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
  گروه مهندسی محیطزیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- **خوشناز پاینده*:** گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
- **سیما سبزعلی‌پور:** گروه مهندسی محیطزیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: مهر ١٣٩٧ تاریخ پذیرش: دی ١٣٩٧

چکیده

این تحقیق در سال ١٣٩٧ 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) شماره٣٠٣٠ A و American Society for Testing and Materials شماره D2488 از ٣ ایستگاه تالاب با ٩ 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 به‌ترتیب ٠/٤٩٦، ٤/٣٥٠ و ٠/٧٩٦ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه دوم و در رسوبات تالاب هورالعظیم به‌ترتیب ٠/٠٧٣، ٢٠٣/٦٤ و ٨٠/٣٥ میلی‌گرم در کیلوگرم در ایستگاه دوم به‌دست آمد. میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه دوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به‌دست آمد. فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و وانادیوم در هر ٣ ایستگاه مورد مطالعه در رده آلودگی کم قرار داشتند، اما فلز نیکل در رده آلودگی متوسط تا زیاد بود. درجه آلودگی در ٣ ایستگاه مورد مطالعه درمورد فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رده آلودگی کم قرار دارند. ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات کادمیوم و نیکل 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 به‌دست 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 به‌دست آمد.

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

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: Payandeh426@gmail.com

مقدمه

ورود آلودگی‌های مختلف به محیط زیست و اثرات مخرب آن‌ها توجه محققان بسیاری را به‌خود جلب کرده است. ازجمله 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 منشا 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 انسان ساخت 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 (Miloskovic و Simic، ۲۰۱۵؛ Qin و همکاران، ۲۰۱۵). تالاب ها 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 ازجمله تالاب‌ها در معرض تهدید قرار دارند. اقدام به حفاظت برای این اکوسیستم‌های با ارزش، به‌ویژه تالاب‌هایی که دارای نقش اکولوژیکی، حفاظتی یا اقتصادی بارز می‌باشند، ضرورت دارد. آلودگی تالاب‌ها با انواع آلاینده‌های خطرناک و سمی می‌تواند مشکلات مهمی را درمورد سلامت انسان و بهداشت محیط‌زیست به‌وجود آورد. تالاب‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی جهت مصارف انسانی و سایر موجودات زنده در معرض آلودگی‌های محیط‌زیست 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 درمورد 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 انسان ساخت، روز به روز در حال افزایش می‌باشد و لزوم توجه بیش‌تری را می‌طلبد. ازسوی دیگر بررسی 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 صابری‌نصب، 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 جغرافیای ۴۷ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۴۷ درجه ۱۶ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه ۵۳ دقیقه تا 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، سابله 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 نشان‌داد براساس محاسبه فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات در طی دو فصل تابستان و زمستان درجه آلودگی در سطح پایین قراردارد. 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 صابری نصب، 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 آهک 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 به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

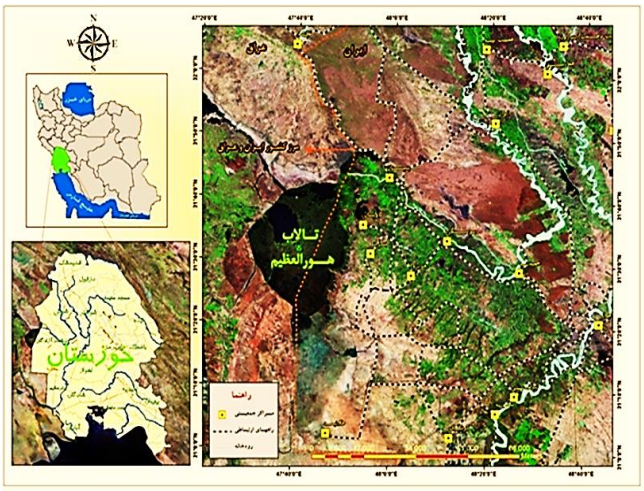
در این پژوهش جهت نمونه‌برداری از آب و رسوبات سطحی منابع آلودگی‌های محیط زیست تالاب با فواصل زیاد درنظر گرفته

شدند. به‌عبارت 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 ١).

