تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی

خوشناز پاینده[1*]
محمد ولایت زاده[2]

۱. گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*مسئول مکاتبات:
Payandeh426@gmail.com

کد مقاله: ۱۳۹۸۰۲۰۷۳۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۹
این مقاله برگرفته از سایر فعالیت‌های پژوهشی است.

چکیده

رسوبات یکی از شاخص‌های زیستی تجمع فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی هستند که به دلیل ثبات در یک منطقه می‌توانند به‌خوبی میزان آلودگی را ارزیابی کنند. این تحقیق در سال ۱۳۹۷ باهدف بررسی فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان انجام شد. درمجموع ۲۷ نمونه رسوبات از ۳ ایستگاه با ۹ تکرار بر اساس استاندارد ASTM شماره D2488 تهیه شد. برای سنجش عناصر سنگین از دستگاه ICP-OES مدل Varian 710-ES استفاده گردید. بالاترین میزان فلزات کبالت، کروم و سلنیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۰۱۹، ۹۳/۳۹ و ۲۹/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ایستگاه سوم و منگنز و مولیبدن ۴۵۱/۱۲ و ۰/۸۸ در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین‌ترین مقادیر فلزات سنگین کبالت، منگنز و سلنیوم در رسوبات تالاب در ایستگاه اول بود، اما پایین‌ترین غلظت کروم در ایستگاه دوم و مولیبدن در ایستگاه سوم مشاهده شد. فاکتور آلودگی فلزات کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن کمتر از ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی کم این فلزات می‌باشد. در مورد فلز سلنیوم فاکتور آلودگی بالاتر از ۶ به دست آمد که آلودگی شدید این فلز در رسوبات را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که سلنیوم به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن می‌باشد. فاکتور غنی‌شدگی فلز کبالت آلودگی کم و فلزات کروم، سلنیوم، مولیبدن و منگنز آلودگی به‌شدت زیاد را نشان داد که می‌توان بیان کرد این فلزات منشاء انسان‌زاد دارند. ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات کبالت، کروم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص توان مخاطره بوم‌شناختی در طبقه پتانسیل خطر بوم‌شناختی کم قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: تالاب هورالعظیم، رسوبات، فلزات سنگین، مخاطره بوم‌شناختی، غنی‌شدگی.

مقدمه

فلزات سنگین از راه‌های مختلف وارد محیط‌زیست می‌شوند. این آلاینده‌ها به هوا، خاک و درنهایت اکوسیستم‌های آبی وارد می‌شوند (Aazami and Taban, 2018). ورود فلزات سنگین به آب‌ها نتیجه دو منشأ فعالیت‌های انسانی و فرآیندهای طبیعی در محیط‌زیست می‌باشد (Asha *et al*., 2010; Harguinteguy *et al*., 2014). آب‌های سطحی مانند تالاب‌ها، دریاچه‌ها و رودخانه‌ها اغلب به‌وسیله پساب‌های شهری، فاضلاب‌های صنایع و کشاورزی به فلزات سنگین آلوده می‌شوند، اما مقادیر فلزات سنگین در آب‌های زیرزمینی نظیر چشمه‌ها معمولاً از زمین‌شناسی منطقه موردنظر تبعیت می‌کنند. البته گاهی آلودگی آن‌ها ناشی از فعالیت‌های زیرزمینی انسان مانند استخراج نفت و گاز، معادن و دفن پسماندهای شهری نیز می‌باشد (Ananth *et al*., 2014; Ahmad and Sarah, 2015).

فلزات سنگین به دلیل تجمع در بافت‌ها و اندام‌های موجودات زنده برای سلامتی جانداران و انسان‌ها خطرناک هستند (Kukrer, 2017). دوز سمیت عناصر به نوع فلز، نقش زیستی آن در بدن و نوع موجود زنده‌ای که در معرض آن قرار می‌گیرد، بستگی دارد (Mendes *et al*.,

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

2017). مسمومیت با فلزات سنگین در انسان می‌تواند منجر به علائم متعددی ازجمله آسیب مغزی و کاهش توانایی ذهنی، کاهش عملکرد سیستم اعصاب مرکزی، کاهش سطح انرژی بدن و آسیب به محتوای ژنتیکی شود و به‌طورکلی ممکن است بر روی پوست، عضلات، گردش خون، ریه، کلیه‌ها، کبد، قلب و دیگر اعضای حیاتی بدن عوارض خطرناکی بر جای بگذارد (Adrees *et al*., 2015). قرارگیری درازمدت انسان در معرض فلزات سنگین از طریق آلودگی آب، به‌مرور شرایط دیابت، پرفشاری خون و بیماری قلبی را بر بدن تحمیل می‌کند و موجب نوعی فرایند آهسته تحلیل عضلات و اعصاب می‌شود که علائمی شبیه به بیماری آلزایمر، پارکینسون و ام اس را ایجاد می‌کند و حتی برخی از این فلزات می‌توانند باعث ایجاد سرطان در انسان شوند (Tsakovski *et al*., 2012; Jiang *et al*., 2012).

