، اختلال عملکرد و درنهایت نارسائی کلیوی و ... را به دنبال دارد (Eftekhari *et al.*, ۲۰۱۴؛ Soylak *et al.*, ۲۰۰۸). سمیت کادمیوم در حضور عناصر سمی دیگر مانند سرب افزایش می‌یابد (Nourouzi *et al.*, ۲۰۱۸). مس، یکی از عناصر ضروری برای حفظ تعادل در بدن (Chen *et al.*, ۲۰۰٦) و عملکرد مناسب فیزیولوژیکی آن است. مس در مقادیر طبیعی در همه اکوسیستم‌های آبی وجود دارد؛ اما اگر مقادیر آن از حد آستانه مجاز فراتر رود، باعث مسمومیت می‌گردد. مقادیر زیاد مس معمولاً درنتیجه فعالیت‌های انسان ازجمله بهره‌برداری از معادن، کاربرد قارچ‌کش‌ها در کشاورزی و ورود رواناب‌ها به محیط آبی اتفاق می‌افتد (EPA, ۲۰۰٦). وجود مس در غلظت‌های بالا باعث ایجاد بیماری‌هایی از قبیل کم‌خونی، تغییرات در استخوان‌ها، افزایش کلسترول و سبز شدن رنگ موها در بدن و نیز گاهی منجر به مرگ می‌شود (Malakootian and Khashi, ۲۰۱٤). روی یک عنصر ضروری است که به‌طور وسیع در صنایعی نظیر رنگرزی، ریخته‌گری، خودروسازی و همچنین در دندانپزشکی کاربرد دارد (Zazoli *et al.*, ۲۰۰٦). این عنصر به‌عنوان یک عنصر کم‌مصرف در مقادیر کم برای بدن ضروری است (Gul *et al.*, ۲۰۰۹)، اما مقادیر زیاد آن می‌تواند باعث بروز مسمومیت گردد.

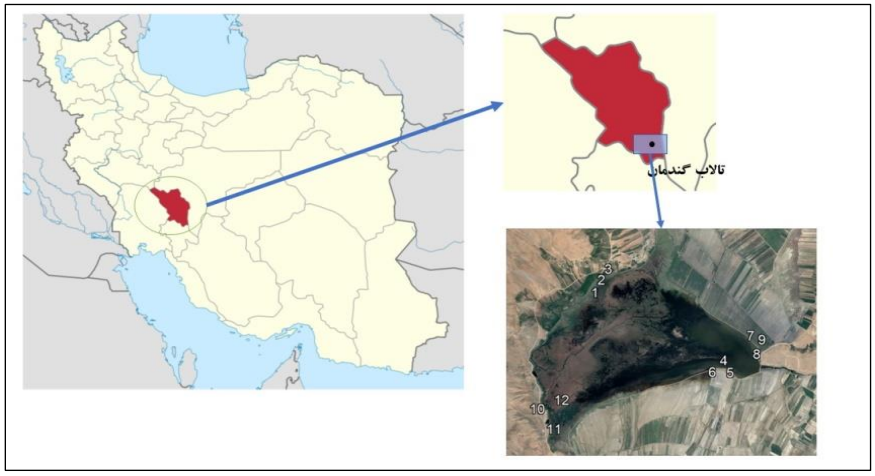
Karimian و همکاران (۲۰۲۰) میانگین غلظت سرب و کادمیوم را رسوبات رودخانه زاینده‌رود به ترتیب ۱۹/۶۹ و ۲/۱۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان کرده‌اند. کوهرانی و چمنی (۱۳۹۸)، میانگین غلظت سرب را در رسوبات تالاب خورآذینی ۱۳/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کردند که از میزان استاندارد کیفیت رسوب کانادا پایین‌تر است. همچنین بالا بودن میزان آلودگی به سرب را قاچاق و تخلیه ترکیبات نفتی همچنین استقرار صنایع نفت، گاز و پتروشیمی در خط ساحلی این ناحیه نسبت دادند. کاظمی و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی غلظت سرب و کادمیوم در رسوبات سایت حفاظت‌شده لاک‌پشت پوزه عقابی در جزیره کیش، میزان غلظت سرب و کادمیوم را در ۸۹ درصد نمونه‌ها به‌طور معنی‌داری بالاتر از میزان استاندارد کیفیت رسوب کانادا (ISQGs) اعلام کردند که نشان‌دهنده آلودگی قابل‌ملاحظه رسوبات این منطقه به سرب و کادمیوم است.

تالاب گندمان در استان چهارمحال و بختیاری در حاشیه جاده بروجن- لردگان در نزدیکی شهر گندمان قرار دارد. مساحت تالاب بالغبر ۱۲۰۰ هکتار است که در حال حاضر با توجه به تصرفات انجام‌شده، مساحت آن به ۹۸۰ هکتار رسیده است. این تالاب به‌عنوان یکی از ۱۰ تالاب برتر پرنده‌نگری در ایران است. از منابع آبی تالاب، علاوه بر نزولات جوی، می‌توان رودخانه آق‌بلاغ و چشمه‌های حاشیه تالاب را نام برد. تعداد ۸ روستا در حاشیه تالاب واقع‌شده که جمعیتی بالغبر ۱۰۰۰۰ نفر را در خود جای‌داده‌اند. مرغزارهای اطراف تالاب معمولاً به‌عنوان مرتعی غنی برای چرای احشام استفاده‌شده و محاط در اراضی کشاورزی می‌باشد. اکوسیستم این منطقه به علت عمق کم آب، محدودیت ورود منابع، تبخیر زیاد و جوامع جانوری و گیاهی خاص، آسیب‌پذیر و شکننده می‌باشد. باوجود عواملی مانند چرای بی‌رویه دام، بهره‌برداری نامناسب از منابع آبی و فعالیت‌های کشاورزی درازمدت در این منطقه، ورود آلاینده‌ها و کودهای کشاورزی، تغییر کاربری‌های اراضی اطراف این تالاب، زهکشی اراضی تالابی و تبدیل آن به زمین کشاورزی، زمینه نابودی و تخریب این بوم‌سازگان را فراهم آورده است (Mokhtari and Ghaderi, ۲۰۰۸). هدف از این مطالعه بررسی غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس در رسوبات تالاب گندمان در دو فصل تابستان و پاییز و مقایسه آن با استانداردهای بین‌المللی است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از رسوبات در نیمه هر فصل در تابستان و پاییز در قالب طرح کاملاً تصادفی (Van Belle *et al.*, ۲۰۰٤) در ۱۲ ایستگاه و در چهار جهت اصلی جغرافیایی و با سه تکرار در هر ایستگاه با در نظر گرفتن قابلیت دسترسی و فاصله از محل تخلیه فاضلاب شهری و صنعتی در محدوده قابل‌دسترس تالاب انجام گرفت (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در تالاب گندمان.

