

## ارزیابی آلودگی فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم و وانادیوم) در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان

- نازنین فیروزشاهیان: گروه مهندسی محیط‌زیست، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- خوشناز پاینده\*: گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- سیما سبزی‌علی‌پور: گروه مهندسی محیط‌زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: مهر ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۷

### چکیده

این تحقیق در سال ۱۳۹۷ با هدف بررسی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان انجام شد. نمونه‌برداری براساس استاندارد متد (Standard Method) شماره A ۳۰۳۰ و American Society for Testing and Materials شماره D2488 از ۳ ایستگاه تالاب با ۹ تکرار انجام شد. جهت سنجش عناصر سنگین از روش طیف‌سنجی پلاسما جفت شده القایی (ICP) و ترکیب آن با طیف‌سنجی جرمی (ICP-MS) به کمک دستگاه ICP-OES مدل Varian 710-ES ساخت کشور آمریکا استفاده گردید. بالاترین میزان فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۰۷۳، ۲۰۳/۶۴ و ۸۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ایستگاه دوم به دست آمد. میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به دست آمد. فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و وانادیوم در هر ۳ ایستگاه مورد مطالعه در رده آلودگی کم قرار داشتند، اما فلز نیکل در رده آلودگی متوسط تا زیاد بود. درجه آلودگی در ۳ ایستگاه مورد مطالعه در مورد فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی در کلاس و رده خطر اکولوژیکی و زیستی کم قرار گرفتند. میزان فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در آب تالاب هورالعظیم بالاتر از حد مجاز استانداردهای ملی و جهانی به دست آمد. میزان کادمیوم و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم پایین‌تر مجاز استانداردهای ملی و جهانی بود، اما میزان نیکل در رسوبات بالاتر از حد آستانه استانداردهای ملی و جهانی به دست آمد.

**کلمات کلیدی:** آلودگی، استان خوزستان، تالاب هورالعظیم، رسوبات، فلزات سنگین



## مقدمه

تحقیقات پیشین و نقش منابع آب‌های داخلی در بخش‌های مختلف کشاورزی، اقتصادی و اجتماعی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اهمیت این منابع را بیش از پیش نمایان می‌سازد (فعال، ۱۳۹۱؛ رضوانی و همکاران، ۱۳۹۲). در حال حاضر بسیاری از رودخانه‌ها و تالاب‌های ایران در معرض آلودگی‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و زیستی می‌باشند که تجمع آلودگی فلزات سنگین ناشی از فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و صنعتی در آب و رسوبات و آبزیان نیز گزارش شده است (باقری و همکاران، ۱۳۹۰؛ جاسمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ مرتضوی و صابری‌نص، ۱۳۹۶؛ طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۶؛ مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۶). تالاب بزرگ هویزه یا هورالعظیم در غرب استان خوزستان در انتهای رود کرخه در منطقه مرزی دشت آزادگان بین دو کشور ایران و عراق واقع شده است و دارای طول جغرافیایی ۴۷ درجه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه تا ۴۷ درجه دقیقه و ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۴۱ درجه عرض شمالی است. هورالعظیم تنها باقی‌مانده تالاب‌های بسیار بزرگ بین‌النهرین است که در غرب استان خوزستان واقع می‌باشد و عمده منابع آبی تالاب از طریق رودخانه‌های کرخه، نیسان، سابل و نهرهای انشعابی تامین می‌شود. این تالاب یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران محسوب می‌شود که با دارا بودن تنوع زیستی بالا زیستگاه و پناهگاه آبزیان بسیاری می‌باشد و دارای آب شیرین و شور است (اسدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ولایت‌زاده و نجفی، ۱۳۹۲). خنفریان و سواری (۱۳۹۴) در یک تحقیق فلزات سنگین سرب، کروم، روی و کادمیوم را در آب و رسوبات تالاب شادگان ارزیابی کردند که نتایج حاصله نشان داد براساس محاسبه فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات در طی دو فصل تابستان و زمستان درجه آلودگی در سطح پایین قرار دارد. ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان نشان داد بخش‌های جنوبی و غربی این تالاب به‌علت استقرار شهرک‌های صنعتی و پساب‌های زمین‌های کشاورزی تمرکز زیادی از آلاینده‌ها دارد (مرتضوی و صابری‌نص، ۱۳۹۶). طباطبایی و همکاران (۱۳۹۶) فلزات سنگین رسوبات تالاب بندعلیخان ورامین را مطالعه کردند که بیش‌ترین مقدار کروم و روی در خاک قسمت شمالی تالاب، مشاهده گردید. نتایج حاصل نشان‌دهنده قلیایی بودن، بالا بودن میزان آهن و هم‌چنین رسی بودن بافت خاک تالاب است. بنابراین با توجه به افزایش فعالیت‌های نفتی و صنعتی در سال‌های اخیر در مجاورت تالاب هورالعظیم، بررسی و پایش آلودگی‌های محیط زیست نظیر سنجش عناصر سنگین در این تالاب ضروری به نظر می‌رسد.

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت نمونه‌برداری از آب و رسوبات سطحی منابع آلودگی‌های محیط زیست تالاب با فواصل زیاد در نظر گرفته

ورود آلودگی‌های مختلف به محیط زیست و اثرات مخرب آن‌ها توجه محققان بسیاری را به‌خود جلب کرده است. از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. فلزات سنگین به‌عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده اکوسیستم‌های آبی در بسیاری از مناطق جهان محسوب می‌شوند (Janadeleh و Kameli, ۲۰۱۷). فلزات سنگین با ورود به خاک، آب و هوا در نهایت از راه‌های مختلف وارد بدن انسان شده و سبب ایجاد بیماری‌های حاد و مزمن می‌شوند (Sari و همکاران، ۲۰۱۸). در دهه گذشته ورود آلاینده‌ها با منشأ انسانی مانند فلزات سنگین به اکوسیستم‌های آبی، به‌مقدار زیادی افزایش یافته است که به‌عنوان یک خطر جدی برای حیات محیط‌های آبی به‌شمار می‌آیند. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع، از منابع طبیعی و انسان‌ساخت وارد محیط زیست می‌شوند. میزان ورود این فلزات سنگین به‌داخل محیط زیست، متجاوز از میزانی است که به‌وسیله فرآیندهای طبیعی برداشت می‌شوند. بنابراین تجمع فلزات سنگین در محیط زیست مورد توجه می‌باشد (Simic و Miloskovic, ۲۰۱۵؛ Qin و همکاران، ۲۰۱۵). تالاب‌ها نیز جزء گروه بزرگی از اکوسیستم‌های آبی ساکن هستند که در زندگی انسان فواید و کاربری‌های بسیار دارند. تالاب‌ها زیستگاه آبزیان، پرندگان، دوزیستان، خزندگان و پستانداران هستند و بسیاری از گونه‌های اقتصادی و تجاری گیاهان دارویی وجود دارند. تالاب‌ها در معتدل نمودن آب و هوای منطقه، تغذیه آب‌های سطحی و زیرزمینی، جلوگیری از گسترش کویرها و بیابان‌ها، کنترل سیلاب‌ها، امرار معاش مردم بومی به‌واسطه صید و شکار آبزیان و پرندگان نقش اساسی در زندگی انسان‌ها دارند. به‌دلیل افزایش جمعیت و پیشرفت تکنولوژی بسیاری از اکوسیستم‌های طبیعی از جمله تالاب‌ها در معرض تهدید قرار دارند. اقدام به حفاظت برای این اکوسیستم‌های با ارزش، به‌ویژه تالاب‌هایی که دارای نقش اکولوژیک، حفاظتی یا اقتصادی بارز می‌باشند، ضرورت دارد. آلودگی تالاب‌ها با انواع آلاینده‌های خطرناک و سمی می‌تواند مشکلات مهمی را در مورد سلامت انسان و بهداشت محیط زیست به‌وجود آورد. تالاب‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی جهت مصارف انسانی و سایر موجودات زنده در معرض آلودگی‌های محیط زیست متعددی هستند (ولایت‌زاده و نجفی، ۱۳۹۲؛ ولایت‌زاده، ۱۳۹۵). در سال‌های اخیر، آلودگی رودخانه‌ها و تالاب‌ها مورد توجه پژوهشگران متعددی بوده است (Bonanno, ۲۰۱۳). آلودگی آب تالاب‌ها با انواع آلاینده‌های خطرناک می‌تواند مشکلات مهمی را در مورد سلامت انسان و محیط زیست به‌وجود آورد (Sukumaran, ۲۰۱۳). در حال حاضر مشکلات آلودگی در ایران نیز مانند سایر کشورهای در حال توسعه، به‌واسطه پیشرفت تکنولوژیک و فعالیت‌های انسان‌ساخت، روز به روز در حال افزایش می‌باشد و لزوم توجه بیش‌تری را می‌طلبد. از سوی دیگر بررسی