در سال‌های اخیر، آلودگی رودخانه‌ها و تالاب‌ها موردتوجه پژوهشگران متعددی بوده است (Amira and Leghouchi, 2018). آلودگی آب تالاب‌ها با انواع آلاینده‌های خطرناک می‌تواند مشکلات مهمی را در مورد سلامت انسان و محیط‌زیست به وجود آورد (Sukumaran, 2013). مشکلات آلودگی در ایران نیز مانند سایر کشورهای درحال‌توسعه، به‌واسطه پیشرفت تکنولوژیک و فعالیت‌های انسان‌ساخت، روزبه‌روز در حال افزایش می‌باشد و لزوم توجه بیشتری را می‌طلبد. از سوی 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 بیش‌ازپیش نمایان می‌سازد (کوشافر و ولایت زاده، ۱۳۹۳؛ محمدصالحی و ولایت زاده، ۱۳۹۷). 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 گزارش‌شده است (رومیانی و پاینده، ۱۳۹۶؛ پاینده و همکاران، ۱۳۹۷).

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 بر اساس 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 به علت 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. آلودگی فلزات سنگین سرب، روی و نیکل در رسوبات سطحی رودخانه شور در شرق بندرعباس نشان داد نیکل و سرب غیر آلوده است، درحالی‌که فلز روی در دو ایستگاه نزدیک‌تر به شهر، وضعیت غیر آلوده تا آلودگی متوسط داشت که به دلیل توسعه سریع شهرنشینی و صنعتی بندرعباس، پایش آلودگی فلزات سنگین در منطقه مطالعاتی به سبب اهمیت اکولوژیکی آن به‌صورت مداوم ضروری می‌باشد (بهادر و مرادی، ۱۳۹۶). نتایج مطالعه‌ای نشان داد مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده با استانداردها بیانگر بالاتر بودن فلزات جیوه، کادمیوم، سرب، کبالت و وانادیوم در آب و رسوبات رودخانه بهمنشیر نسبت به استانداردها بوده است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در آب رودخانه همچنین رسوبات میزان جیوه، سرب، کبالت و وانادیوم در فصل تابستان بالاتر از زمستان بود (کوشافر و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعه آلودگی فلزات سنگین در رسوبات رودخانه کارون نشان داد، فلزات سرب در ایستگاه ۶، کادمیوم در ایستگاه ۵ و نیکل در ایستگاه ۱، به ترتیب بیشترین غلظت را داشتند. بیشترین حجم آلودگی رسوبات در ایستگاه‌های محدوده خارج از شهر اهواز به دست آمد (محمد زاده و همکاران، ۱۳۹۷).

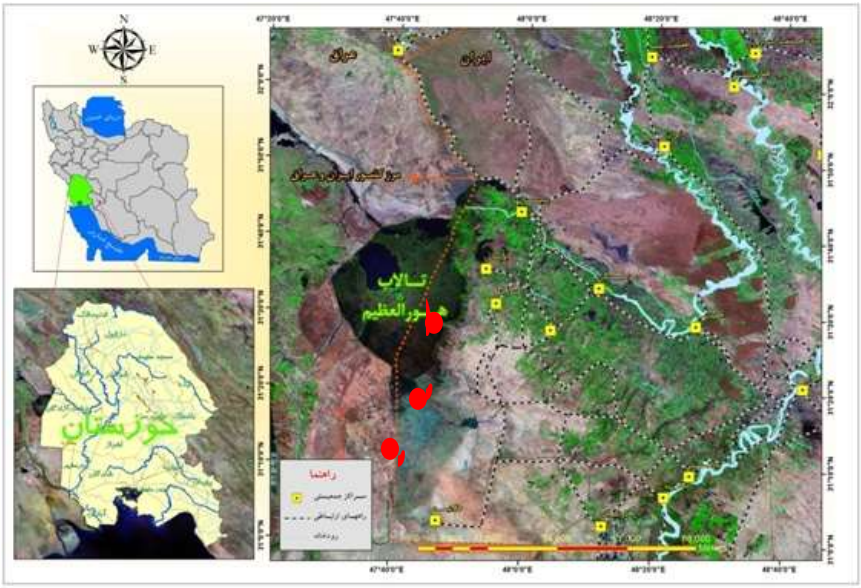
تالاب هورالعظیم در غرب استان خوزستان در پایین‌دست رودخانه کرخه واقع‌شده است. عمده منابع آبی تالاب از طریق رودخانه‌های کرخه، نیسان، سابله و نهرهای انشعابی تأمین می‌شود. این تالاب یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران محسوب می‌شود که با دارا بودن تنوع زیستی بالا، زیستگاه و پناهگاه آبزیان بسیاری می‌باشد و دارای آب شیرین و شور است. منابع طبیعی هورالعظیم از زمان جنگ بین ایران و عراق با تهدید روبه‌رو بوده است. کمبود آب ناشی از احداث سد در مسیر رودخانه‌های منتهی به این تالاب آسیب‌های قابل‌توجهی به این زیستگاه وارد