جدول ١: موقعیت جغرافیایی نمونه‌برداری آب، رسوبات و گیاهان آبزی در تالاب هورالعظیم

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	بخش تالاب	طول و عرض جغرافیایی
ایستگاه ١	رفیع	شمالی	٣١ درجه، ٣۶ دقیقه ، ٣٠ ثانیه شمال و ۴٧ درجه، ۴٨ دقیقه، ١٨ ثانیه شرق
ایستگاه ٢	طبر	مرکزی	٣١ درجه، ٢٩ دقیقه ، ۶ ثانیه شمال و ۴٧ درجه، ۴۵ دقیقه، ٢٨ ثانیه شرق
ایستگاه ٣	شطعلی	جنوبی	٣١ درجه، ٢٢ دقیقه ، ١٧ ثانیه شمال و ۴٧ درجه، ۴٣ دقیقه، ١٣ ثانیه شرق

نمونه‌برداری از آب در این تحقیق براساس استاندارد متد (Standard Method) شماره A ٣٠٣٠ انجام شد. جهت جمع‌آوری نمونه‌های آب، بطری نمونه‌بردار روتنر به عمق ١٠ سانتی‌متری فرستاده و در هر ایستگاه با ٣ تکرار انجام شد. نمونه‌های آب در بطری‌هایی که از قبل استریل شده بودند ریخته و به آزمایشگاه منتقل شدند. بطری‌ها با محلول آب مقطر و اسیدنیتریک ٢ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) شست‌وشو گردیدند (ASTM، ٢٠٠٠). نمونه‌برداری رسوبات نیز با استفاده از استاندارد American Society for Testing and Materials شماره D2488 با استفاده از گرب (Ekman grab) با سطح مقطع ٢٢۵ سانتی‌متر از ٣٠ سانتی‌متری بستر و در هر ایستگاه با ٣ تکرار انجام شد. نمونه‌های رسوب در بطری‌هایی که از قبل با محلول آب‌مقطر و اسیدنیتریک ١٠ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) استریل شده بودند به آزمایشگاه منتقل گردیدند (ASTM، ١٩٩١). نمونه‌های آب به‌طور مستقیم درون دستگاه اتوسمپلر قرار داده شدند. نمونه‌های رسوبات را به‌مدت ١٢٠ تا ١۵٠ دقیقه در آون با دمای ۶۵ درجه سلسیوس قرار داده تا به وزن ثابت رسیدند و سپس از داخل آون خارج شدند. برای هضم نمونه‌ها از روش مرطوب استفاده شد، به این صورت که ٠/۵ گرم از نمونه در یک بالن ٢۵٠ میلی‌لیتر ریخته شد و به آن ٢۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، ٢٠ میلی‌لیتر اسیدنیتریک ٧ مولار و ١ میلی‌لیتر محلول مولیبدات سدیم ٢ درصد اضافه شد و از سنگ‌جوش برای یکنواخت جوشیدن استفاده شد، سپس نمونه سرد شده و به آن از بالای مبرد به‌آرامی ٢٠ میلی‌لیتر مخلوط اسیدنیتریک غلیظ و اسیدپرکلریک غلیظ به نسبت ١:١ به نمونه اضافه شد، سپس مخلوط حرارت داده شد تا بخارات سفید رنگ اسید به‌طور کامل محو شد، مخلوط سرد شده و درحالی‌که بالن چرخانده می‌شد ١٠ میلی‌لیتر آب مقطر از بالای مبرد به‌آرامی به آن اضافه شد. با حرارت دادن حدود ١٠٠ دقیقه محلول کاملاً شفافی به‌دست آمد، این محلول پس از سرد شدن به‌داخل بالن ژوژه ١٠٠ میلی‌لیتر انتقال داده‌شده‌وبه حجم رسانده شد (ROPME، ١٩٩٩). سنجش عناصر سنگین به‌روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) و ترکیب آن با طیف سنجی جرمی (ICP-MS) انجام شد. جهت تعیین فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم از دستگاه ICP-OES مدل Varian710-ES ساخت کشور آمریکا استفاده گردید. این روش دارای حساسیت، حد تشخیص و مزاحمت‌های طیفی و شیمیایی کم‌تری نسبت به سایر روش‌های نشری است (Sakan و همکاران، ٢٠٠٩).