نمونه‌ها به‌صورت دستی و توسط بیلچه پلاستیکی اسید شور شده برداشت و درون کیسه‌های پلاستیکی پلی‌اتیلنی ضخیم قرار گرفت. درنهایت تمامی نمونه‌ها در یخدان قرار داده شد و ظرف کمتر از ۲۴ ساعت به آزمایشگاه منتقل و داخل فریزر نگهداری شدند. در کل تعداد ۷۲ نمونه رسوب برداشت شدند. برای هضم اسیدی، نمونه‌ها در دمای محیط قرار گرفتند تا از حالت فریز خارج و خشک گردند. پس از این‌که نمونه‌ها رطوبت اولیه خود را در دمای آزمایشگاه از دست دادند، نمونه رسوب در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرارگرفته و خشک شد. سپس پودر شده و از الک ۶۳ میکرون عبور داده شد. سپس به مقدار ۵ گرم از هر نمونه در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس به هر نمونه، ۲۰ میلی‌متر محلول اسید نیتریک ۶۵ درصد و ۵ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه اضافه گردید و به مدت یک‌شب زیر هود قرارگرفته و سپس به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه واقعی در هات پلیت گرما داده شد. محلول نهایی با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ صاف‌شده و با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (APHA, ۲۰۰۵). غلظت سرب، کادمیوم، روی و مس موجود در کلیه نمونه‌ها با استفاده از دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی (AASModel ٦٧OG Furnace) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دقت دستگاه اسپکترومتری جذب اتمی،۲۰ میلی‌لیتر محلول اسیدنیتریک ۶۵ درصد و ۲ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه با مقدار استاندارد سرب، کادمیوم، مس و روی (CCME, ۲۰۰۱) مخلوط و غلظت سرب، کادمیوم، مس و روی آن اندازه‌گیری شد (Nourouzi *et al.*, ۲۰۱۸). میزان راندمان نتایج بین ۹۶ تا ۱۰۱ درصد به دست آمد. ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی گردید. بعد از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها جهت مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوب بین ایستگاه‌ها و فصول موردمطالعه از آنالیز واریانس یک‌طرفه و در صورت معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها، جهت جدا کردن گروه‌های مختلف از آزمون دانکن استفاده گردید. برای بررسی همبستگی میان پارامترهای موردمطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. برای کلیه تجزیه‌وتحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SPSS ویرایش بیست و چهارم و به‌منظور ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید. جهت بررسی و سنجش میزان آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از شاخص ژئوشیمیایی مولر، فاکتور آلودگی، شاخص بار آلودگی، درجه آلودگی، درجه آلودگی اصلاح‌شده و شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات استفاده گردید.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

شاخص زمین انباشت مولر (Muller, ۱۹۶۹) به‌منظور تعیین آلودگی رسوبات به فلزات سنگین و مقایسه غلظت فعلی با غلظت‌های قبل از صنعتی شدن مورداستفاده قرار می‌گیرد. این شاخص (رابطه ۱)، آلودگی رسوبات به عناصر سنگین را در ۷ کلاس، از رده کاملاً غیر آلوده تا آلودگی بسیار شدید (جدول ۱) مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

رابطه ۱:

$$I_{geo} = \log_{۲} [(C_n/(۱/۵ B_n)]$$

در این رابطه I_{geo} = شاخص تجمع ژئوشیمیایی (شاخص شدت آلودگی در رسوبات)

C_n= غلظت ماده آلاینده در رسوبات با قطر کمتر از ۶۳ میکرون برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم

B_n = غلظت اولیه عناصر درزمانی که آلودگی وجود نداشته است برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم است.

ضریب ۱/۵ نیز به‌منظور تصحیح غلظت اولیه رسوبات به دلیل تأثیر عوامل زمینی اعمال‌شده است. در این مطالعه، میانگین در پوسته زمین سرب، کادمیوم، مس و روی در خاک به ترتیب ۱۴، ۰/۲، ۲۷ و ۸۰ (Miller and Miller, ۲۰۰۷) میلی‌گرم بر کیلوگرم مورداستفاده قرار گرفت.

جدول ۱: درجه‌بندی سطح آلودگی رسوبات بر اساس شاخص تجمع ژئوشیمیایی مولر.

محدوده مولر	درجه آلودگی	مقادیر I_{geo}
غیر آلوده	۰	۰<
از غیر آلوده تا آلوده متوسط	۱	۰-۱
آلودگی متوسط	۲	۱-۲
آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد	۳	۲-۳
آلودگی زیاد	۴	۳-۴
آلودگی زیاد تا بشدت آلوده	۵	۴-۵
بشدت آلوده	۶	۵≥

جهت تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از شاخص فاکتور آلودگی نیز استفاده می‌شود. بر اساس این فاکتور می‌توان مقدار فلزات سنگین را نسبت به مقدار طبیعی آن سنجید و میزان آلودگی خاک (جدول ۲) را تعیین کرد (Abrahim and Parker, ۲۰۰۸).

رابطه ۲:

$$CF_{metal} = C_{metal} / C_{background}$$

در رابطه ۲، CF_{metal} فاکتور آلودگی، C_{metal} غلظت عنصر در سطح خاک و $C_{backgroun}$ غلظت عنصر درزمینه‌ی است.

جدول ۲: رده‌بندی هاکنسون بر مبنای فاکتور آلودگی (CF).

فاکتور آلودگی رسوب	مقدار CF
آلودگی پایین	CF ≤۱
آلودگی متوسط	۱≤ C≤۳
آلودگی قابل‌توجه	۳≤CF≤۶
آلودگی بسیار بالا	CF ≥۶

شاخص بار آلودگی (*PLI*) از طریق رابطه ۳ به دست می‌آید.

رابطه ۳:

$$PLI = \sqrt[N]{CF_{۱} \times CF_{۲} \times \dots CF_n}$$

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

در این رابطه، CF نشان‌دهنده فاکتور آلودگی هر فلز، N برابر با تعداد فلزات سنگین موردمطالعه و PLI شاخص بار آلودگی است (Tomlinson *et al.*, ۱۹۸۰). شاخص بار آلودگی بیشتر از یک، نشان‌دهنده آلودگی منطقه است.

مجموع فاکتورهای آلودگی آلاینده‌های موردمطالعه (رابطه ۴)، درجه کلی آلودگی رسوب را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون گفته می‌شود (جدول ۳).

رابطه ۴:

$$C_d = \sum_{i=1}^{n=2} CF_i$$

n= با تعداد فلزات سنگین موردمطالعه

CF= فاکتور آلودگی هر فلز

با توجه به اینکه امکان محاسبه همه پارامترها در شاخص درجه آلودگی وجود ندارد، شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی (رابطه ۵) ابداع شد که از تقسیم شاخص درجه آلودگی به تعداد فلزات موردراندازه‌گیری (n)، به دست می‌آید (Abrahim and Parker, ۲۰۰۸) و درجه آلودگی منطقه را در طبقات مختلف مشخص می‌کند (جدول ۳).

رابطه ۵:

$$mC_d = \frac{Cd}{n}$$

جدول ۳: شاخص درجه آلودگی (Hakanson, ۱۹۸۰) و شاخص درجه آلودگی اصلاح‌شده (Abrahim and Parker, ۲۰۰۸).

درجه آلودگی	C_d	درجه آلودگی	mC_d
کم	$C_d \leq$ ۶	خیلی کم	$mC_d \leq$ ۱/۵
متوسط	۶≤ C_d≤ ۱۲	کم	۱/۵≤ mC_d≤ ۲
قابل‌ملاحظه	۱۲≤ C_d ≤۲۴	متوسط	۲≤ mC_d ≤۴
خیلی زیاد	$C_d \geq$ ۲۴	زیاد	۴≤ mC_d ≤۸
		خیلی زیاد	۸≤ mC_d ≤۱۶
		فوق‌العاده زیاد	۳۲≤ mC_d ≤۱۶
		بیش‌ازحد	$mC_d \geq$ ۳۲

شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی فلزات سنگین ابتدا به‌وسیله Hakanson (۱۹۸۰) ابداع شد و درجه آلودگی فلزات در خاک را ارزیابی کرده و حساسیت جوامع مختلف اکولوژیکی خاک را نسبت به سمیت فلزات سنگین می‌سنجد (جدول ۴) (Barkett and Akün, ۲۰۱۸).