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

کرده است. خشک شدن بخش‌های وسیعی از این زیستگاه عظیم در جنوب غرب ایران نقش مهمی در به راه افتادن توفان شن و گردوخاک در منطقه داشته است. زیرمجموعه‌های شرکت ملی نفت ایران در این منطقه با جاده‌سازی غیرضروری، عدم رعایت عرض موردتوافق درباره جاده‌ها، دفع پسماندهای حاصل از حفاری چاه‌ها و پساب‌های تخلیه‌شده در تالاب، به محیط‌زیست این تالاب آسیب‌زده‌اند. به دنبال فعالیت‌های صنعت نفت در منطقه، ارتباط آبی بین بخش‌های مختلف تالاب هورالعظیم برقرار نیست و به همین دلیل این تالاب در برخی قسمت‌ها به حالت مرداب درآمده است (ولایت زاده، ۱۳۹۵)؛ بنابراین با توجه به افزایش فعالیت‌های نفتی و صنعتی در سال‌های اخیر در مجاورت تالاب هورالعظیم، بررسی و پایش آلودگی‌های محیط‌زیست نظیر سنجش عناصر سنگین در این تالاب ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ جهت تعیین آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم انجام شد (شکل ۱). برای نمونه‌برداری از رسوبات سطحی 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. طول و عرض جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوبات با استفاده GPS از ثبت شدند (جدول ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری رسوبات سطحی تالاب هورالعظیم.

جدول ۱: موقعیت جغرافیایی نمونه‌برداری رسوبات در تالاب هورالعظیم (۱۳۹۷).

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

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از استاندارد American Society for Testing and Materials شماره D2488 با استفاده از گرب (Ekman grab) با سطح مقطع ۲۲۵ سانتیمتر از ۳۰ سانتیمتری بستر و در هر ایستگاه با ۹ تکرار انجام شد. نمونه‌های رسوب در بطری‌هایی که از قبل با محلول آب مقطر و اسید نیتریک ۱۰ درصد (ساخت شرکت مرک آلمان) استریل شده بودند به آزمایشگاه منتقل شدند (ASTM, 1991). نمونه‌های 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 نمونه‌ها از روش مرطوب استفاده شد، به این صورت که ۰/۵ گرم از نمونه در یک بالن ۲۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد و به آن ۲۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک غلیظ، ۲۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۷ مولار و ۱ میلی‌لیتر 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 به‌آرامی ۲۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید نیتریک غلیظ و اسید پرکلریک غلیظ به نسبت ۱:۱ به نمونه اضافه شد، سپس مخلوط حرارت داده شد تا بخارات سفیدرنگ اسید به‌طور کامل محو شد، مخلوط سرد شده و درحالی‌که بالن چرخانده می‌شد ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر از بالای مبرد به‌آرامی به آن اضافه شد. با حرارت دادن حدود ۱۰۰ دقیقه محلول کاملاً شفافی به دست آمد، این محلول پس از سرد شدن به داخل بالن ژوژه ۱۰۰ میلی‌لیتر انتقال داده شد و به حجم رسانده شد. سنجش عناصر سنگین به روش طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) انجام شد. برای تعیین فلزات از دستگاه ICP-OES مدل Varian 710-ES استفاده گردید (Sakan *et al*., 2009).

برای ارزیابی آلودگی عناصر سنگین 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 (کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن به ترتیب ۱۹، ۹۰، ۸۵۰، ۱/۰۸ و ۲/۶ میلی‌گرم در کیلوگرم) بود (Hakanson, 1980):

رابطه ۱:

$$CF = C_o \div C_n$$

مجموع فاکتورهای آلودگی برای عناصر موردبررسی نشان‌دهنده درجه آلودگی (Cdeg) است که از رابطه ۲ به دست آمد (جدول ۲) (Hakanson, 1980):

رابطه ۲:

$$Cdeg = \Sigma Cf$$

جدول ۲: درجه‌بندی فاکتور آلودگی و درجه آلودگی رسوبات (Hakanson, 1980).

رده آلودگی	فاکتور آلودگی	درجه آلودگی	درجه آلودگی اصلاح‌شده	
آلودگی کم	CF < ۱	Cdeg < ۷	غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک	درجه آلودگی کمتر از ۱/۵
آلودگی متوسط	۱ ≤ CF < ۳	۷ ≤ Cdeg < ۱۴	آلودگی اندک	درجه آلودگی بین ۱/۵ تا ۲
آلودگی زیاد	۳ ≤ CF < ۶	۱۴ ≤ Cdeg < ۲۸	آلودگی متوسط	درجه آلودگی بین ۲ تا ۴
شدیداً آلوده	CF ≥ ۶	Cdeg ≥ ۲۸	آلودگی زیاد	درجه آلودگی بین ۴ تا ۸
–	–	–	آلودگی بسیار زیاد	درجه آلودگی بین ۸ تا ۱۶
–	–	–	آلودگی فوق‌العاده زیاد	درجه آلودگی بین ۱۶ تا ۳۲
–	–	–	آلودگی بی‌نهایت زیاد	درجه آلودگی بیشتر از ۳۲

با توجه به محدودیت‌های معادله درجه آلودگی (Cdeg)، Abrahim (۲۰۰۵) درجه آلودگی اصلاح‌شده (modified Contamination Degree) را معرفی کرد (جدول ۳) که از معادله زیر به دست آمد:

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

$$mCd = \Sigma Cf \div n$$

جدول ۳: توصیف آلودگی محیط بر اساس درجه آلودگی اصلاح‌شده (Abrahim, 2005).