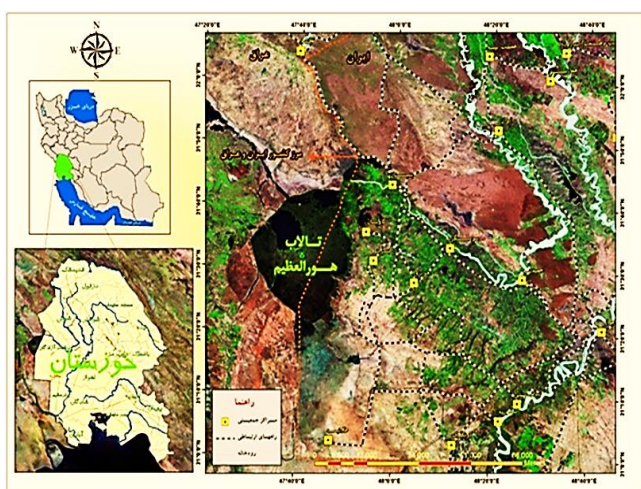


شدند. به عبارت دیگر یک ایستگاه در نقطه شمالی، یک ایستگاه در مجاورت میادین نفتی در بخش مرکزی تالاب و یک ایستگاه در جنوب تالاب و محل تردد مناطق مرزی انتخاب گردید (جدول ۱).

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی نمونه برداری آب، رسوبات و گیاهان آبی در تالاب هورالعظیم

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	بخش تالاب	طول و عرض جغرافیایی
ایستگاه ۱	رفیع	شمالی	۳۱ درجه، ۳۶ دقیقه، ۳۰ ثانیه شمال و ۴۷ درجه، ۴۸ دقیقه، ۱۸ ثانیه شرق
ایستگاه ۲	طبر	مرکزی	۳۱ درجه، ۲۹ دقیقه، ۶ ثانیه شمال و ۴۵ درجه، ۴۵ دقیقه، ۲۸ ثانیه شرق
ایستگاه ۳	شطلعی	جنوبی	۳۱ درجه، ۲۲ دقیقه، ۱۷ ثانیه شمال و ۴۷ درجه، ۴۳ دقیقه، ۱۳ ثانیه شرق

نمونه برداری از آب در این تحقیق براساس استاندارد متد (Standard Method) شماره A ۳۰۳۰ انجام شد. جهت جمع آوری نمونه های آب، بطری نمونه بردار روتنر به عمق ۱۰ سانتی متری فرستاده و در هر ایستگاه با ۳ تکرار انجام شد. نمونه های آب در بطری هایی که از قبل استریل شده بودند ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند. بطری ها با محلول آب مقطر و اسیدنیتریک ۲ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شست و شو گردیدند (ASTM, ۲۰۰۰). نمونه برداری رسوبات نیز با استفاده از استاندارد American Society for Testing and Materials شماره D2488 با استفاده از گرب (Ekman grab) با سطح مقطع ۲۲۵ سانتی متر از ۳۰ سانتی متری بستر و در هر ایستگاه با ۳ تکرار انجام شد. نمونه های رسوب در بطری هایی که از قبل با محلول آب مقطر و اسیدنیتریک ۱۰ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) استریل شده بودند به آزمایشگاه منتقل گردیدند (ASTM, ۱۹۹۱). نمونه های آب به طور مستقیم درون دستگاه اتوسمپلر قرار داده شدند. نمونه های رسوبات را به مدت ۱۲۰ تا ۱۵۰ دقیقه در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده تا به وزن ثابت رسیدند و سپس از داخل آون خارج شدند. برای هضم نمونه ها از روش مرطوب استفاده شد، به این صورت که ۰/۵ گرم از نمونه در یک بالن ۲۵۰ میلی لیتر ریخته شد و به آن ۲۵ میلی لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، ۲۰ میلی لیتر اسیدنیتریک ۷ مولار و ۱ میلی لیتر محلول مولیبدات سدیم ۲ درصد اضافه شد و از سنگ جوش برای یکنواخت جوشیدن استفاده شد، سپس نمونه سرد شده و به آن از بالای مبرد به آرامی ۲۰ میلی لیتر مخلوط اسیدنیتریک غلیظ و اسیدپرکلریک غلیظ به نسبت ۱:۱ به نمونه اضافه شد، سپس مخلوط حرارت داده شد تا بخارات سفید رنگ اسید به طور کامل محو شد، مخلوط سرد شده و درحالی که بالن چرخانده می شد ۱۰ میلی لیتر آب مقطر از بالای مبرد به آرامی به آن اضافه شد. با حرارت دادن حدود



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه های نمونه برداری آب و رسوبات سطحی تالاب هورالعظیم

برای ارزیابی آلودگی عناصر سنگین نیکل، وانادیوم و کادمیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد که در این معادله  $C_n$  غلظت هر عنصر در رسوب و  $C_o$  متوسط غلظت هر عنصر در شیل بود (Hakanson, ۱۹۸۰):

$$CF = C_o \div C_n$$

مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از معادله زیر به دست آمد (جدول ۲):

$$Cdeg = \sum Cf$$

در این مطالعه برای ارزیابی خطر اکولوژیک (Ecological Risk) و شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی (RI) رسوبات تالاب از رابطه های زیر استفاده شد (Hakanson, ۱۹۸۰):

$$Er = TR \times CF$$

$$RI = \sum Er$$

در این رابطه CF: فاکتور آلودگی، Er: ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می دهد. Hakanson (۱۹۸۰) مقدار TR را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می باشد برای تحلیل مقادیر به دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف کرده است (جدول ۳).