رابطه ۶:

$$RI = \sum_{i=1}^{n} E_r^i$$

رابطه ۷:

$$E_r^i = T_r^i \times \frac{M_x^i}{M_b^i}$$

در رابطه ۶ و ۷، E_r^i= شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی، M_x^i = غلظت اندازه‌گیری شده هر فلز، M_b^i = مقدار غلظت زمینه یا طبیعی هر فلز و T_r= فاکتور پاسخ سمیت هر فلز که برای فلزات سرب، کادمیوم، مس و روی به ترتیب برابر ۵، ۳۰، ۵ و ۱ می‌باشد (Hakanson, ۱۹۸۰).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

جدول ٤: طبقه‌بندی شاخص خطر اکولوژیکی و شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی (Hakanson, ۱۹۸۰).

شاخص پتانسیل خطر اکولوژیکی	E_r	شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی	RI
$E_r \leq ۴۰$	خطر کم	خطر اکولوژیکی کم	RI ≤ ۱۵۰
۸۰ ≤ E_r ≤ ۴۰	خطر متوسط	خطر اکولوژیکی متوسط	۱۵۰ ≤ RI ≤ ۳۰۰
۱۶۰ ≤ E_r ≤ ۸۰	خطر قابل‌توجه	خطر اکولوژیکی قابل‌ملاحظه	۳۰۰ ≤ RI ≤ ۶۰۰
۳۲۰ ≤ E_r ≤ ۱۶۰	خطر بالا	خطر اکولوژیکی بالا و معنی‌دار	RI ≥ ۶۰۰
$E_r \geq ۳۲۰$	خطر بسیار بالا		

نتایج

برای بررسی نرمال یا غیر نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگراف اسمیرنف استفاده گردید. بر اساس نتایج این آزمون (جدول ۵)، با توجه به اینکه بیش از ۹۰ درصد داده‌ها، Pvalue>۰/۰۵ دارند، از آنالیزهای پارامتری برای تجزیه تحلیل داده‌ها استفاده گردید. میانگین غلظت عناصر موردبررسی به تفکیک فصل و ایستگاه نمونه‌برداری در شکل ۲ تا ۵ آمده است.

جدول ۵: آنالیز تجزیه واریانس برای بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار میان ایستگاه‌ها در تابستان و پاییز سال ۱۳۹٦ در تالاب گندمان.

	Fvalue	Pvalue
مس	۰/۰۱۸	۰/۱۳۴
روی	۴/۴۶۰	۰/۰۵۳
سرب	۰/۷۹۷	۰/۷۷۲
کادمیوم	۱/۱۵۱	۰/۹۵۱

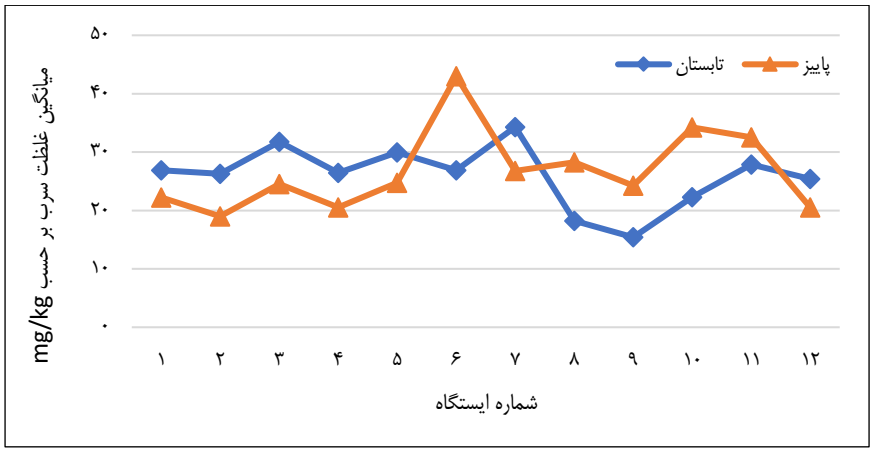
بر اساس جدول ۵، تفاوت غلظت این فلزات بین دو فصل تابستان و پاییز رد می‌شود؛ بنابراین مابقی آنالیزها برای تابستان و پاییز به‌صورت یکجا انجام گردید.

جدول ٦: نتایج آزمون تی برای مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین با میزان استاندارد کیفیت رسوب کانادا (CCME, ۲۰۰۱).

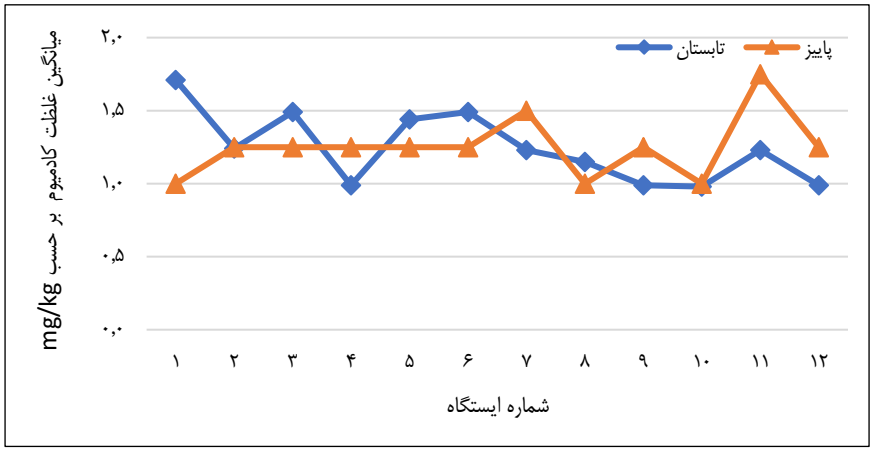
عنصر	*Pvalue*	اختلاف میانگین	میزان استاندارد
مس	۰	−۱۶/۹۴	۳۵/۷
روی	۰/۲۳۸	−۳۴/۱۳	۱۲۳
کادمیوم	۰	۰/۶۴	۰/۶
سرب	۰	−۸/۶۶	۳۵

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

میانگین غلظت کادمیوم (شکل ۳) در نمونه‌های موردمطالعه از میزان استاندارد کیفیت رسوب کانادا به‌طور معنی‌داری بیشتر و میانگین غلظت سرب (شکل ۲) و مس (شکل ۵) به‌طور معنی‌داری کمتر است. میانگین غلظت روی (شکل ۴)، از میزان استاندارد کیفیت رسوب کانادا کمتر است، اما اختلاف معنی‌دار ندارد و به‌بیان‌دیگر در مرز قرار دارد (جدول ۶).