کیفیت محیط موردبررسی	مقادیر درجه آلودگی اصلاح‌شده
غیر آلوده تا آلودگی بسیار اندک	درجه آلودگی کمتر از ۱/۵
آلودگی اندک	درجه آلودگی بین ۱/۵ تا ۲
آلودگی متوسط	درجه آلودگی بین ۲ تا ۴
آلودگی زیاد	درجه آلودگی بین ۴ تا ۸
آلودگی بسیار زیاد	درجه آلودگی بین ۸ تا ۱۶
آلودگی فوق‌العاده زیاد	درجه آلودگی بین ۱۶ تا ۳۲
آلودگی بی‌نهایت زیاد	درجه آلودگی بیشتر از ۳۲

در این مطالعه برای ارزیابی مخاطره بوم‌شناسی (Ecological Risk) و شاخص پتانسیل خطر محیط‌زیستی (RI) رسوبات تالاب از رابطه-های زیر (رابطه ۳ و رابطه ۴) استفاده شد (Hakanson, 1980):

رابطه ۳: $Er = TR \times CF$

رابطه ۴: $RI = \sum Er$

در این رابطه CF: فاکتور آلودگی، Er: ریسک اکولوژیکی هر عنصر موردمطالعه، RI: ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. هاکانسون (۱۹۸۰) مقدار TR را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین می‌باشد برای تحلیل مقادیر به‌دست‌آمده چهار گروه متفاوت تعریف کرده است (جدول ۴). واکنش سمیت فلزات کبالت، کروم و مولیبدن به ترتیب ۵، ۲ و ۱۵ گزارش‌شده است اما در منابع علمی مقادیر سلنیوم و منگنز وجود نداشت که در محاسبات حذف شدند.

جدول ۴: کلاس‌های ریسک اکولوژیک و پتانسیل شاخص ریسک آلودگی فلزات سنگین (Hakanson, 1980).

کلاس پتانسیل ریسک	مقدار Er	میزان ریسک اکولوژیکی	مقدار RI
خطر کم	Er < ۴۰	خطر اکولوژیکی کم	RI < ۱۵۰
خطر متوسط	۴۰ ≤ Er < ۸۰	خطر اکولوژیکی متوسط	۱۵۰ ≤ RI < ۳۰۰
خطر بالا	۸۰ ≤ Er < ۱۶۰	خطر اکولوژیکی شدید	۳۰۰ ≤ RI < ۶۰۰
خطر شدید	۱۶۰ ≤ Er < ۳۲۰	خطر اکولوژیکی خیلی شدید	RI ≥ ۶۰۰
خطر خیلی شدید	Er ≥ ۳۲۰	-	-

شاخص بار آلودگی (PLI) برای تعیین سطح آلودگی ارائه‌شده و می‌تواند تخمینی از سطح آلودگی فلزات را در اختیار قرار دهد. این شاخص از طریق حاصل‌ضرب شاخص‌های آلودگی فلزات به‌صورت فرمول زیر قابل‌محاسبه است (Hakanson, 1980). در این فرمول CF فاکتور آلودگی بوده که از رابطه ۵ فاکتور آلودگی برای هر فلز به دست آمد:

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

رابطه ۵:

$$PLI = \sqrt[5]{CFCo \times CFSe \times CFMn \times CFMo \times CFCr}$$

مقادیر شاخص بار آلودگی از صفر (غیر آلوده) تا ۱۰ (بسیار آلوده) تغییر می‌کند. به‌طورمعمول مقادیر کوچک‌تر از ۱ نشان‌دهنده عدم آلودگی و مقادیر بزرگ‌تر از ۱ نشان‌دهنده آلودگی نسبت به فلزات سنگین است (Maanan *et al*., 2015).

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 رادارند به‌عنوان نرمالیزه کننده استفاده‌شده است. در این مطالعه از عنصر آهن برای جداسازی مؤلفه انسانی از طبیعی استفاده شد. فاکتور غنی‌شدگی برای هر فلز از نسبت بین عنصر نرمالیزه کننده به مقدار زمینه عناصر، طبق رابطه ۶ محاسبه شد (جدول ۵) (Maanan *et al*., 2015):

رابطه ۶:

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

جدول ۵: درجه‌بندی آلودگی فلزات سنگین بر اساس فاکتور غنی‌شدگی (Maanan *et al*., 2015).

دامنه تغییرات	شدت آلودگی
EF < ۲	آلودگی کم
۲ ≤ EF < ۵	آلودگی متوسط
۵ ≤ EF < ۲۰	آلودگی زیاد
۲۰ ≤ EF < ۴۰	آلودگی بسیار زیاد
EF ≥ ۴۰	آلودگی به‌شدت زیاد

تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از SPSS نسخه ۲۴ انجام پذیرفت. برای 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 به کمک نرم‌افزار Excel 2007 رسم شدند.