جدول ۴: درجه بندی آلودگی فلزات سنگین براساس فاکتور

غنی شدگی (Chabukdhara و Nema, ۲۰۱۲)

دامنه تغییرات	شدت آلودگی
$EF < 2$	آلودگی کم
$2 \leq EF < 5$	آلودگی متوسط
$5 \leq EF < 20$	آلودگی زیاد
$20 \leq EF < 40$	آلودگی بسیار زیاد
$EF \geq 40$	آلودگی به شدت زیاد

جدول ۲: درجه بندی فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات

(Hakanson, ۱۹۸۰)

درجه آلودگی	فاکتور آلودگی	رده آلودگی
$Cdeg < 7$	$CF < 1$	آلودگی کم
$7 \leq Cdeg < 14$	$1 \leq CF < 3$	آلودگی متوسط
$14 \leq Cdeg < 28$	$3 \leq CF < 6$	آلودگی زیاد
$Cdeg \geq 28$	$CF \geq 6$	شدیدا آلوده

جدول ۳: کلاس های پتانسیل خطر زیستی و ریسک اکولوژیک

آلودگی فلزات سنگین (Hakanson, ۱۹۸۰)

RI مقدار	میزان ریسک اکولوژیکی	Er مقدار	کلاس خطرزیستی
$Er < 150$	خطر اکولوژیکی کم	$Er < 40$	کلاس خطرزیستی کم
$150 \leq Er < 300$	خطر اکولوژیکی متوسط	$40 \leq Er < 80$	خطر متوسط
$300 \leq Er < 600$	خطر اکولوژیکی شدید	$80 \leq Er < 160$	خطر بالا
$Er \geq 600$	خطر اکولوژیکی خیلی شدید	$160 \leq Er < 320$	خطر شدید
-	-	$Er \geq 320$	خطر خیلی شدید

## نتیجه

میانگین میزان فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در ایستگاه های مورد مطالعه اختلاف معنی داری داشت ( $P < 0.05$ )، اما در مورد میزان کادمیوم در ایستگاه دوم و سوم اختلاف معنی داری مشاهده نشد ( $P < 0.05$ ). بالاترین میزان فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در آب تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۴۹۶، ۰/۳۵۰ و ۰/۷۹۶ میلی گرم در لیتر در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین ترین مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه در تالاب در ایستگاه اول بود (جدول ۵).

جدول ۵: غلظت فلزات سنگین (میلی گرم در لیتر) در آب تالاب

هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ایستگاه اول	$0.267 \pm 0.15^a$	$0.910 \pm 0.60^a$	$0.222 \pm 0.20^a$
ایستگاه دوم	$0.496 \pm 0.56^b$	$4.350 \pm 0.60^b$	$0.796 \pm 0.72^b$
ایستگاه سوم	$0.403 \pm 0.23^b$	$1.706 \pm 0.436^c$	$0.493 \pm 0.51^c$
حداقل	۰/۲۵۲	۰/۸۷۰	۰/۲۱۱
حداکثر	۰/۵۶۱	۴/۸۱	۰/۸۸۶

a, b و c: حروف غیرهمنام در هر ستون فلزات سنگین اختلاف معنی دار را نشان می دهد ( $P < 0.05$ ).

میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در ایستگاه های مورد مطالعه اختلاف معنی داری داشت ( $P < 0.05$ ). بالاترین میزان فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۷۹۶، ۰/۳۵۰ و ۰/۷۹۶ میلی گرم در کیلوگرم در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین ترین مقادیر فلزات سنگین در رسوبات تالاب در ایستگاه اول بود (جدول ۶).

بالاترین مقدار شاخص فاکتور آلودگی مربوط به فلز نیکل ۴/۰۷۲ و پایین ترین میزان این شاخص مربوط به فلز وانادیوم ۰/۲۳۴ بود. در مورد فلزات کادمیوم و وانادیوم بالاترین مقادیر شاخص فاکتور آلودگی در ایستگاه دوم به ترتیب ۰/۵۶۱ و ۰/۶۱۸ به دست آمد. همچنین بالاترین میزان این شاخص برای فلز نیکل در ایستگاه دوم مشاهده شد (جدول ۷).

شاخص بار آلودگی (PLI) جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده و می تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل ضرب شاخص های آلودگی فلزات به صورت فرمول زیر قابل محاسبه است (Hakanson, ۱۹۸۰). در این فرمول CF فاکتور آلودگی بوده که از معادله فاکتور آلودگی برای هر فلز به دست می آید:

$$PLI = \sqrt{CFCd \times CFNi \times CFV}$$

مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیرآلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می کند. به طور معمول مقادیر کوچک تر از ۱ نشان دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ تر از ۱ نشان دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (Harikumar و همکاران، ۲۰۰۹).

برای محاسبه فاکتور غنی شدگی فلزات، فلز نرمالیز کننده (Enrichment factor) و مقدار زمینه فلزات باید تعیین شود. در بسیاری از مطالعات، از فلزات آهن و آلومینیوم که کمترین سطح آلودگی انسانی را دارند به عنوان نرمالیزه کننده استفاده شده است. در این مطالعه از عنصر آهن برای جداسازی مولفه انسانی از طبیعی استفاده شد. فاکتور غنی شدگی برای هر فلز از نسبت بین عنصر نرمالیزه کننده به مقدار زمینه عناصر، طبق رابطه زیر محاسبه می شود (جدول ۴) (Chabukdhara و Nema, ۲۰۱۲):

$$EF = (\text{Metal} / \text{Fe})_{\text{Sample}} \div (\text{Metal} / \text{Fe})_{\text{Background}}$$

تجزیه و تحلیل آماری داده ها با استفاده از SPSS۲۴ انجام پذیرفت. جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار با استفاده از آزمون t در سطح معنی دار ۰/۰۵ درصد انجام گردید. نرمال بودن داده ها به کمک آزمون کولموگراف - اسمیرنوف بررسی شدند. جداول و نمودارها به کمک نرم افزار Excel ۲۰۰۷ رسم شدند.



جدول ۱۰: مقادیر فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه‌ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ایستگاه اول	۲/۴۶	۴/۵۸	۰/۵۸
ایستگاه دوم	۳/۲۰	۹/۵۷	۱/۹۷
ایستگاه سوم	۲/۳۹	۵/۸۴	۱/۰۱

مقادیر ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به‌دست آمد. در ایستگاه اول شاخص ارزیابی خطر اکولوژیک برای این فلزات پایین‌ترین مقدار بود. شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی برای فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در رسوبات تالاب به‌ترتیب ۳۷/۳۲ و ۱۹/۷۶ به‌دست آمد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱: مقادیر ارزیابی خطر زیستی (Er) و پتانسیل ریسک اکولوژیکی (RI) فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

شاخص‌ها	ایستگاه‌ها	کادمیوم	نیکل
پتانسیل خطر زیستی	ایستگاه اول	۸/۲۸	۴/۹۸
	ایستگاه دوم	۱۶/۸۳	۸/۱۴
	ایستگاه سوم	۱۲/۲۱	۶/۶۳
پتانسیل ریسک اکولوژیکی	-	۳۷/۳۲	۱۹/۷۶