شکل ١: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری 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، ١٩٨٠):

$$CF = C_o \div C_n$$

مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر مورد بررسی نشان‌دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از معادله زیر به‌دست آمد (جدول ٢) (Hakanson، ١٩٨٠):

$$Cdeg = \Sigma\, Cf$$

در این مطالعه برای ارزیابی خطر اکولوژیک (Ecological Risk) و شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی (RI) رسوبات تالاب از رابطه‌های زیر استفاده شد (Hakanson، ١٩٨٠):

$$Er = TR \times CF$$

$$RI = \sum Er$$

در این رابطه CF: فاکتور آلودگی، Er: ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. Hakanson (١٩٨٠) مقدار TR را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می‌باشد برای تحلیل مقادیر به‌دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف کرده است (جدول ٣).

جدول ۲: درجه‌بندی فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات (Hakanson، ۱۹۸۰)

رده آلودگی	فاکتور آلودگی	درجه آلودگی
آلودگی کم	$CF < ۱$	$Cdeg < ۷$
آلودگی متوسط	$۱ \leq CF < ۳$	$۷ \leq Cdeg < ۱۴$
آلودگی زیاد	$۳ \leq CF < ۶$	$۱۴ \leq Cdeg < ۲۸$
شدیدا آلوده	$CF \geq ۶$	$Cdeg \geq ۲۸$

جدول ۳: کلاس‌های پتانسیل خطر زیستی و ریسک اکولوژیک آلودگی فلزات سنگین (Hakanson، ۱۹۸۰)

RI مقدار	میزان ریسک اکولوژیکی	Er مقدار	کلاس خطرزیستی
$Er < ۱۵۰$	خطر اکولوژیکی کم	$Er < ۴۰$	خطر کم
$۱۵۰ \leq Er < ۳۰۰$	خطر اکولوژیکی متوسط	$۴۰ \leq Er < ۸۰$	خطر متوسط
$۳۰۰ \leq Er < ۶۰۰$	خطر اکولوژیکی شدید	$۸۰ \leq Er < ۱۶۰$	خطر بالا
$Er \geq ۶۰۰$	خطر اکولوژیکی خیلی شدید	$۱۶۰ \leq Er < ۳۲۰$	خطر شدید
-	-	$Er \geq ۳۲۰$	خطر خیلی شدید

شاخص بار آلودگی (PLI) جهت تعیین سطح آلودگی ارائه شده و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل‌ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات به‌صورت فرمول زیر قابل محاسبه است (Hakanson، ۱۹۸۰). در این فرمول CF فاکتور آلودگی بوده که از معادله فاکتور آلودگی برای هر فلز به‌دست می‌آید:

$$PLI = \sqrt[۳]{CFCd \times CFNi \times CFV}$$

مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیرآلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند. به‌طور معمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان‌دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (Harikumar و همکاران، ۲۰۰۹).

برای محاسبه فاکتور غنی‌شدگی 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 به‌عنوان نرمالیزه کننده استفاده شده است. در این مطالعه از عنصر آهن برای جداسازی مولفه انسانی از طبیعی استفاده شد. فاکتور غنی‌شدگی برای هر فلز از نسبت بین عنصر نرمالیزه کننده به‌مقدار زمینه عناصر، طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود (جدول ۴) (Chabukdhara و Nema، ۲۰۱۲):

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

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از SPSS۲۴ انجام پذیرفت. جهت بررسی وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار با استفاده از آزمون t در سطح معنی‌دار ۰/۰۵ درصد انجام گردید. نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون کولموگراف ـ اسمیرنف بررسی شدند. جداول و نمودارها به‌کمک نرم‌افزار Excel ۲۰۰۷ رسم شدند.