نتایج

میانگین محتوی فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه‌های موردمطالعه اختلاف معنی‌داری داشت (P<۰/۰۵). بالاترین میزان فلزات کبالت، کروم و سلنیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم به ترتیب ۰/۰۱۹، ۹۳/۳۹ و ۲۹/۴۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ایستگاه سوم و منگنز و مولیبدن ۴۵۱/۱۲ و ۰/۸۸ در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین‌ترین مقادیر فلزات سنگین کبالت، منگنز و سلنیوم در رسوبات تالاب در ایستگاه اول بود، اما پایین‌ترین غلظت کروم در ایستگاه دوم و مولیبدن در ایستگاه سوم مشاهده شد (جدول ۶).

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

ایستگاه‌ها	کبالت	کروم	منگنز	سلنیوم	مولیبدن
ایستگاه اول	۰/۰۱۲±۰/۰۰۱[a]	۸۷/۱۲±۲/۱۳[a]	۳۵۸/۶۵±۱۷/۶۲[a]	۱۶/۳۴±۰/۴۱[a]	۱/۹۲±۰/۰۵[a]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

ایستگاه دوم	۰/۰۱۶±۰/۰۰۲[b]	۷۳/۸۴±۲/۵۶[b]	۴۵۱/۱۲±۱۳/۸۱[b]	۲۷/۹۳±۰/۲۸[b]	۰/۸۸±۰/۰۴[b]
ایستگاه سوم	۰/۰۱۹±۰/۰۰۲[c]	۹۳/۳۹±۳/۸۲[c]	۴۴۷/۲۶±۱۲/۲۵[c]	۲۹/۴۵±۰/۱۱[c]	۰/۵۵±۰/۰۲[c]
حداقل	۰/۰۰۹	۸۲/۳۶	۳۲۶/۱۲	۱۲/۴۴	۰/۲۴
حداکثر	۰/۰۲۲	۱۰۱/۷۶	۴۸۶/۶۸	۳۴/۲۸	۲/۲۲

a، b و c: حروف غیرهمنام در هر ستون فلزات سنگین اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد ($P<0.05$).

بالاترین مقدار شاخص فاکتور آلودگی مربوط به فلز سلنیوم ۲۷/۲۶۸ و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز کبالت ۰/۰۰۰۶ بود. در مورد فلزات کبالت، کروم و سلنیوم بالاترین مقادیر فاکتور آلودگی در ایستگاه سوم به دست آمد. همچنین بالاترین میزان این شاخص برای فلز منگنز در ایستگاه دوم ۰/۴۷۴ و برای فلز مولیبدن ۰/۶۴۰ در ایستگاه اول مشاهده شد (جدول ۷).

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

ایستگاه‌ها	کبالت	کروم	منگنز	سلنیوم	مولیبدن
ایستگاه اول	۰/۰۰۰۶	۰/۸۷۱	۰/۳۷۷	۱۵/۱۲۹	۰/۶۴۰
ایستگاه دوم	۰/۰۰۰۸	۰/۷۳۸	۰/۴۷۴	۲۵/۸۶۱	۰/۲۹۳
ایستگاه سوم	۰/۰۰۰۹	۰/۹۳۳	۰/۴۷۰	۲۷/۲۶۸	۰/۱۷۰

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

جدول ۸: درجه آلودگی و شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان.

شاخص	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم
درجه آلودگی	۱۷/۰۱۷	۲۷/۳۶۶	۲۸/۸۴۱
درجه آلودگی اصلاح‌شده	۳/۴۰۳	۵/۴۷۳	۵/۷۶۸
شاخص بار آلودگی	۰/۳۵۲	۰/۳۵۸	۰/۳۴۹

بالاترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز سلنیوم ۷۱۸۸۵/۱۲ و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز کبالت ۱/۳۰۸ بود. در مورد فلزات کروم و منگنز بالاترین مقادیر شاخص فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه دوم به ترتیب ۲/۲۳۳ و ۱۳۱۹/۹۵ به دست آمد. همچنین بالاترین میزان این شاخص برای فلز مولیبدن در ایستگاه اول ۱۳۹۵/۷۴ مشاهده شد (جدول ۹).

جدول ۹: مقادیر فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (۱۳۹۷).

ایستگاه‌ها	کبالت	کروم	منگنز	سلنیوم	مولیبدن
ایستگاه اول	۱/۳۰۸	۱۸۹۹/۹۵	۸۳۲/۳۲	۳۲۹۹۵/۴۶	۱۳۹۵/۷۴
ایستگاه دوم	۲/۲۳۳	۲۰۵۲/۵۰	۱۳۱۹/۹۵	۷۱۸۸۵/۱۲	۸۱۵/۳۶
ایستگاه سوم	۱/۹۷۹	۱۹۴۵/۶۲	۹۸۰/۸۳	۵۶۸۰۹/۴۱	۳۵۴/۱۶

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

مقادیر ارزیابی مخاطره بوم‌شناسی فلزات کبالت و کروم در رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه سوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و سوم به دست آمد. در مورد مولیبدن مقدار مخاطره بوم‌شناسی در ایستگاه اول بالاتر بود. در ایستگاه اول مخاطره بوم‌شناسی برای فلز کبالت و در ایستگاه دوم برای فلز کروم پایین‌ترین مقدار را داشت. شاخص توان مخاطره بوم‌شناسی برای فلزات سنگین کبالت، کروم و مولیبدن در رسوبات تالاب به ترتیب ۱۱/۳۴۵، ۵/۸۷۵ و ۴/۴۲۰ به دست آمد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: ارزیابی ریسک اکولوژیک (RI) فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم در استان خوزستان (۱۳۹۷).