## بحث

میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب تالاب هورالعظیم در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به‌دست آمد و پایین‌ترین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در ایستگاه اول مشاهده شد. هورالعظیم تنها باقی‌مانده تالاب‌های بسیار بزرگ بین‌النهرین است که یک سوم آن در ایران و دو سوم در کشور عراق واقع می‌باشد و عمده منابع آبی تالاب از طریق رودخانه‌های کرخه در ایران و دجله در عراق تامین می‌شود (Kameli و Janadeleh, ۲۰۱۷). کمبود آب ناشی از احداث سد در مسیر رودخانه‌های منتهی به این تالاب و دفع پساب‌های شهری و صنعتی سبب افزایش غلظت فلزات سنگین در آب تالاب شده‌اند (عادل‌زاده و طالبی، ۱۳۹۵). به‌کارگیری مواد منجره مختلف و انفجارات مهیب و آتش‌سوزی‌های مکرر و استفاده از مواد شیمیایی جهت انهدام نیروهای طرف‌مقابل در جنگ تحمیلی عراق علیه ایران در سال‌های دور صدمات جدی به تالاب هورالعظیم وارد کرده است. عامل اصلی آلودگی تالاب هورالعظیم، پساب‌های ناشی از فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه تالاب بوده و هم‌چنین در درجه

جدول ۶: غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم در کیلوگرم) در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه‌ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ایستگاه اول	۰/۰۳۶±۰/۰۰۱ <sup>a</sup>	۱۲۴/۶۵±۴/۳۱ <sup>a</sup>	۳۰/۵۳±۱/۱۳ <sup>a</sup>
ایستگاه دوم	۰/۰۷۳±۰/۰۰۵ <sup>b</sup>	۲۰۳/۶۴±۲/۵۶ <sup>b</sup>	۸۰/۳۵±۲/۳۳ <sup>b</sup>
ایستگاه سوم	۰/۰۵۳±۰/۰۰۵ <sup>c</sup>	۱۶۵/۷۸±۳/۸۲ <sup>c</sup>	۵۵/۱۹±۲/۰۹ <sup>c</sup>
حداقل	۰/۰۳۹	۱۲۰	۲۸/۳۹
حداکثر	۰/۰۸۹	۲۰۵/۴۲	۸۲/۹۶

a, b و c: حروف غیرهمنام در هر ستون فلزات سنگین اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد (P<۰/۰۵).

جدول ۷: مقادیر فاکتور آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه‌ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ایستگاه اول	۰/۲۷۶	۲/۴۹۳	۰/۲۳۴
ایستگاه دوم	۰/۵۶۱	۴/۰۷۲	۰/۶۱۸
ایستگاه سوم	۰/۴۰۷	۳/۳۱۵	۰/۴۲۴

نتایج حاصل از محاسبه شاخص درجه آلودگی نشان داد که مقدار این شاخص در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به‌دست آمد و پایین‌ترین میزان این شاخص در ایستگاه اول مشاهده شد (جدول ۸).

جدول ۸: درجه آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	
درجه آلودگی	۳/۰۰۳	۵/۲۵۱	۴/۱۴۶

در این پژوهش بالاترین مقدار شاخص بار آلودگی در رسوبات تالاب در ایستگاه دوم ۱/۱۲۱ به‌دست آمد که بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم بود. پایین‌ترین میزان این شاخص نیز در ایستگاه اول مشاهده شد (جدول ۹).

جدول ۹: شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	
شاخص بار آلودگی	۰/۵۴۴	۱/۱۲۱	۰/۸۶۹

بالاترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز نیکل ۹/۵۷ و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز وانادیوم ۰/۵۸ بود. در مورد فلزات کادمیوم و وانادیوم بالاترین مقادیر شاخص فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه دوم به‌ترتیب ۳/۲۰ و ۱/۹۷ به‌دست آمد. هم‌چنین بالاترین میزان این شاخص برای فلز نیکل در ایستگاه دوم مشاهده شد (جدول ۱۰).



سیالات حفاری و فعالیت‌های استخراج نفت می‌باشند (کرباسی و ولوی، ۱۳۸۹).

با توجه به درجه‌بندی آلودگی رسوبات، فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و وانادیوم در هر ۳ ایستگاه مورد مطالعه در رده آلودگی کم قرار داشتند، اما در مورد فلز نیکل در ایستگاه دوم آلودگی زیاد و در ایستگاه‌های اول و سوم آلودگی متوسط مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان بیان کرد که نیکل به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کادمیوم و وانادیوم می‌باشد، اما به‌رحال کادمیوم و وانادیوم نیز آلودگی کم دارند و در صورت عدم اجرای اقدام پیش‌گیرانه جهت ورود این آلاینده‌ها به محیط تالاب، در آینده آلودگی آب، رسوبات و آبزیان را به‌دنبال خواهد داشت. براساس نتایج به‌دست آمده درجه آلودگی در ۳ ایستگاه مورد مطالعه در مورد فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رده آلودگی کم قرار دارند. اگرچه سنجش غلظت فلزات سنگین در رسوبات، به‌دلیل نامشخص بودن کسر زیستی غلظت‌ها، لزوماً تهدیدی برای تالاب محسوب نمی‌شود، اما این واقعیت وجود دارد که سرنوشت نهایی فلزات سنگین در طبیعت ممکن است قابل پیش‌بینی نباشد (علی‌بیگی و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به نتایج درجه آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه دوم می‌توان بیان نمود که به دلیل فعالیت‌های گسترش و توسعه میادین نفتی در این منطقه مقادیر فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم افزایش یافته است. با توجه به این که نفت خام دارای مقادیر مختلف عناصر سنگین می‌باشد، فعالیت‌های حاصل از گسترش و توسعه میادین نفت و گاز سبب افزایش عناصر در اکوسیستم‌های پیرامون می‌شود (Owamah, ۲۰۱۳؛ Sari و همکاران، ۲۰۱۸).

در مورد شاخص بار آلودگی ایستگاه‌های اول و سوم کم‌تر از ۱ به‌دست آمد که نشان‌دهنده عدم آلودگی رسوبات نسبت به فلزات سنگین بود، اما در ایستگاه دوم شاخص بار آلودگی ۱/۱۲۱ به‌دست آمده که نشان‌دهنده آلودگی فلزات سنگین بوده است. احتمال می‌رود بالا بودن بار آلودگی در ایستگاه دوم به‌علت تاثیر ورود حجم عظیمی از رواناب‌های شهری روستایی، پساب‌ها و پسماندهای فعالیت‌های نفتی و انسانی باشد (Jiang و همکاران، ۲۰۱۲؛ Kayalvizhi و همکاران، ۲۰۱۵) که بالا بودن درجه آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه دوم مقادیر بالای شاخص بار آلودگی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در این ایستگاه را تایید می‌کند. البته بدیهی است که با توجه به بالا بودن مقادیر فلزات سنگین در ایستگاه دوم تالاب هورالعظیم این شاخص نیز بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم گزارش گردد.