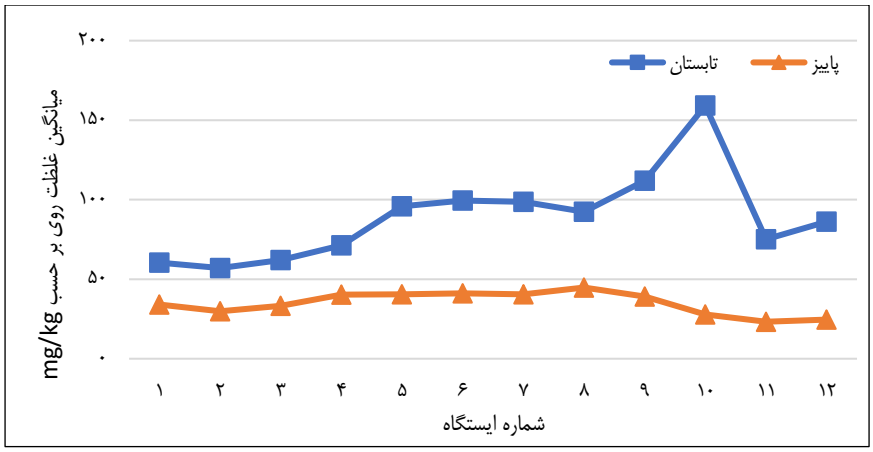


شکل ۲: میانگین غلظت سرب برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در تالاب گندمان در دو فصل تابستان و پاییز ۱۳۹۶.

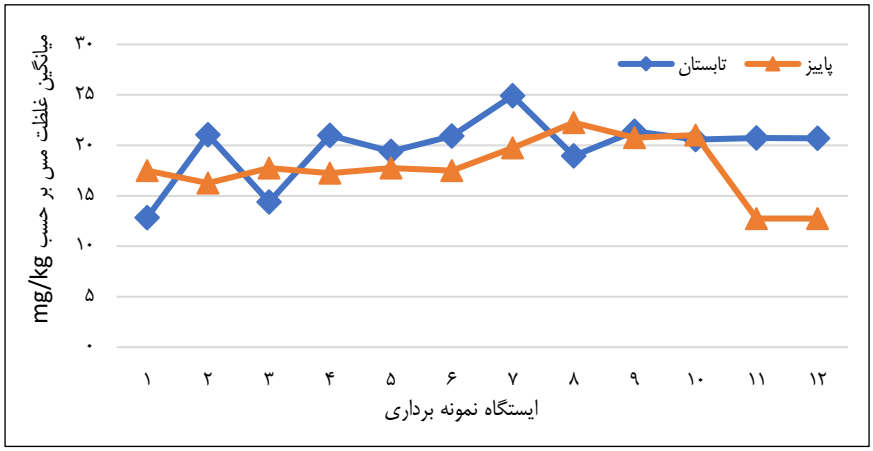


شکل ۳: میانگین غلظت کادمیوم برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در تالاب گندمان در دو فصل تابستان و پاییز ۱۳۹۶.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]



شکل ٤: میانگین غلظت روی برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در تالاب گندمان در دو فصل تابستان و پاییز ۱۳۹٦.



شکل ٥: میانگین غلظت مس برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک در تالاب گندمان در دو فصل تابستان و پاییز ۱۳۹٦.

شاخص مولر در فصل تابستان برای مس در کلاس غیر آلوده، برای سرب و روی در کلاس غیر آلوده تا آلودگی متوسط و برای کادمیوم در کلاس آلودگی متوسط تا آلودگی زیاد قرار گرفت. در فصل پاییز، نتایج شاخص مولر در مورد سرب، کادمیوم و مس با فصل تابستان هم‌خوانی داشته ولی فلز روی، در کلاس غیر آلوده قرار گرفت. بر اساس نتایج فاکتور آلودگی در فصل تابستان، سرب در کلاس آلودگی متوسط، کادمیوم در کلاس آلودگی قابل‌توجه تا بسیار بالا و مس در کلاس آلودگی پایین قرار دارد، اما روی در کلاس آلودگی پایین تا متوسط قرار دارد. نتایج فصل پاییز در مورد فلزات سرب، کادمیوم و مس کاملاً با نتایج تابستان مطابقت دارد ولی در مورد روی، در کلاس آلودگی پایین قرار دارد. شاخص‌های درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده در تابستان و پاییز منطقه را در طبقه آلودگی متوسط قرار می‌دهند. درنهایت، شاخص ارزیابی خطر اکولوژیکی در هر دو فصل، منطقه را در معرض خطر اکولوژیکی متوسط می‌داند. شاخص بار آلودگی، در فصل تابستان نشان‌دهنده آلودگی منطقه است و در فصل پاییز میزان آلودگی کاهش‌یافته و به‌جز در چهار ایستگاه، بقیه ایستگاه‌ها را فاقد آلودگی ارزیابی می‌کند (جدول‌های ۷ و ۸).

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

جدول ۷: میانگین شاخص‌های محاسبه‌شده در هر ایستگاه در تالاب گندمان در فصل تابستان ۱۳۹۶.

ایستگاه	Igeo				CF				Cd	mCd	Er				RI	PLI
	Pb	Cd	Cu	Zn	Pb	Cd	Cu	Zn			Pb	Cd	Cu	Zn		
۱	۰/۳۶	۲/۵۱	-۱/۶۶	-۰/۹۹	۱/۹۲	۸/۵۵	۰/۴۸	۰/۷۶	۱۱/۷۰	۲/۹۳	۹/۶۰	۲۵۶/۵۰	۲/۳۸	۰/۷۶	۲۶۹/۲۴	۱/۴۷
۲	۰/۳۲	۲/۰۵	-۰/۹۴	-۱/۰۷	۱/۸۸	۶/۲۰	۰/۷۸	۰/۷۱	۹/۵۷	۲/۳۹	۹/۳۸	۱۸۶/۰۰	۳/۹۰	۰/۷۱	۱۹۹/۹۹	۱/۶۲
۳	۰/۶۰	۲/۳۱	-۱/۴۹	-۰/۹۵	۲/۲۷	۷/۴۵	۰/۵۳	۰/۷۸	۱۱/۰۳	۲/۷۶	۱۱/۳۴	۲۲۳/۵۰	۲/۶۶	۰/۷۸	۲۳۸/۲۸	۱/۷۵
۴	۰/۳۳	۱/۷۲	-۰/۹۵	-۰/۲۱	۱/۸۹	۴/۹۵	۰/۷۸	۱/۴۵	۹/۰۶	۲/۲۷	۹/۴۴	۱۴۸/۵۰	۳/۸۹	۱/۴۵	۱۶۳/۲۸	۲/۶۳
۵	۰/۵۱	۲/۲۶	-۱/۰۶	-۰/۳۳	۲/۱۴	۷/۲۰	۰/۷۲	۱/۲۰	۱۱/۲۵	۲/۸۱	۱۰/۶۹	۲۱۶/۰۰	۳/۵۹	۱/۲۰	۲۳۱/۴۸	۳/۳۱
۶	۰/۳۶	۲/۳۱	-۰/۹۵	-۰/۲۷	۱/۹۲	۷/۴۵	۰/۷۷	۱/۲۴	۱۱/۳۹	۲/۸۵	۹/۶۰	۲۲۳/۵۰	۳/۸۷	۱/۲۴	۲۳۸/۲۱	۳/۴۴
۷	۰/۷۱	۲/۰۴	-۰/۷۰	-۰/۲۸	۲/۴۵	۶/۱۵	۰/۹۲	۱/۲۳	۱۰/۷۶	۲/۶۹	۱۲/۲۵	۱۸۴/۵۰	۴/۶۱	۱/۲۳	۲۰۲/۵۹	۴/۲۹
۸	-۰/۲۰	۱/۹۴	-۱/۱۰	-۰/۳۸	۱/۳۰	۵/۷۵	۰/۷۰	۱/۱۵	۸/۹۱	۲/۲۳	۶/۵۱	۱۷۲/۵۰	۳/۵۱	۱/۱۵	۱۸۳/۶۸	۱/۵۲
۹	-۰/۴۵	۱/۷۲	-۰/۹۲	-۰/۱۰	۱/۱۰	۴/۹۵	۰/۷۹	۱/۴۰	۸/۲۴	۲/۰۶	۵/۵۰	۱۴۸/۵۰	۳/۹۶	۱/۴۰	۱۵۹/۳۶	۱/۵۱
۱۰	۰/۰۹	۱/۷۱	-۰/۹۸	۰/۴۱	۱/۵۹	۴/۹۰	۰/۷۶	۱/۹۹	۹/۲۴	۲/۳۱	۷/۹۶	۱۴۷/۰۰	۳/۸۱	۱/۹۹	۱۶۰/۷۵	۲/۹۵
۱۱	۰/۴۱	۲/۰۴	-۰/۹۷	-۰/۶۸	۱/۹۹	۶/۱۵	۰/۷۷	۰/۹۴	۹/۸۵	۲/۴۶	۹/۹۶	۱۸۴/۵۰	۳/۸۴	۰/۹۴	۱۹۹/۲۴	۲/۲۰
۱۲	۰/۲۷	۱/۷۲	-۰/۹۷	-۰/۴۸	۱/۸۱	۴/۹۵	۰/۷۷	۱/۰۸	۸/۶۱	۲/۱۵	۹/۰۶	۱۴۸/۵۰	۳/۸۳	۱/۰۸	۱۶۲/۴۸	۱/۸۵