ایستگاه‌ها	کبالت	کروم	مولیبدن	RI
ایستگاه اول	۰/۰۰۳	۱/۷۴۲	۹/۶۰	۱۱/۳۴۵
ایستگاه دوم	۰/۰۰۴	۱/۴۷۶	۴/۳۹۵	۵/۸۷۵
ایستگاه سوم	۰/۰۰۴۵	۱/۸۶۶	۲/۵۵	۴/۴۲۰

بحث و نتیجه‌گیری

بالاترین میزان فلزات کبالت، کروم و سلنیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم در ایستگاه سوم و منگنز و مولیبدن در ایستگاه دوم به دست آمد. پایین‌ترین مقادیر فلزات سنگین کبالت، منگنز و سلنیوم در رسوبات تالاب در ایستگاه اول بود، اما پایین‌ترین غلظت کروم در ایستگاه دوم و مولیبدن در ایستگاه سوم مشاهده شد. جاده‌های موجود در تالاب جاده طبر ـ شطعلی و جاده شرکت نفت ازجمله راه‌های دسترسی در مجاورت تالاب می‌باشند. همچنین راه آسفالته سوسنگرد ـ بستان ـ چزابه، راه آسفالته هویزه ـ رفیع و راه آسفالته اهواز ـ جاده سید خلف به طلائیه راه-های دسترسی به تالاب هستند که این ترددها می‌توانند سبب آلودگی تالاب و تجمع در رسوبات شوند (عادل زاده و طالبی، ۱۳۹۵). فلزات سنگین در اتمسفر و جو به‌طور عمده از گردوغبارها، آتش‌سوزی پوشش گیاهی، فرآیندهای احتراق موتورها منشأ می‌شوند و می‌توانند وارد اکوسیستم‌های آبی شده و در رسوبات تجمع کنند (Amira and Leghouchi, 2018). فلزات سنگین از طریق پساب‌های کشاورزی و رواناب‌های شهری وارد اکوسیستم‌های رودخانه‌ای و تالابی می‌شوند (Aazami and Taban, 2018; Al-Khatib *et al*., 2019). هورالعظیم تنها باقیمانده تالاب‌های بسیار بزرگ بین‌النهرین است که یک‌سوم آن در ایران و دوسوم در کشور عراق واقع می‌باشد و عمده منابع آبی تالاب از طریق رودخانه‌های کرخه در ایران و دجله در عراق تأمین می‌شود (ولایت زاده، ۱۳۹۵). 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. 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.

فاکتور آلودگی فلزات کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن کمتر از ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی کم این فلزات می‌باشد که نشان‌دهنده آلودگی کم این فلزات است. در مورد فلزات سلنیوم فاکتور آلودگی بالاتر از ۶ به دست آمد که آلودگی شدید این فلز در رسوبات را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان کرد که سلنیوم به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن می‌باشد، اما به‌هرحال سایر فلزات نیز آلودگی کم دارند و در صورت عدم اجرای اقدام پیشگیرانه جهت ورود این آلاینده‌ها به محیط تالاب، در

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

آینده آلودگی آب، رسوبات و آبزیان را به دنبال خواهد داشت. اگرچه سنجش غلظت فلزات سنگین در رسوبات، به دلیل 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 (Zhan *et al*., 2010; Yan *et al*., 2018).

درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده فلزات سنگین آلودگی زیاد رسوبات را نشان دادند. درجه آلودگی و درجه آلودگی اصلاح‌شده نشان داد که مقدار این شاخص‌ها در ایستگاه سوم بالاتر از ایستگاه‌های اول و دوم به دست آمد و پایین‌ترین میزان این شاخص در ایستگاه اول مشاهده شد. احتمال می‌رود بالا بودن بار آلودگی در ایستگاه سوم به علت تأثیر ورود حجم عظیمی از رواناب‌های شهری روستایی، پساب‌ها و پسماندهای فعالیت‌های نفتی و انسانی باشد (Zhang *et al*., 2013; Xie *et al*., 2016) که بالا بودن درجه آلودگی فلزات سنگین در ایستگاه سوم مقادیر بالای شاخص بار آلودگی فلزات سنگین در این ایستگاه را تأیید می‌کند.

فاکتور غنی‌شدگی روش مناسبی جهت تفکیک منشأ طبیعی و انسان‌زاد آلودگی فلزات سنگین در رسوبات است (Shang *et al*., 2015). بالاترین مقدار فاکتور غنی‌شدگی مربوط به فلز سلنیوم و پایین‌ترین میزان این شاخص مربوط به فلز کبالت بود. در مورد فلزات کروم و منگنز بالاترین مقادیر شاخص فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه دوم به دست آمد. همچنین بالاترین میزان این شاخص برای فلز مولیبدن در ایستگاه اول مشاهده شد. منشأ اصلی ورود فلزاتی نظیر کبالت از راه فعالیت‌های انسان‌زاد، عملیات مرتبط با صنایع می‌باشد (Santos-Frances *et al*., 2017). همچنین آتش‌سوزی‌های موجود در تالاب‌ها و مراتع نیز یکی از عوامل اصلی ورود این فلزات به اتمسفر و درنهایت اکوسیستم‌های آبی و خاک می‌باشد (Krika and Krika, 2018; Al-Hejuje *et al*., 2018).