فاکتور غنی‌شدگی روش مناسبی جهت تفکیک منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی فلزات سنگین در رسوبات است (Staniszewski, ۲۰۱۴). بالاترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز نیکل ۹/۵۷

بعدی اهمیت می‌توان پس‌اب‌های انسانی را به این منابع آلاینده اضافه نمود. هم‌چنین وجود چاه‌های نفت و میادین نفت و گاز، وجود شبکه‌های آبیاری و زه‌کشی بالادست، تخریب زیستگاه‌های موجود، آتش‌سوزی‌های خودبه‌خودی نیز از عوامل دیگر افزایش آلاینده‌ها در این تالاب می‌باشد (چمبری و همکاران، ۱۳۸۵؛ کاظمی نژاد، ۱۳۸۹). ایستگاه دوم نمونه‌برداری در این پژوهش در مجاورت میدان نفتی آزادگان می‌باشد که با وجود فعالیت‌های استخراج و بهره‌برداری نفتی می‌تواند سبب آلودگی فلزات سنگین در آب شود. یکی دیگر از منابع واردکننده فلزات سنگین به سیالات حفاری نفت خام می‌باشد. نفت خام به‌طور طبیعی دارای درصد متغیری از فلزات است (Yang و همکاران، ۲۰۱۵). این فلزات در طی حفاری از درون سازندهای حاوی نفت خام و یا در اثر ورود نفت به‌داخل چاه به سیال حفاری وارد می‌شوند. فلزات موجود در نفت خام شامل آلومینیوم، بروم، کلسیم، کروم، فسفر، پلاتین، سیلیس، نقره، سدیم، استرانسیم، قلع، اورانیوم، نیکل و وانادیوم می‌باشند (Owamah, ۲۰۱۳؛ Sari و همکاران، ۲۰۱۸). نیکل و وانادیوم در بین فلزات سنگین بیش‌ترین غلظت در را نفت خام دارند (انبیا و همکاران، ۱۳۸۴؛ تدینی، ۱۳۸۹).

میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به‌دست آمد و پایین‌ترین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در ایستگاه اول مشاهده شد. جاده‌های موجود در تالاب جاده طبرشطلعی و جاده شرکت نفت از جمله راه‌های دسترسی در مجاورت تالاب می‌باشند. هم‌چنین راه آسفالت‌ه سوسنگرد - بستان - چزابه، راه آسفالت‌ه هویزه رفیع و راه آسفالت‌ه اهواز - جاده سیدخلف به طلائیه راه‌های دسترسی به تالاب هستند که این تردها می‌توانند سبب آلودگی تالاب و تجمع در رسوبات شوند (عادل‌زاده و طالبی، ۱۳۹۵). فلزات سنگین در اتمسفر و جو عمدتاً از گرد و غبارها، آتش‌سوزی پوشش گیاهی، فرآیندهای احتراق موتورهای منشا می‌شوند و می‌توانند وارد اکوسیستم‌های آبی شده و در رسوبات تجمع کنند (Pote و همکاران، ۲۰۰۸؛ Defew و همکاران، ۲۰۰۵).

غلظت فلزات کادمیوم، نیکل و کادمیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به‌ترتیب ۵/۹۷، ۴۴ و ۶۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است (Janadeleh و همکاران، ۲۰۱۶؛ Kameli و Janadeleh, ۲۰۱۷) که غلظت نیکل و وانادیوم با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد، اما میزان کادمیوم از نتایج تحقیق حاضر بالاتر بوده است. به‌دلیل این که نیکل و وانادیوم می‌توانند به‌عنوان شاخص آلودگی نفتی در نظر گرفته شوند (Nwani و همکاران، ۲۰۱۰؛ Coulibaly و همکاران، ۲۰۱۲)، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علت بالا بودن فلزات نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب ریزش مواد نفتی نظیر روغن فایق‌های موتوری، گل



(Bai و همکاران، ۲۰۱۴؛ Borowiak و همکاران، ۲۰۱۶؛ Kanclerz و همکاران، ۲۰۱۶).

میزان فلزات سنگین کادمیوم و نیکل در آب تالاب هورالعظیم بالاتر از حد مجاز استانداردهای ملی و جهانی به دست آمد (جدول ۱۲). آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا و انادایوم را به عنوان عامل سرطان زا طبقه بندی نکرده اند و تحقیقات انجام شده بر روی انسان ها، سرطان زایی و انادایوم را اثبات نکرده است (عسکری ساری و ولایت زاده، ۱۳۹۳)، به همین دلیل در مورد فلز و انادایوم استانداردهای مجاز کم تر مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۱۲: مقایسه غلظت فلزات سنگین در آب (میلی گرم در لیتر) تالاب هورالعظیم با حد مجاز ملی و استانداردهای بین المللی

استانداردهای جهانی	کادمیوم	نیکل	وانادایوم
استاندارد ملی ایران	۰/۰۰۳	۰/۰۷	-
استاندارد محیط زیست ایران	۰/۰۱	۰/۲	-
حفاظت محیط زیست آمریکا	۰/۰۰۵	-	-
سازمان بهداشت جهانی	۰/۰۰۳	۰/۰۷	-
استاندارد مصارف کشاورزی	۰/۰۰۵	۰/۲	-
استاندارد آب آشامیدنی	۰/۰۰۵	۰/۱	-
مقادیر تالاب هورالعظیم	۰/۲۵۲-۰/۵۶۱	۰/۸۷۰-۴/۸۱	۰/۲۱۱-۰/۸۸۶

میزان کادمیوم و وانادایوم در رسوبات تالاب هورالعظیم پایین تر از حد مجاز استانداردهای ملی و جهانی بود، اما میزان نیکل در رسوبات بالاتر از حد آستانه استانداردهای ملی و جهانی به دست آمد. غلظت کادمیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم تجمع بسیار پایینی داشت. به طوری که میزان فلز کادمیوم از میانگین این عنصر در پوسته قاره ای و شیل بسیار کم تر بود (جدول ۱۳)، بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که این فلز منشأ طبیعی از رسوبات بستر تالاب و خاک های اطراف رودخانه دارد. این فلز یکی از عناصر موجود در کودهای فسفاته کشاورزی است. هم چنین در پساب های صنعتی به فراوانی وجود دارد (Warren، ۱۹۹۸). یکی از دلایل کم بودن غلظت کادمیوم در رسوبات، حلالیت بالای آن در آب می باشد (Birch، ۱۹۹۶). غلظت فلز نیکل در رسوبات تالاب هورالعظیم بالاتر از میانگین شیل و پوسته زمین به دست آمد. منابع نیکل می تواند ناشی از کودهای کشاورزی و صنایع رنگرزی باشد، بنابراین این منابع می توانند منابع انسان زاد احتمالی این عنصر باشند (Tsakovski و همکاران، ۲۰۱۲). رسوباتی که در آب های هم جوار با مناطق صنعتی و شهری می باشند، توانایی بالقوه جذب و ته نشین کردن آلودگی های فلزی که از محیط های خشکی ناشی می شوند، را دارند (بهبودی و طهماسبی نژاد، ۱۳۹۵). تعامل بین فلزات سنگین و رسوبات رودخانه ها و تالاب ها بسیار مهم است، زیرا رسوبات بستر اکوسیستم های آبی مخزنی برای فلزات سنگین هستند و می توانند یک

و پایین ترین میزان این شاخص مربوط به فلز وانادایوم ۰/۵۸ بود. فاکتور غنی شدگی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادایوم به ترتیب متوسط، زیاد و کم به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده غنی شدگی فلز نیکل را می توان به منشأ انسان زاد نسبت داد، اما فلزات کادمیوم و وانادایوم دارای منشأ و غنی شدگی طبیعی هستند. منشأ اصلی ورود فلز نیکل از راه فعالیت های انسان زاد، عملیات های مرتبط با استخراج نفت خام می باشد (Adewole و همکاران، ۲۰۱۰؛ Yang و همکاران، ۲۰۱۵). هم چنین آتش سوزی های موجود در تالاب ها و مراعات نیز یکی از عوامل اصلی ورود این فلز به اتمسفر و در نهایت اکوسیستم های آبی و خاک می باشد (Krika و Krika، ۲۰۱۸؛ Al-Hejje و همکاران، ۲۰۱۸). الگوی مقادیر غنی شدگی متفاوت فلزات در اکوسیستم های آبی مختلف نشان دهنده وجود منابع آلاینده متفاوت است، به عبارت دیگر منشأ و پراکنش فلزات سنگین در محیط های آبی توسط چندین عامل کنترل می شود (Ghanbarpour و همکاران، ۲۰۱۴). منشأ ورود فلزات سنگین در اکوسیستم های آبی و محیط زیست شامل فرآیندهای طبیعی زمین شناختی و فعالیت های انسان زاد می باشد (Guo و همکاران، ۲۰۱۵). منابع ورود فلزات سنگین در مناطق مختلف جهان بر اساس بافت زمین شناسی منطقه و منابع آلاینده موجود متفاوت است (Turner، ۲۰۱۳).