جدول ۸: میانگین شاخص‌های محاسبه‌شده در هر ایستگاه در تالاب گندمان در فصل تابستان ۱۳۹۶.

ایستگاه	I_{geo} Pb	I_{geo} Cd	I_{geo} Cu	I_{geo} Zn	CF Pb	CF Cd	CF Cu	CF Zn	C_d	mC_d	Er(Pb)	Er(Cd)	Er(Cu)	Er(Zn)	RI	PLI
۱	۰/۰۸	۱/۷۴	-۱/۲۱	-۱/۸۲	۱/۵۹	۵/۰۰	۰/۶۵	۰/۴۳	۷/۶۶	۱/۹۲	۷/۹۵	۱۵۰/۰۰	۳/۲۴	۰/۴۳	۱۶۱/۶۱	۰/۵۵
۲	-۰/۱۴	۲/۰۶	-۱/۳۲	-۲/۰۱	۱/۳۶	۶/۲۵	۰/۶۰	۰/۳۷	۸/۵۸	۲/۱۵	۶/۷۹	۱۸۷/۵۰	۳/۰۱	۰/۳۷	۱۹۷/۶۷	۰/۴۷
۳	۰/۲۲	۲/۰۶	-۱/۱۹	-۱/۸۵	۱/۷۵	۶/۲۵	۰/۶۶	۰/۴۲	۹/۰۷	۲/۲۷	۸/۷۵	۱۸۷/۵۰	۳/۲۹	۰/۴۲	۱۹۹/۹۵	۰/۷۵
۴	-۰/۰۳	۲/۰۶	-۱/۲۳	-۱/۵۸	۱/۴۶	۶/۲۵	۰/۶۴	۰/۵۰	۸/۸۶	۲/۲۱	۷/۳۲	۱۸۷/۵۰	۳/۱۹	۰/۵۰	۱۹۸/۵۲	۰/۷۴
۵	۰/۲۴	۲/۰۶	-۱/۱۹	-۱/۵۷	۱/۷۷	۶/۲۵	۰/۶۶	۰/۵۱	۹/۱۸	۲/۳۰	۸/۸۴	۱۸۷/۵۰	۳/۲۹	۰/۵۱	۲۰۰/۱۳	۰/۹۲
۶	۱/۰۳	۲/۰۶	-۱/۲۱	-۱/۵۵	۳/۰۷	۶/۲۵	۰/۶۵	۰/۵۱	۱۰/۴۸	۲/۶۲	۱۵/۳۶	۱۸۷/۵۰	۳/۲۴	۰/۵۱	۲۰۶/۶۱	۱/۵۹
۷	۰/۳۵	۲/۳۲	-۱/۰۴	-۱/۵۷	۱/۹۱	۷/۵۰	۰/۷۳	۰/۵۱	۱۰/۶۵	۲/۶۶	۹/۵۵	۲۲۵/۰۰	۳/۶۶	۰/۵۱	۲۳۸/۷۲	۱/۳۳
۸	۰/۴۳	۱/۷۴	-۰/۸۶	-۱/۴۲	۲/۰۲	۵/۰۰	۰/۸۲	۰/۵۶	۸/۴۰	۲/۱۰	۱۰/۰۹	۱۵۰/۰۰	۴/۱۲	۰/۵۶	۱۶۴/۷۷	۱/۱۶
۹	۰/۲۱	۲/۰۶	-۰/۹۶	-۱/۶۲	۱/۷۳	۶/۲۵	۰/۷۷	۰/۴۹	۹/۲۴	۲/۳۱	۸/۶۶	۱۸۷/۵۰	۳/۸۴	۰/۴۹	۲۰۰/۴۹	۱/۰۱
۱۰	۰/۷۱	۱/۷۴	-۰/۹۵	-۲/۱۱	۲/۴۵	۵/۰۰	۰/۷۸	۰/۳۵	۸/۵۷	۲/۱۴	۱۲/۲۳	۱۵۰/۰۰	۳/۸۹	۰/۳۵	۱۶۶/۴۷	۰/۸۳
۱۱	۰/۶۳	۲/۵۴	-۱/۶۷	-۲/۳۷	۲/۳۲	۸/۷۵	۰/۴۷	۰/۲۹	۱۱/۸۳	۲/۹۶	۱۱/۶۱	۲۶۲/۵۰	۲/۳۶	۰/۲۹	۲۷۶/۷۶	۰/۷۰
۱۲	-۰/۰۳	۲/۰۶	-۱/۶۷	-۲/۲۹	۱/۴۶	۶/۲۵	۰/۴۷	۰/۳۱	۸/۴۹	۲/۱۲	۷/۳۲	۱۸۷/۵۰	۲/۳۶	۰/۳۱	۱۹۷/۴۹	۰/۳۳

بحث و نتیجه‌گیری

مقایسه میانگین غلظت فلزات در مطالعه حاضر نشان داد که میزان مس و سرب موجود در رسوبات از استاندارد کیفیت رسوب کانادا کمتر است، اما روی نزدیک به مرز استاندارد قرارگرفته و کادمیوم بیش از استاندارد است. Yousefi و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه رسوبات تالاب

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

آلاگل، Farsani و همکاران (۲۰۱۹) در رسوبات دریاچه سد ارس، Shakeri و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه رسوبات رودخانه خیاو نیز مقدار سرب را کمتر از حد استاندارد اعلام کردند.