فاکتور غنی‌شدگی فلز کبالت آلودگی کم و فلزات کروم، سلنیوم، مولیبدن و منگنز آلودگی به‌شدت زیاد را نشان داد که می‌توان بیان کرد این فلزات منشأ انسان‌زاد دارند. الگوی مقادیر غنی‌شدگی متفاوت فلزات در اکوسیستم‌های آبی مختلف نشان‌دهنده وجود منابع آلاینده متفاوت است، به‌عبارت‌دیگر منشأ و پراکنش فلزات سنگین در محیط‌های آبی توسط چندین عامل کنترل می‌شود (Naser, 2013; Milan *et al*., 2015). منشأ ورود فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و محیط‌زیست شامل فرآیندهای طبیعی زمین‌شناختی و فعالیت‌های انسان‌زاد می‌باشد (Maanan *et al*., 2015). منابع ورود فلزات سنگین در مناطق مختلف جهان بر اساس بافت زمین‌شناسی منطقه و منابع آلاینده موجود متفاوت است (Wang *et al*., 2017).

در مورد فلزات کروم و منگنز بالاترین مقادیر شاخص فاکتور غنی‌شدگی در ایستگاه دوم به دست آمد. بالاترین مقدار شاخص بار آلودگی در ایستگاه دوم مشاهده شد. ایستگاه دوم نمونه‌برداری در این پژوهش در مجاورت میدان نفتی آزادگان می‌باشد که باوجود 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 (Kumar *et al*., 2013; Yan *et al*., 2018). این فلزات در طی حفاری از درون سازندهای حاوی نفت خام و یا در اثر ورود نفت به داخل 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. 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 در رسوبات تالاب هورالعظیم افزایش‌یافته 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 (Inaotombi, and Gupta, 2017; Sari *et al*., 2018).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، ارزیابی مخاطره بوم‌شناسی فلزات کبالت، کروم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص توان مخاطره بوم‌شناسی در کلاس پتانسیل خطر بوم‌شناسی کم قرار گرفتند؛ بنابراین بر اساس محاسبات صورت گرفته می‌توان تالاب هورالعظیم را

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

در رده مخاطره بوم‌شناسی کم طبقه‌بندی کرد که با نتایج گزارش‌شده در رودخانه بشار یاسوج (مرتضوی و حاتمی منش، ۱۳۹۶) هم‌خوانی دارد. فلزات سنگین از منابع طبیعی و همچنین سوخت‌های فسیلی وارد محیط می‌شود و در آب، خاک و هوا برای مدت طولانی می‌ماند (Gurumoorthi and Venkatachalapathy, 2016). فلزات در محیط‌های آبی، پایدار بوده و در طولانی‌مدت اثر زیان‌آوری روی موجودات آبی بر جای می‌گذارد (Esmaeilzadeh *et al*., 2016). کروم و کبالت جزء فلزات سنگینی است که می‌تواند تأثیرات جبران-ناپذیری بر موجودات زنده داشته باشد (Alam *et al*., 2018). ترکیبات فلز سلنیوم و منگنز معمولاً در خاک و رسوبات تجمع می‌کنند. منشأ اصلی انسان‌زاد آن از فعالیت‌های صنعتی می‌باشد (Al-Hejuje *et al*., 2018). مولیبدن نیز جزء فلزاتی می‌باشد که اثرات واکنش سمیت بوم‌شناسی نیز باعث شده است که در سال‌های اخیر محققین در کشورهای مختلف، مطالعات بسیاری را در مورد این عنصر انجام دهند (Xiao *et al*., 2013).

میزان کبالت، منگنز و کروم در رسوبات تالاب هورالعظیم پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای جهانی بود، اما میزان مولیبدن در رسوبات بالاتر از حد آستانه استانداردها به دست آمد (جدول ۱۱)، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که فلزات کبالت، منگنز و کروم منشأ طبیعی از رسوبات بستر تالاب و خاک‌های اطراف رودخانه‌های ورودی دارند. غلظت فلز مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم بالاتر از میانگین شیل و پوسته زمین به دست آمد، بنابراین این منابع می‌توانند منابع انسان‌زاد احتمالی این عنصر باشند. تعامل بین فلزات سنگین و 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 (George *et al*., 1999; Zhang *et al*., 2009). رسوباتی که در آب‌های هم‌جوار با مناطق صنعتی و شهری می-باشند، توانایی بالقوه جذب و ته‌نشین کردن آلودگی‌های فلزی که از محیط‌های خشکی ناشی می‌شوند، رادارند (An *et al*., 2010).

جدول ۱۱: مقایسه غلظت فلزات سنگین در رسوبات (میلی‌گرم در کیلوگرم) تالاب هورالعظیم با حد مجاز ملی و استانداردهای بین‌المللی.