با توجه به نتایج به دست آمده، ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیک در کلاس و رده خطر اکولوژیک و زیستی کم قرار گرفتند. بنابراین بر اساس محاسبات صورت گرفته می توان تالاب هورالعظیم را در رده ریسک اکولوژیک کم طبقه بندی کرد که با نتایج گزارش شده در رودخانه بشار یاسوج (مرتضوی و حاتمی منش، ۱۳۹۶) هم خوانی دارد.

وانادایوم از منابع طبیعی و هم چنین سوخت های فسیلی وارد محیط می شود و در آب، خاک و هوا برای مدت طولانی می ماند (Benzer و همکاران، ۲۰۱۳). وانادایوم در محیط های آبی، پایدار بوده و در طولانی مدت اثر زیان آوری روی موجودات آبی بر جای می گذارد (Loska و Wiechula، ۲۰۰۳). نیکل جزء فلزات سنگینی است که می تواند تاثیرات جبران ناپذیری بر موجودات زنده داشته باشد (Rojas de Astudillo و همکاران، ۲۰۰۵). ترکیبات فلز نیکل معمولاً در خاک و رسوبات تجمع می کنند. منشأ اصلی انسان زاد آن از سوخت های فسیلی و مشتقات نفتی می باشد (Al-Hejje و همکاران، ۲۰۱۸). کادمیوم نیز جزء فلزات سمی می باشد که اثرات سمیت کادمیوم در بدن انسان نیز باعث شده است که در سال های اخیر محققین در کشورهای مختلف، مطالعات بسیاری را در مورد این عنصر انجام دهند

۳. باقری، ح.؛، شارمند، ت.؛ خیرآبادی، و.؛ درویش بسطامی، ک. و باقری، ز.، ۱۳۹۰. سنجش و ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه گرگانرود. فصلنامه اقیانوس‌شناسی. جلد ۲، شماره ۵، صفحات ۳۵ الی ۳۹.

۴. بهبودی، م. و طهماسبی‌نژاد، ه.، ۱۳۹۵. ارزیابی فلزات سنگین آب رودخانه کرخه در منطقه کرخه نور، شهرستان هویزه. اولین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی ایران، راهکارها و چالش‌ها. اردبیل، شرکت کبان طرح‌دانش. ۱۲ صفحه. **تدینی، م.، ۱۳۸۹.** مدیریت پسماند عملیات حفاری در میداین نفت و گاز. ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۷۲، صفحات ۶۵ الی ۶۹.

۵. **جاسمی‌زاده، ز.؛ سواری، ا. و ابراهیمی‌قوام‌آبادی، ل.، ۱۳۹۳.** مقایسه آلاینده‌های فلزی رسوبات رودخانه بهمنشیر متأثر از پساب‌های وارده با استانداردهای جهانی. اولین همایش ملی پدافند غیرعامل در علوم دریایی. هرمزگان. صفحات ۶۰ الی ۶۷.

۶. **خنفریان، س. و سواری، ا.، ۱۳۹۴.** بررسی تاثیر پساب صنایع نیشکر در افزایش مقدار آلودگی فلزات سنگین (روی، کادمیوم، سرب و کروم) در آب رسوب و گیاه (نی) تالاب شادگان. کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط‌زیست. تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران. ۱۱ صفحه.

۷. **چمبری، ش.؛ نبوی، س.م.ب. و جعفرزاده‌حقیقی، ن.، ۱۳۸۵.** بررسی عوامل آلاینده آلی تالاب هورالعظیم با استفاده از فاکتورهای کیفی آب و شاخص‌های زیستی. سومین همایش ملی بحران‌های زیست محیطی ایران و راهکارهای بهبود آن‌ها. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات مرکز اهواز. ۱۳ صفحه.

۸. **رضوانی، م.؛ قربانیان، ا.ع.، نوجوان، م. و صهبا، م.، ۱۳۹۲.** ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین (کادمیوم، کبالت، سرب، روی و منگنز) در آبخوان اشتهارد. فصلنامه علوم و مهندسی محیط‌زیست. جلد ۱، شماره ۱، صفحات ۱۳ الی ۲۱.

۹. **طباطبایی، ا.؛ گندمکار، م.؛ اسکندری، ص. و طباطبایی، ا.، ۱۳۹۶.** بررسی پارامترهای فیزیکی‌وشیمیایی و فلزات سنگین خاک تالاب بندعلیخان ورامین و تاثیرات زیست محیطی. فصلنامه مطالعات علوم محیط زیست. جلد ۲، شماره ۳، صفحات ۴۷۶ الی ۴۸۴.

۱۰. **عادل‌زاده، م.ر. و طالبی، ر.، ۱۳۹۵.** ارائه روش‌های مدیریت پسماند حفاری و بررسی تاثیر عملیات حفاری در میدان آزادگان بر کیفیت خاک منطقه هورالعظیم. ماهنامه علمی - ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۱۳۹، صفحات ۹۵ الی ۱۰۲.

۱۱. **عسکری‌ساری، ا. و ولایت‌زاده، م.، ۱۳۹۳.** فلزات سنگین در آبریان. انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. چاپ اول، اهواز. ۳۸۰ صفحه.

۱۲. **علی‌بیگی، ح.؛ میرزایی، ر. و زمانی‌احمد‌محمودی، ر.، ۱۳۹۶.** بررسی غلظت فلزات سنگین در رسوبات سطحی تالاب چغاخور.

منبع بالقوه آلاینده در هنگام تغییر شرایط محیطی باشند (Demirak و همکاران، ۲۰۰۶؛ Farkas و همکاران، ۲۰۰۷).

**جدول ۱۳: مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات (میلی‌گرم در کیلوگرم) تالاب هورالعظیم با حد مجاز ملی و استانداردهای بین‌المللی**

استانداردها و مقادیر جهانی	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
رسوبات آب شیرین	۰/۹۹	۲۲/۷	-
رسوبات دریایی (میانگین جهانی)	۵/۱	۵۲	-
پوسته زمین	۰/۱	۸۰	۱۳۰
شیل	۰/۱۳	۶۸	۱۳۰
استاندارد محیط زیست ایران	۳/۹	۵۰	-
استاندارد کشور کانادا	۰/۷	۱۰۰	۱۳۰
استاندارد کشور آلمان	۵	۲۰۰	-
استاندارد محیط زیست فنلاند	۱	۵۰	۱۵۰
مقادیر تالاب هورالعظیم	۰/۰۳۹-۰/۰۸۹	۱۲۰-۲۰۵/۴۲	۲۸/۳۹-۸۲/۹۶

غلظت کادمیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم در مقایسه با آستانه مجاز استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا پایین‌تر به‌دست آمد، اما میزان نیکل در رسوبات تالاب در مقایسه با مقادیر مجاز استاندارد کیفیت رسوب آمریکا و کانادا بالاتر مشاهده شد (جدول ۱۴).