Shariati و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه آلودگی رسوبات تالاب انزلی به فلزات سنگین، میانگین غلظت مس را ۳۲/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کردند که همانند این مطالعه از میزان استاندارد کانادا کمتر است، اما در مطالعه Farsani و همکاران (۲۰۱۹) در رسوبات دریاچه سد ارس، میانگین غلظت مس، ۱۰۲/۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد که بیش از سه برابر میزان استاندارد این فلز در دستورالعمل استاندارد آب شیرین کانادا است. هرچند ضریب تغییرات کم برای شاخص فاکتور آلودگی، مس را در رده آلودگی پایین قرار داده ولی میانگین غلظت آن در ایستگاه‌ها نشان از رسیدن آن به آلودگی متوسط را دارد. افزایش غلظت مس در رسوب را می‌توان هم به فاکتورهای مختلف طبیعی و هم انسانی ارتباط داد. به نظر می‌رسد در منطقه موردمطالعه جدا از منشأ طبیعی، مهم‌ترین فعالیت انسانی که برافزایش غلظت مس اثر داشته است، فعالیت‌های کشاورزی است. فلز روی در هر دو شاخص مولر و فاکتور آلودگی در طبقه غیر آلوده قرار داشت، به‌جز سه ایستگاه جنوب، شرق و غرب در فصل تابستان. منابع ورود روی به خاک در ۲ گروه عمده کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و لجن‌های فاضلاب که در اراضی کشاورزی مورداستفاده قرار می‌گیرد. شاخص بار آلودگی کمتر یا نزدیک به عدد یک، نشان‌دهنده این است که بار یا غلظت فلزات سنگین نزدیک به غلظت زمینه و اگر بیش از یک باشد نشان‌دهنده آلوده بودن رسوبات می‌باشد (Varol, ۲۰۱۱). نتایج شاخص بار آلودگی نشان داد که آلودگی در فصل تابستان در تمامی ایستگاه‌ها بیشتر از یک است. در فصل پاییز نیز شاخص بار آلودگی در ایستگاه‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ که در مجاورت زمین‌های کشاورزی منطقه قرار دارند، افزایش می‌یابد. Shariati و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه رسوبات تالاب انزلی همچنین Farsani و همکاران (۲۰۱۹) در رسوبات دریاچه سد ارس میزان کادمیوم را به ترتیب ۰/۲۳ و ۴/۹۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم اعلام کردند که نشان از غلظت بالای کادمیوم در رسوبات این مناطق دارد. نتایج مطالعه حاضر با سایر مطالعات مشابه در ایران و جهان در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹: مقایسه نتایج این مطالعه با سایر مطالعات مشابه.

موقعیت	میانگین غلظت (میلی‌گرم/کیلوگرم)				منبع
	Cd	Pb	Zn	Cu	
بوشهر	۴/۵	۱۱/۵۵	---	--	(Cheraghi *et al.*, ۲۰۱٤)
خلیج‌فارس	۰/۱۵	۲۶/۸۱	--	--	(Jafarabadi *et al.*, ۲۰۱۷)
شمال غرب خلیج‌فارس	۰/۳۷	۱۷	--	--	(Pejman *et al.*, ۲۰۱۷)
بندر عسلویه	-	۳/۳۹	--	--	(Delshab *et al.*, ۲۰۱۷)
چاه نیمه، سیستان و بلوچستان	۷/۷۳	۲۳/۵۷	۹۲/۱۴	۴/۰۹	(Bazrafshan *et al.*, ۲۰۱٦)
رودخانه شور، تهران	--	۳۸/۲۶	۱۹۰/۶	۱۹/۶۴	(Hamidian *et al.*, ۲۰۱٦)
خلیج Tamilnadu، هند	۳/۸	۱۱/۱	--	--	(Ravisankar *et al.*, ۲۰۱۸)
خلیجXiamen ، چین	۰/۳۳	۵۴	۱۳۹	۴۴	(Zhang *et al.*, ۲۰۰۷)
رودخانه زاینده‌رود	۲/۱۱	۱۹/۶۹	--	--	(Karimian *et al.*, ۲۰۲۰)
تالاب گندمان	۱/۲۵	۲۶/۳۴	۶۱/۹۸	۱۸/۷۵	مطالعه حاضر
استاندارد کیفیت رسوب کانادا	۰/۶	۳۵	۱۲۳	۳۵/۷	(CCME, ۲۰۰۱)

شاخص مولر و شاخص فاکتور آلودگی بسیار زیاد به کادمیوم را در تمام ایستگاه‌ها و در هر دو فصل تأیید می‌کند. با توجه به بررسی‌های میدانی به‌عمل‌آمده اصلی‌ترین عامل آلودگی تالاب گندمان به فلزات سنگین بخصوص کادمیوم، مصرف آفت‌کش‌ها و کودهای کشاورزی است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

کودهای فسفره در ایران بیشتر به‌صورت فسفات آمونیوم استفاده می‌شوند که دارای فلزات سنگین ازجمله کادمیوم هستند. با مصرف این نوع کودها، کادمیوم در خاک انباشته‌شده، به‌وسیله گیاه جذب و وارد زنجیره غذایی انسان می‌گردد.

یکی دیگر از عوامل آلودگی رسوبات تالاب به کادمیوم را می‌توان به استفاده از کود دامی در زمین‌های کشاورزی مرتبط دانست. مطالعات اخیر نشان داده است که در مقایسه با کودهای معدنی خالص، استفاده طولانی‌مدت از کودهای مخلوط (۳۰ درصد کودهای دامی و ۷۰ درصد کودهای فسفاته) و یا استفاده کامل از کودهای دامی بدون کودهای معدنی می‌تواند ریسک آلودگی به کادمیوم را تا ۵۵ درصد افزایش دهد (Zhuang *et al.*, ۲۰۲۰).

رودخانه آق‌بلاغ یکی از رودخانه‌های استان چهارمحال‌و بختیاری در شهرستان بروجن است که خروجی تالاب چغاخور را به همراه هرز آب‌های منطقه به تالاب گندمان می‌ریزد. این رودخانه به خاطر تأمین آب کشاورزی روستاهای پایین‌دست تالاب چغاخور، تأمین آب دام و تأمین آب تالاب گندمان اهمیت بسیار زیادی در منطقه دارد. وجود زمین‌های کشاورزی در مسیر این رودخانه نیز باعث شده آب رودخانه در هنگام ورود به تالاب گندمان حاوی مقادیر قابل‌ملاحظه‌ای هرز آب کشاورزی باشد.

پوشش گیاهی تالاب گندمان را عمدتاً گونه‌های حاشیه‌ای و نم پسند تشکیل می‌دهد و در کنار گیاهانی مثل بید، مرغ، جگن، ساز، نی، لویی، زنبق، آلاله آبی، هزارنی، بارهنگ آبی، نخل مرداب، عدسک آبی و بزواش رویش دارد. افزایش غلظت کادمیوم در خاک باعث افزایش جذب آن به‌وسیله گیاه می‌گردد. افزایش غلظت این عنصر در گیاه به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم به دلیل تجمع آن در کلروپلاست از فرایندهای فیزیولوژیکی مثل تنفس و فتوسنتز جلوگیری می‌کند و باعث کاهش میزان کلروفیل، کلروز برگ و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی می‌شود.