جدول ۴: درجه‌بندی آلودگی فلزات سنگین براساس فاکتور غنی‌شدگی (Chabukdhara و Nema، ۲۰۱۲)

شدت آلودگی	دامنه تغییرات
آلودگی کم	$EF < ۲$
آلودگی متوسط	$۲ \leq EF < ۵$
آلودگی زیاد	$۵ \leq EF < ۲۰$
آلودگی بسیار زیاد	$۲۰ \leq EF < ۴۰$
آلودگی به شدت زیاد	$EF \geq ۴۰$

نتایج

میانگین میزان فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$)، اما درمورد میزان کادمیوم در ایستگاه دوم و سوم اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد ($P<۰/۰۵$). بالاترین میزان فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در آب تالاب هورالعظیم به‌ترتیب ۰/۴۹۶، ۴/۳۵۰ و ۰/۷۹۶ میلی‌گرم در لیتر در ایستگاه دوم به‌دست آمد. پایین‌ترین مقادیر فلزات سنگین مورد مطالعه در تالاب در ایستگاه اول بود (جدول ۵).

جدول ۵: غلظت فلزات سنگین (میلی‌گرم در لیتر) در آب تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (بهار ۱۳۹۷)

ایستگاه ها	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
ایستگاه اول	۰/۲۶۷±۰/۰۱۵^{a}	۰/۹۱۰±۰/۰۶۰^{a}	۰/۲۳۲±۰/۰۲۰^{a}
ایستگاه دوم	۰/۴۹۶±۰/۰۵۶^{b}	۴/۳۵۰±۰/۶۰۸^{b}	۰/۷۹۶±۰/۰۷۲^{b}
ایستگاه سوم	۰/۴۰۳±۰/۰۲۳^{b}	۱/۷۰۶±۰/۴۳۶^{c}	۰/۴۹۳±۰/۰۵۱^{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 معنی‌دار را نشان می‌دهد ($P<۰/۰۵$).

میانگین میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم در ایستگاه‌های مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشت ($P<۰/۰۵$). بالاترین میزان فلزات کادمیوم، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به‌ترتیب ۰/۰۷۳، ۲۰۳/۶۴ و ۸۰/۳۵ میلی گرم در کیلوگرم در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین‌ترین مقادیر فلزات سنگین در رسوبات تالاب در ایستگاه اول بود (جدول ۶).

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

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[a]	۱۲۴/۶۵±۴/۳۱[a]	۳۰/۵۳±۱/۱۳[a]
ایستگاه دوم	۰/۰۷۳±۰/۰۰۵[b]	۲۰۳/۶۴±۲/۵۶[b]	۸۰/۳۵±۲/۳۳[b]
ایستگاه سوم	۰/۰۵۳±۰/۰۰۵[c]	۱۶۵/۷۸±۳/۸۲[c]	۵۵/۱۹±۲/۰۹[c]
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 (جدول۸).

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 بارآلودگی در رسوبات تالاب در ایستگاه‌دوم ۱/۱۲۱ به‌دست آمد که بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم بود. پایین‌ترین میزان این شاخص نیز در ایستگاه‌اول 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).

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 ارزیابی‌خطر 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 اکـولوژیکی 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 ایستگاهای 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 (Janadeleh و Kameli، 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 منفجره مختلف و انفجارات مهیب و آتش‌سوزی‌های مکرر و استفاده از مواد شیمیایی جهت انهدام نیروهای طرف مقابل 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

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 وارد کننده 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 آلومینیم، 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 طبرشطعلی و جاده شرکت نفت از جمله راه‌های دسترسی در مجاورت تالاب می‌باشند. هم‌چنین راه آسفالته سوسنگرد ـ بستان ـ چزابه، راه آسفالته هویزه رفیع و راه آسفالته اهواز ـ جاده سیدخلف به طلائیه راه‌های دسترسی به تالاب هستند که این ترددها 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 موتورها 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؛ Janadeleh و Kameli، ۲۰۱۷) که غلظت نیکل و وانادیوم با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد، اما میزان کادمیوم از نتایج تحقیق حاضر بالاتر بوده است. به‌دلیل این‌که نیکل و وانادیوم می‌توانند به‌عنوان شاخص آلودگی نفتی درنظر 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 قایق های موتوری، گل 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 درمورد فلز نیکل در ایستگاه دوم آلودگی زیاد و در ایستگاه‌های اول و سوم آلودگی متوسط مشاهده شد. بنابراین با توجه به نتایج به‌-دست آمده می‌توان بیان کرد که نیکل به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کادمیوم و وانادیوم می‌باشد، اما به‌هرحال 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 درمورد 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 این‌که 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 منشا طبیعی و انسان‌زاد آلودگی فلزات سنگین در رسوبات است (Staniszewski، ۲۰۱۴). بالاترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز نیکل ۹/۵۷