**جدول ۱۴: مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات (میلی‌گرم در کیلوگرم) تالاب هورالعظیم با مقادیر استانداردهای کیفیت رسوبات آمریکا و کانادا**

استانداردهای کیفیت رسوبات	کادمیوم	نیکل
ERL	۱/۲	۲۰/۹
ERM	۹/۶	۵۱/۶
LER	۰/۶	۱۶
SER	۹	۵۰
ISQG <sub>s</sub>	۰/۶	۱۶
PEL	۳/۵	۷۵
مقادیر تالاب هورالعظیم	۰/۰۳۹-۰/۰۸۹	۱۲۰-۲۰۵/۴۲

## منابع

- اسدی، ا.؛ فاطمی، س.م.؛ اسکندری، غ. و پایهن، ف.، ۱۳۸۹. مطالعه- ای بر جمعیت ماهیان در تالاب هویزه در ایران. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. جلد ۲، شماره ۶، صفحات ۳ الی ۱۱.
- انبیا، م.؛ عطایی، ا.، سپهریان، ح. و گرشاسبی، و.، ۱۳۸۴. بررسی روش‌های مدیریت پسماند‌های ناشی از حفاری چاه‌های نفت در جهت کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی آن‌ها در مناطق نفتی جنوب (شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب). مجموعه مقالات اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE. دانشگاه صنعتی شریف، تهران. ۸ صفحه.





۲۸. **Birch, G.F., 1996.** Sediment-bound metallic contaminants in Sydney's estuaries and adjacent offshore, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. Vol. 42, pp: 31-44.
۲۹. **Bonanno, G., 2013.** Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 97, pp: 124-130.
۳۰. **Borowiak, K.; Kanclerz, J.; Mleczek, M.; Lisiak, M. and Drzewiecka, K., 2016.** Accumulation of Cd and Pb in water, sediment and two littoral plants (*Phragmites australis*, *Typha angustifolia*) of freshwater ecosystem. *Archives of Environmental Protection*. Vol. 42, No. 3, pp: 47-57.
۳۱. **Chabukdhara, M. and Nema, A.K., 2012.** Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediment: A chemo metric and geochemical approach. *Chemosphere*. Vol. 87, pp: 945-953.
۳۲. **Coulibaly, S.; Celestin Atse, B.; Mathias Koffi, K.; Sylla, S.; Justin Konan, K. and Joel Kouassi, N., 2012.** Seasonal Accumulations of Some Heavy Metal in Water, Sediment and Tissues of Black-Chinned *Tilapia Sarotherodon melanotheron* from Bietri Bay in Ebrie Lagoon, Ivory Coast. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. Vol. 88, pp: 571-576.
۳۳. **Defew, L.H.; Mair, J.M. and Guzman, H.M., 2005.** An assessment of metal contamination in mangrove sediments and leaves from Punta Mala Bay, Pacific Panama. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 50, pp: 547-552.
۳۴. **Demirak, A.; Yilmaz, F.; Tuna, A.L. and Ozdemir, N., 2006.** Heavy metals in water, sediment and tissues of *Leuciscus cephalus* in a stream in southwestern Turkey. *Chemosphere*. Vol. 63, No. 9, pp: 1451-1458.
۳۵. **Farkas, A.; Erratico, C. and Vigano, L., 2007.** Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere*. Vol. 68, No. 4, pp: 761-768.
۳۶. **Ghanbarpour, M.R.; Goorzadi, M. and Vahabzade, G., 2014.** Spatial variability of heavy metals in surficial sediments: Tajan River Watershed, Iran. *Sustainability of Water Quality and Ecology*. Vol. 2, pp: 48-58.
۳۷. **Guo, W.; Huo, S.; Xi, B.; Zhang, J. and Wu, F., 2015.** Heavy metal contamination in sediments from typical lakes in the five geographic regions of China: Distribution, bioavailability, and risk. *Ecological Engineering*. Vol. 81, pp: 243-255.
۳۸. **Hakanson, L., 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment logical approaches. *Water Research*. Vol. 14, pp: 975-1001.
۳۹. **Harikumar, P.S.; Nasir, Y.P. and Mujeebu Rahman, M.P., 2009.** Distribution of heavy metals in the core sediments of a tropical wetland system. *International Journal of Environmental Science Technology*. Vol. 6, No. 2, pp: 225-232.
۴۰. **Janadeleh, H.; Hosseini Alhashemi, A. and Nabavi, S.M.B., 2016.** Investigation on concentration of elements in wetland sediments and aquatic plants. *Global Journal Environment Science Management*. Vol. 2, No. 1, pp: 78-93.
۴۱. **Janadeleh, H. and Kameli, M.A., 2017.** Metals contamination in sediment and their bioaccumulation in plants and three fish species from freshwater ecosystem. *Toxin Reviews*. Vol. 18, No. 31, pp: 1-9.
۴۲. **Jiang, X.; Wang, W.; Wang, S.; Zhang, B. and Hu, J., 2012.** Initial identification of heavy metals contamination in Taihu Lake, a eutrophic lake in China. *Journal Environment Science*. Vol. 24, pp: 1539-1548.
۴۳. **Kanclerz, J.; Borowiak, K. and Mleczek, M., 2016.** Cadmium and Lead Accumulation in Water and Macrophytes
- مجله محیط‌شناسی. جلد ۴۳، شماره ۱۴۹ صفحات ۱۴۹ الی ۱۶۱.
۱۴. **فعال، ز.**، ۱۳۹۱. بررسی کیفی آب رودخانه بهمشیر با استفاده از جلبک‌ها به‌عنوان شاخص‌های زیستی. فصلنامه علمی محیط‌زیست. شماره ۵۲، صفحات ۱ الی ۱۰.
۱۵. **کاظمی‌نژاد، پ.**، ۱۳۸۹. آلودگی تالاب‌ها و چالش‌های ناشی از آن و بررسی عوامل آلاینده تالاب هورالعظیم. دومین همایش ملی تالاب‌های ایران. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. ۱۱ صفحه.
۱۶. **کرباسی، ع. و ولوی، ش.**، ۱۳۸۹. تعیین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بامدژ با استفاده از شاخص ژئوشیمیایی مولر. فصلنامه محیط‌شناسی. جلد ۳۶، شماره ۵۴، صفحات ۱ الی ۱۰.
۱۷. **مرتضوی، ث. و صابری‌نصب، ف.**، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی غلظت و ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان. فصلنامه اکوهیدرولوژی. جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۵۳۳ الی ۵۴۵.
۱۸. **مرتضوی، ث. و حاتمی‌منش، م.**، ۱۳۹۶. سنجش بار آلودگی فلزات سنگین در رسوبات و گیاه آبی علف چشمه (*Nasturtium microphyllum*) رودخانه بشار یاسوج. مجله مهندسی بهداشت محیط. جلد ۵، شماره ۲، صفحات ۱۵۷ الی ۱۷۲.
۱۹. **مرتضوی، ث؛ رحمانی، ج. و چمنی، ع.**، ۱۳۹۶. پایش زیستی فلزات سنگین با استفاده از گیاه نی (*Phragmites australis*) در تالاب هشیلان کرمانشاه. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست. جلد ۱۹، شماره ۴، صفحات ۶۷ الی ۷۹.
۲۰. **ولایت‌زاده، م. و نجفی، م.**، ۱۳۹۲. اکولوژی رودخانه‌ها و تالاب‌های استان خوزستان. انتشارات ترقی، چاپ اول. ۱۸۸ صفحه.
۲۱. **ولایت‌زاده، م.**، ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین آهن، روی و مس در عضله برخی ماهیان بومی تالاب هورالعظیم، استان خوزستان. فصلنامه پژوهش‌های علوم و فنون دریایی. جلد ۱۱، شماره ۳، صفحات ۸۸ الی ۱۰۰.
۲۲. **Adewole, G.; Adewole, T. and Fuoma, E., 2010.** Environmental aspect of oil and water-based drilling muds and cutting from Dibi and Ewan off-shore wells in the Niger Delta, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and technology*. Vol. 4, No. 5, pp: 284-292.
۲۳. **Al-Hejuje, M.M.; Al-Saad, H.T. and Hussain, N.A., 2018.** Application of geo-accumulation index (I-geo) for assessment the sediments contamination with heavy metals at Shatt Al-Arab River-Iraq. *Journal of Scientific and Engineering Research*. Vol. 5, No. 2, pp: 342-351.
۲۴. **ASTM. 1991.** Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. Philadelphia. pp: 1390-1391.
۲۵. **ASTM. 2000.** Annual book of ASTM Standards ASTM. Vol. 11, No. 1, pp: 1971-1995.
۲۶. **Bai, J.; Xiao, R.; Zhao, Q.; Lu, Q.; Wang, J. and Reddy, K.R., 2014.** Seasonal Dynamics of Trace Elements in Tidal Salt Marsh Soils as Affected by the Flow-Sediment Regulation Regime. *PLOS ONE*, Vol. 9, No. 9, pp: 1-11.
۲۷. **Benzer, S.; Arslan, H.; Uzel, N.; Gul, A. and Yilmaz, M., 2013.** Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. Vol. 12, No. 1, pp: 45-55.