کادمیوم نه‌تنها هیچ نقش کلیدی در حیات موجودات زنده ندارد بلکه غلظت‌های سمی کادمیوم نیز می‌تواند سبب نقص جنینی، ایجاد جهش و سرطان‌زایی در اندام‌های زیستی پرندگان شود. همچنین در برخی از پرندگان نظیر حواصیل و ماهی خوارها باعث نازایی می‌شوند (Burger and Gochfeld, ۱۹۹۲). از پیامدهای آلودگی رسوبات به کادمیوم، ورود آن توسط زنجیره غذایی به بدن پرندگان و انباشته شدن در اعضای بدن آن‌ها است که درنهایت می‌تواند از طریق مادر به تخم انتقال پیدا کند. علاوه بر این، تأثیر منفی کادمیوم موجود در رسوبات بر فراوانی و تراکم جاندارانی که رسوب را به‌عنوان زیستگاه خود انتخاب کرده‌اند (Nafchi and Chamani, ۲۰۱۹) و همچنین بر ویژگی‌های ریختی (Makareh *et al.*, ۲۰۱۸) و فیزیولوژی رشد (Nourouzi *et al.*, ۲۰۱۸) جانداران به اثبات رسیده است.

شرایط حاکم بر منطقه بخصوص اراضی گسترده کشاورزی در اطراف تالاب و ورود زهاب این اراضی، در کنار شرایط طبیعی و زمین‌شناسی حاکم بر منطقه (NIÑO-SAVALA *et al.*, ۲۰۱۹)، در بلندمدت سبب تجمع بیش‌ازحد استاندارد عناصر سنگین به‌ویژه کادمیوم در رسوبات شده است. البته به‌منظور 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 بااهمیت بوم‌شناختی ویژه، توسط دست‌اندرکاران اندیشیده شود.

منابع

کاظمی، م.، چمنی، ع. و محمدی، ح.، ۱۳۹۷. بررسی میزان آلودگی لاک‌پشت منقار عقابی (*Eretmochelys imbricata*) به فلزات سنگین (سرب و کادمیوم) در جزیره کیش. فصلنامه محیطزیست جانوری، دوره ۱۰، شماره ۳، صفحات ۱۴۰-۱۳۳.

کوهرانی، پ. و چمنی، ع.، ۱۳۹۸. میزان آلودگی دو فلز سرب و نیکل در رسوبات و ریشه و برگ گیاه چندل در تالاب بین‌المللی خور آذینی در ایران. فصلنامه زیست‌شناسی دریا، سال ۱۱، شماره ۴۲، صفحات ۳۲-۲۱.

Abrahim, G. and Parker, R., ۲۰۰۸. Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. Environmental monitoring and assessment, ۱۳۶: ۲۲۷-۲۳۸.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

APHA., ۲۰۰۵. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association (APHA): Washington, DC, USA.

Barkett, M. O. and Akün, E., ۲۰۱۸. Heavy metal contents of contaminated soils and ecological risk assessment in abandoned copper mine harbor in Yedidalga, Northern Cyprus. Environmental Earth Sciences, ۷۷: ۳۷۸.

Bazrafshan, E., Mostafapour, F. K., Esmaelnejad, M., Ebrahimzadeh, G. R. and Mahvi, A. H., ۲۰۱۶. Concentration of heavy metals in surface water and sediments of Chah Nimeh water reservoir in Sistan and Baluchestan province, Iran. Desalination and Water Treatment, ۵۷: ۹۳۳۲-۹۳۴۲.

Burger, J. and Gochfeld, M., ۱۹۹۲. Heavy metal and selenium concentrations in black skimmers (*Rynchops niger*): gender differences. Archives of environmental contamination and toxicology, ۲۳: ٤۳۱-٤۳٤.

CCME., ۲۰۰۱. Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Canadian Environmental Quality Guidelines, CCME.

Chen, Z., Meng, H., Xing, G., Chen, C., Zhao, Y., Jia, G., Wang, T., Yuan, H., Ye ,C. and Zhao, F., ۲۰۰٦. Acute toxicological effects of copper nanoparticles in vivo. Toxicology letters, ۱٦۳: ۱۰۹-۱۲۰.

Cheraghi, M., Safahieh, A., Dadolahi Sohrab, A., Ghanemi, K. and Doragh, A. M. I. ۲۰۱٤. Concentration of heavy metals in *Avicennia marina* and sediments in Dayyer port. Wetland Ecobiology, ۵: ٤۵-۵۵.

Delshab, H., Farshchi, P. and Keshavarzi, B., ۲۰۱۷. Geochemical distribution, fractionation and contamination assessment of heavy metals in marine sediments of the Asaluyeh port, Persian Gulf .Marine Pollution Bulletin, ۱۱۵: ۴۰۱–۴۱۱.

Eftekhari, M. H., Mazloomi, S. M., Akbarzadeh, M. and Ranjbar, M., ۲۰۱٤. Content of toxic and essential metals in recrystallized and washed table salt in Shiraz, Iran. Journal of Environmental Health Science and Engineering, ۱۲: ۱۰.

EPA., ۲۰۰٦. Decision, Reregistration Eligibility for Permethrin. United States Environmental Protection Agency: Washington, DC.

Farsani, M. N., Haghparast, R. J., Naserabad, S. S., Moghadas, F., Bagheri, T. and Gerami, M. H., ۲۰۱۹. Seasonal heavy metal monitoring of water, sediment and common carp (*Cyprinus carpio*) in Aras Dam Lake of Iran. International Journal of Aquatic Biology, ۷: ۱۲۳-۱۳۱.

Gul, A., Yilmaz, M. and Isilak, Z., ۲۰۰۹. Acute toxicity of zinc sulphate (ZnSO٤. H۲O) to guppies) Poecilia reticulata, P.۱۸۵۹.

Hakanson, L., ۱۹۸۰. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. Water research, ۱٤: ۹۷۵-۱۰۰۱.

Hamidian, A. H., Zareh, M., Poorbagher, H., Vaziri, L. and Ashrafi, S., ۲۰۱٦. Heavy metal bioaccumulation in sediment, common reed, algae, and blood worm from the Shoor river, Iran. Toxicology and industrial health, ۳۲: ۳۹۸–۴۰۹.

Has-Schön, E., Bogut, I., Vuković, R., Galović, D., Bogut, A. and Horvatić, J., ۲۰۱۵. Distribution and age-related bioaccumulation of lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), and arsenic (As) in tissues of common carp (*Cyprinus carpio*) and European catfish (*Sylurus glanis*) from the Buško Blato reservoir (Bosnia and Herzegovina). Chemosphere, ۱۳۵: ۲۸۹-۲۹٦.

Jafarabadi, A. R., Bakhtiyari, A. R., Toosi, A. S. and Jadot, C., ۲۰۱۷. Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. Chemosphere,

۱۸۵ (۱): ۱۱۱۱–۰۹۰.

Karimian, S., Chamani, A. and Shams, M., ۲۰۲۰. Evaluation of heavy metal pollution in the Zayandeh-Rud River as the only permanent river in the central plateau of Iran. Environmental Monitoring and Assessment, ۱۹۲: ۳۱٦.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

Makareh, M., Chamani, A. and Moshtaghie, M., ۲۰۱۸. Evaluation of Lead and Cadmium pollutions in morphometric characteristics of Hermit crab (*Coenobita scaevola*). Journal of Environmental Studies, ٤٣: ٧١٣-٧٢٣.

Malakootian, M. and Khashi, Z., ۲۰۱٤. Heavy metals contamination of drinking water supplies in southeastern villages of Rafsanjan plain: survey of arsenic, cadmium, lead and copper. Journal of the health in the field, ۲: ۱-۹.