و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز وانادیوم ۰/۵۸ بود. فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و وانادیوم به‌ترتیب متوسط،زیادوکم به‌دست آمد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده‌غنی‌شدگی فلز نیکل را می‌توان به منشا انسان‌زاد نسبت داد، اما فلزات کادمیوم و وانادیوم دارای منشا و غنی‌شدگی طبیعی هستند. منشا اصلی ورود فلز نیکل از راه فعالیت‌های انسان زاد، عملیات‌های مرتبط با استخراج نفت خام می‌باشد (Adewole و همکاران، ۲۰۱۰؛ Yang و همکاران، ۲۰۱۵).هم‌چنین آتش‌سوزی‌های موجود در تالاب‌ها و مراتع نیز یکی از عوامل اصلی ورود این فلز به اتمسفر و در نهایت اکوسیستم‌های آبی و خاک می باشد (Krika و Krika، ۲۰۱۸؛ Al-Hejuje و همکاران، ۲۰۱۸). الگوی مقادیر غنی‌شدگی متفاوت فلزات در اکوسیستم‌های آبی مختلف نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده متفاوت است، به‌عبارت دیگر منشا و پراکنش فلزات سنگین در محیط‌های آبی توسط چندین عامل کنترل می‌شود (Ghanbarpour و همکاران، ۲۰۱۴). منشا ورود فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و محیط‌زیست شامل فرآیندهای طبیعی زمین‌شناختی و فعالیت‌های انسان‌زادمی‌باشد(Guo و همکاران، ۲۰۱۵). منابع ورود فلزات سنگین در مناطق مختلف جهان براساس بافت‌زمین‌شناسی‌منطقه‌و منابع‌آلاینده‌موجود متفاوت است (Turner، ۲۰۱۳).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، ارزیابی خطر اکولوژیک فلزات کادمیوم و نیکل در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص پتانسیل ریسک اکولوژیکی در کلاس و رده خطر اکولوژیکی و زیستی کم قرار گرفتند. بنابراین براساس محاسبات صورت گرفته می‌توان تالاب هورالعظیم را در رده ریسک اکولوژیکی کم طبقه‌بندی کرد که با نتایج گزارش شده در رودخانه بشار یاسوج (مرتضوی و حاتمی‌منش، ۱۳۹۶) هم‌خوانی دارد.

وانادیوم از منابع طبیعی و هم‌چنین سوخت‌های فسیلی وارد محیط می‌شود و در آب، خاک و هوا برای مدت طولانی می‌ماند (Benzer و همکاران، ۲۰۱۳). وانادیوم در محیط‌های آبی، پایدار بوده و در طولانی مدت اثر زیان‌آوری روی موجودات آبی بر جای می‌گذارد (Loska و Wiechula، ۲۰۰۳). نیکل جزء فلزات سنگینی است که می‌تواند تاثیرات جبران ناپذیری بر موجودات زنده داشته باشد (Rojas de Astudillo و همکاران، ۲۰۰۵). ترکیبات فلز نیکل معمولاً در خاک و رسوبات تجمع می‌کنند. منشا اصلی انسان‌زاد آن از سوخت‌های فسیلی و مشتقات نفتی می‌باشد (Al-Hejuje و همکاران، ۲۰۱۸).کادمیوم نیز جزء فلزات سمی می‌باشد که اثرات سمیت کادمیوم در بدن انسان نیز باعث شده است که در سال‌های اخیر محققین در کشورهای مختلف، مطالعات بسیاری را در مورد این عنصر انجام‌دهند (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 به‌دست آمد (جدول ۱۲). آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا وانادیوم را به‌عنوان عامل سرطان‌زا طبقه بندی نکرده‌اند و تحقیقات انجام شده بر روی انسان‌ها، سرطان‌زایی وانادیوم را اثبات نکرده است (عسکری‌ساری و ولایت‌زاده، ۱۳۹۳)، به‌همین دلیل درمورد فلز وانادیوم استانداردهای مجاز کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