- facilities. *Journal of Soils and Sediments*. Vol. 13, No. 6, pp: 1052-1056.
۶۰. **Warren, L.A., 1998.** Modeling cadmium accumulation by benthic invertebrates in situ: the relative contributions of sediment and overlying water reservoirs to organism cadmium concentrations. *Limnology and Oceanography*. Vol. 43, pp: 1442-1454.
۶۱. **Yang, X.L.; Yuan, X.T.; Zhang, A.G.; Ma, Y.Z.; Li, Q.; Zong, H.M.; Wang, L.J. and Li, X.D., 2015.** Spatial distribution and sources of heavy metals and petroleum hydrocarbon in the sand flats of Shuangtaizi Estuary, Bohai Sea of China. *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 95, pp: 503-512.
- in an Artificial Lake. *Annual Set the Environment Protection*. pp: 322-336.
۴۴. **Kayalvizhi, J.; Nirmala, T. and Medona Mary, R., 2015.** Level of heavy metals in soil sediments from wetlands of Theni and dindigul districts. *International Journal of Recent Scientific Research*. Vol. 6, No. 11, pp: 7372-7376.
۴۵. **Krika, A. and Krika, F., 2018.** Assessment of Heavy Metals Pollution in Water and Sediments of Djendjen River, North Eastern Algeria. *Pollution*. Vol. 4, No. 3, pp: 495-502.
۴۶. **Loska, K. and Wiechula, D., 2003.** Application of principal component analysis for the estimation of source heavy metal contamination in surface sediments from Rybnik Reservoir. *Chemosphere Journal*. Vol. 51, pp: 723-733.
۴۷. **Miloskovic, A. and Simic, V., 2015.** Arsenic and Other Trace Elements in Five Edible Fish Species in Relation to Fish Size and Weight and Potential Health Risks for Human Consumption. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 24, No. 1, pp: 199-206.
۴۸. **Nwani, C.D.; Nwachi, D.A.; Okogwu, O.I.; Ude, E.F. and Odoh, G.E., 2010.** Heavy metals in fish species from lotic freshwater ecosystem at Afikpo, Nigeria. *Journal of Environmental Biology*. Vol. 31, No. 5, pp: 595-601.
۴۹. **Owamah, H.I., 2013.** Heavy Metals Determination and Assessment in a Petroleum Impacted River in the Niger Delta Region of Nigeria. *Journal Phylogenetics Evol Biology*. Vol. 4, pp: 135-140.
۵۰. **Pote, J.; Haller, L.; Loizeau, J.; Bravo, A.G.; Sastre, V. and Wildi, W., 2008.** Effects of the sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bio resource technology*. Vol. 99, PP: 7122-7131.
۵۱. **Qin, D.; Jiang, H.; Bai, S.; Tang, S. and Mou, Z., 2015.** Determination of 28 trace elements in three farmed cyprinid fish species from Northeast China. *Food Control*. Vol. 50, pp: 1-8.
۵۲. **Rojas de Astudillo, L.; Chang Yen, I. and Bekele, I., 2005.** Heavy metals in sediments, mussels and oysters from Trinidad and Venezuela. *Revista Biologia Tropical*. Vol. 53, No. 1, pp: 41-53.
۵۳. **ROPMI, 1999.** Manual of oceanographic and pollutant analysis method. Third Edition. Kuwait. pp: 1-100.
۵۴. **Sakan, S.M.; Dordevic, D.S.; Manojlovic, D.D. and Predrag, P.S., 2009.** Assessment of heavy metal pollutants accumulation in the Tisza river sediments. *Journal of Environmental Management*. Vol. 90, pp: 3382-3390.
۵۵. **Sari, G.L.; Trihadiningrum, Y.; Suci, F.C. and Fashanah Hadining, A., 2018.** Identification of Total Petroleum Hydrocarbon and Heavy Metals Levels in Crude Oil Contaminated Soil at Wonocolo Public Mining. *The international Journal by the Thai Society of Higher Education Institutes on Environment*. Vol. 11, No. 2, pp: 109-117.
۵۶. **Staniszewski, R., 2014.** Heavy metals in waters and sediments of rivers affected by brown coal mine waters, *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 23, No. 6, pp: 2217-2222.
۵۷. **Sukumaran, D., 2013.** Phytoremediation of heavy metals from industrial effluent using constructed wetland technology. *Applied Ecology Environment Science*. Vol. 1, pp: 92-97.
۵۸. **Tsakovski, S.; Kudlak, B.; Simeonov, V.; Wolska, L.; Garcia, G. and Namiesnik, J., 2012.** Relationship between heavy metal distribution in sediment samples and their ecotoxicity by the use of the Hasse diagram technique. *Analytica Chimica Acta*. Vol. 719, pp: 16-23.
۵۹. **Turner, A., 2013.** Metal contamination of soils, sediments and dusts in the vicinity of marine leisure boat maintenance