Miller, J. R. and Miller, S. M. O., ۲۰۰۷. Contaminated rivers: a geomorphological-geochemical approach to site assessment and remediation. Springer Science and Business Media.

Mokhtari, Z. and Ghaderi, F., ۲۰۰۸. Ecosystem Approach to Wetland Management. First Iranian National Wetlands Conference.

Muller, G., ۱۹٦۹. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geojournal, ۲: ۱۰۸-۱۱۸.

Nafchi, M. A. and Chamani, A., ۲۰۱۹. Physiochemical factors and heavy metal pollution, affecting the population abundance of Coenobita scaevola. Marine pollution bulletin, ١٤٩: ١١٠٤٩٤.

Nezat, C. A., Hatch, S. A. and Uecker, T., ۲۰۱۷. Heavy metal content in urban residential and park soils: A case study in Spokane, Washington, USA. Applied geochemistry, ٧٨: ١٨٦-١٩٣.

Nino_Savala, A. G., Zhuang, Z., MA, X., Fangmeier, A., Li, H., Tang, A. and Liu, X., ۲۰۱۹. Cadmium pollution from phosphate fertilizers in arable soils and crops: an overview. Frontiers of Agricultural Science and Engineering, ٦: ٤١٩-٤٣٠.

Nourouzi, M. M., Chamani, A., Shirani, M., Malekpouri, P. and Chuah, A. L., ۲۰۱۸. Effect of Cd and Pb Pollutions on Physiological Growth: Wavelet Neural Network (WNN) as a New Approach on Age Determination of Coenobita scaevola. Bulletin of environmental contamination and toxicology, ١٠١: ٦-٣٢٥.

Ozbay, G., Chintapenta, L. K., Cannon, A. and Hannum, K., ۲۰۱۷. Effects of microbial and heavy metal contaminants on environmental/ecological health and revitalization of coastal ecosystems in Delaware Bay. Frontiers in Environmental Science, ٥: ٢٦.

Pejman, A., Bidhendi, G. N., Ardestani, M., Saeedi, M. and Baghvand, A., ۲۰۱۷. Fractionation of heavy metals in sediments and assessment of their availability risk: A case study in the northwestern of Persian Gulf. Marine pollution bulletin, ١١٤: ٨٨١-٨٨٧.

Ravisankar, R., Harikrishnan, N., Chandrasekaran, A., Gandhi, M. S. and Alagarsamy, R., ۲۰۱۸. Data on heavy metal and magnetic relationships in coastal sediments from South East Coast of Tamilnadu, India. Data in brief, ۱۶: ۳۹۲–۴۰۰.

Renieri, E. A., Safenkova, I. V., Alegakis, A. K., Slutskaya, E. S., Kokaraki, V., Kentouri, M., Dzantiev, B. B. and Tsatsakis, A. M., ۲۰۱۹. Cadmium, lead and mercury in muscle tissue of gilthead seabream and seabass: Risk evaluation for consumers. Food and Chemical Toxicology, ١٢٤: ٤٣٩-٤٤٩.

Safahieh, A., Monikh, F. A. and Savari, A., ۲۰۱۱. Heavy metals contamination in sediment and sole fish (*Euryglossa orientalis*) from Musa estuary (Persian Gulf). World Journal of Fish and Marine Sciences, ٣: ٢٩٠-٢٩٧.

Sayadi, M. and Sayyed, M., ۲۰۱۱. Comparative assessment of baseline concentration of the heavy metals in the soils of Tehran (Iran) with the comprisable reference data. Environmental earth sciences, ٦٣: ١١٧٩-١١٨٨.

Shabankareh, M. G., Amanipoor, H., Battaleb-Looie, S. and Khatooni, J. D., ۲۰۱۸. Statistical modeling the effect of sediment physicochemical properties on the concentration of heavy metal (case study: Musa Creek, SW Iran). Environmental Earth Sciences, ٧٧: ١٠١.

Shakeri, A., Sharifi Fard, M., Mehrabi, B. and Rastegari Mehr, M., ۲۰۲۰. Occurrence, origin and health risk of arsenic and potentially toxic elements (PTEs) in sediments and fish tissues from the geothermal area of the Khiav River, Ardebil Province (NW Iran). Journal of Geochemical Exploration, ٢٠٨: ١٠٦٣٤٧.

Shariati, S., Pourbabaee, A. and Alikhani, H., ۲۰۱۹. Investigation of Heavy Metal Contamination in the Surface Sediments of Anzali Wetland in North of Iran. Pollution, ٥: ٢١١-٢٢٤.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]

Sharifinia, M., Taherizadeh, M., Namin, J. I. and Kamrani, E., ۲۰۱۸. Ecological risk assessment of trace metals in the surface sediments of the Persian Gulf and Gulf of Oman: Evidence from subtropical estuaries of the Iranian coastal waters. Chemosphere, ۱۹۱: ٤٨٥-٤٩٣.

Soylak, M., Peker, D. S. K. and Turkoglu, O., ۲۰۰۸. Heavy metal contents of refined and unrefined table salts from Turkey, Egypt and Greece. Environmental monitoring and assessment, ۱٤۳: ۲٦۷-۲۷۲.

Tomlinson, D., Wilson, J., Harris, C. and Jeffrey, D., ۱۹۸۰. Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index. Helgoländer meeresuntersuchungen, ۳۳: ٥٦ع

Van Belle, G., Fisher, L. D., Heagerty, P. J. and Lumley, T., ۲۰۰٤. Biostatistics: a methodology for the health sciences. John Wiley and Sons.

Varol, M., ۲۰۱۱. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques. Journal of Hazardous Materials, ۱۹٥: ۳٥٥-۳٦٤.

WHO, ۲۰۰٦. Air quality guidelines: global update ۲۰۰٥: particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide. World Health Organization.

Yang, Z., Wang, Y., Shen, Z., Niu, J. and Tang, Z., ۲۰۰۹. Distribution and speciation of heavy metals in sediments from the mainstream, tributaries, and lakes of the Yangtze River catchment of Wuhan, China. Journal of hazardous materials, ۱٦٦: ۱۱۸٦-۱۱۹٤.

Yousefi, Z., Zafarzadeh, A., Mohammadpour Tahamtan, R., Shokrzadeh, M., Babanezhad arimi, E., Fouladian, A. and Khair Abadi, V., ۲۰۱۹. Contamination Assessment and Zoning of Heavy Metalsin Water and Sediment of Alagol Wetland, Iran ۲۰۱۷. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, ۲۹: ۱۸۰-۱۹٤.

Zazoli, M., Shokrzadeh, M., Bazerafshan, E., Hazrati, M. and Tavakkouli, A., ۲۰۰٦. Investigation of zinc content in Iranian rice (*Oryza Sativa*) and its weekly intake. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science, ۱: ۱٥٦-۱٥۹.

Zhang, L., Ye, X., Feng, H., Jing, Y., Ouyang, T., Yu, X., Liang, R., Gao, C. and Chen, W., ۲۰۰۷. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. Marine pollution bulletin, ٥٤: ۹۷٤-۹۸.۲

Zhuang, Z., Mu, H. Y., Fu, P. N., Wan, Y. N., Yu, Y., Wang, Q. and Li, H. F., ۲۰۲۰. Accumulation of potentially toxic elements in agricultural soil and scenario analysis of cadmium inputs by fertilization: A case study in Quzhou county. Journal of Environmental Management, ۲٦۹: ۱۱۰۷۹۷.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-07-14]