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

استانداردهای جهانی	کادمیوم	نیکل	وانادیوم
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 وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای ملی و جهانی بود، اما میزان نیکل در رسوبات بالاتر از حد آستانه استانداردهای ملی و جهانی به‌دست آمد. غلظت کادمیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم تجمع بسیار پایینی داشت. به‌طوری‌که میزان فلز کادمیوم از میانگین این عنصر در پوسته قاره‌ای و شیل بسیار کم‌تر بود (جدول ۱۳)، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که این فلز منشا طبیعی از رسوبات بستر تالاب و خاک‌های اطراف رودخانه‌دارد.این‌فلزیکی‌از عناصر موجود در کودهای فسفاته کشاورزی است. هم‌چنین در پساب‌های 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 به‌دست آمد. منابع نیکل می‌تواند ناشی از کودهای کشاورزی و صنایع رنگرزی باشد، بنابراین این منابع می‌توانند منابع انسان‌زاد احتمالی این عنصر باشند(Tsakovski و همکاران، ۲۰۱۲).رسوباتی‌که‌در آب‌های هم‌جوار با مناطق صنعتی و شهری می‌باشند، توانایی بالقوه جذب و ته‌نشین کردن آلودگی‌های فلزی که از محیط‌های خشکی ناشی می‌شوند، را دارند (بهبودی و طهماسبی‌نژاد، ۱۳۹۵).تعامل بین فلزات سنگین‌و رسوبات رودخانه‌ها و تالاب‌ها بسیار مهم است، زیرا رسوبات بستر اکوسیستم‌های آبی مخزنی برای فلزات سنگین هستند و می‌توانند یک

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 درمقایسه با آستانه مجـاز 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
استاندارد کیفیت رسوب آمریکا (NOAA)	ERL	۱/۲	۲۰/۹
	ERM	۹/۶	۵۱/۶
	LER	۰/۶	۱۶
	SER	۹	۵۰
استاندارد کیفیت رسوب کانادا	$ISQG_S$	۰/۶	۱۶
	PEL	۳/۵	۷۵
مقادیر تالاب هورالعظیم		۰/۰۳۹-۰/۰۸۹	۱۲۰-۲۰۵/۴۲

منابع

۱. **اسدی، ا.؛ فاطمی، س.م.؛ اسکندری، غ. و پاپهن، ف.، ۱۳۸۹.** مطالعه‌ای بر جمعیت ماهیان در تالاب هویزه در ایران. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز. جلد ۲، شماره ۶، صفحات ۳ الی ۱۱.

۲. **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.

۳. **باقری، ح؛.، شارمد، ت.؛ خیرآبادی، و.؛ درویش‌بسطامی، 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 کیان طرح‌دانش. ۱۲ صفحه.

۵. **تدینی، م.، ۱۳۸۹.** مدیریت پسماند عملیات حفاری در میادین نفت و گاز. ماهنامه اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۷۲، صفحات ۶۵ الی ۶۹.

۶. **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.

۷. **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 وگیاه (نی) تالاب شادگان. کنفرانس بین‌المللی علوم، مهندسی و فناوری‌های محیط‌زیست. تهران، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران. ۱۱ صفحه.

۸. **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.

۹. **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.

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

۱۱. **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 ـ ترویجی اکتشاف و تولید نفت و گاز. شماره ۱۳۹، صفحات ۹۵ الی ۱۰۲.

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

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

مجله محیط‌شناسی. جلد ۴۳، شماره ۱ف 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 محیط شناسی. 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 آبزی 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.

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 Leuciscuc cephalus from 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

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 pollulant 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 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.