استانداردها و مقادیر جهانی		کبالت	منگنز	مولیبدن	کروم
رسوبات جهانی		۱۴	۷۷۰	–	–
پوسته زمین		۲۰	۹۵۰	۳	۳۵
شیل		۱۹	۸۵۰	۲/۶	۹۰
تحقیق حاضر	حداقل	۰/۰۰۹	۸۲/۳۶	۳۲۶/۱۲	۱۲/۴۴
	حداکثر	۰/۰۲۲	۱۰۱/۷۶	۴۸۶/۶۸	۳۴/۲۸

فاکتور آلودگی فلزات کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن کمتر از ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده آلودگی کم این فلزات می‌باشد. در مورد فلز سلنیوم فاکتور آلودگی بالاتر از ۶ به دست آمد که آلودگی شدید این فلز در رسوبات را نشان می‌دهد؛ بنابراین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می-توان بیان کرد که سلنیوم به‌عنوان مهم‌ترین آلاینده فلزی نسبت به کبالت، کروم، منگنز و مولیبدن می‌باشد. فاکتور غنی‌شدگی فلز کبالت آلودگی کم و فلزات کروم، سلنیوم، مولیبدن و منگنز آلودگی به‌شدت زیاد را نشان داد که می‌توان بیان کرد این فلزات منشأ انسان‌زاد دارند. ارزیابی خطر بوم‌شناختی فلزات کبالت، کروم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص توان مخاطره بوم‌شناختی در طبقه پتانسیل خطر بوم‌شناختی کم قرار گرفتند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

منابع

بهادر، م. و مرادی، ع.، ۱۳۹۶. آلودگی فلزات (Zn، Ni و Pb) در رسوبات سطحی مصب رودخانه شور، شرق بندرعباس. فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، ۹ (۱): صفحات ۴۷-۵۶.

پاینده، خ.، رومیانی، ل. و ولایت زاده، م.، ۱۳۹۷. تغییرات برخی عناصر در گیاه آبزی نی (*Phragmites australis*) تالاب ناصری در فصول بهار و پاییز. فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۱۰ (۱): صفحات ۹۴-۷۹.

خنفریان، س. و سواری، ا.، ۱۳۹۴. بررسی تأثیر 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 محیطزیست دانشگاه تهران، ۱۱ ص.

رومیانی، ل. و پاینده، خ.، ۱۳۹۶. بررسی تجمع فلزات سنگین در آب، رسوبات سطحی و چهار گونه گیاهان آبزی رودخانه کرخه. فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، ۹ (۳۳): صفحات ۸۴-۶۹.

طباطبایی، ا.، گندمکار، م.، اسکندری، ص. و طباطبایی، ا.، ۱۳۹۶. بررسی پارامترهای فیزیکوشیمیایی و فلزات سنگین خاک تالاب بند علیخان ورامین و تأثیرات زیست‌محیطی. فصلنامه مطالعات علوم محیطزیست، جلد ۲، شماره ۳، صفحات ۴۸۴-۴۷۶.

کوشافر، ا. و ولایت زاده، م.، ۱۳۹۳. مقایسه تجمع زیستی فلزات سنگین در عضله دو گونه ماهی بیاه آب شیرین (*Liza abu*) و شانک زرد باله (*Acanthopagrus latus*) رودخانه بهمنشیر در فصل تابستان. فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۶ (۲۲): صفحات ۷۲-۵۹.

کوشافر، آ.، سواری، ا.، سخایی، ن.، ارچنگی، ب. و کریمی اورگانی، ف.، ۱۳۹۷. تعیین سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه بهمن‌شیر. فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، دوره ۱۰، شماره ۲، صفحات ۵۳-۶۴.

محمد زاده، ژ.، محمدی روزبهانی، م. و بابایی نژاد ت.، ۱۳۹۷. تجمع فلزات سنگین در گیاه نی (*Phragmites australis*) و رسوبات رودخانه کارون (محدوده شهر اهواز). فصلنامه اکو بیولوژی تالاب، دوره ۱۰، شماره ۱، صفحات ۵۵-۶۴.

محمد صالحی، ا.، ولایت زاده، م.، ۱۳۹۷. فلزات سنگین کادمیوم، نیکل و روی در عضله و کبد اردک‌ماهی (Esox lucius) مصب رودخانه‌های استان مازندران و گیلان. دو فصلنامه پژوهش‌های محیطزیست، ۹ (۱۸): صفحات ۱۷۰-۱۵۷.

مرتضوی، ث. و صابری نصب، ف.، ۱۳۹۶. پهنه‌بندی غلظت و ارزیابی ریسک اکولوژیک فلزات سنگین در رسوبات تالاب میقان. فصلنامه اکو هیدرولوژی، جلد ۴، شماره ۲، صفحات ۵۴۵-۵۳۳.

مرتضوی، ث. و حاتمی منش، 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 ۱۷۲-۱۵۷.

ولایت زاده، م.، ۱۳۹۵. بررسی میزان فلزات سنگین آهن، روی و مس در عضله برخی ماهیان بومی تالاب هورالعظیم، استان خوزستان. مجله پژوهش‌های علوم و فنون دریایی، ۱۱ (۳): صفحات ۱۰۰-۸۸.

Aazami, J. and Taban, P., 2018. Monitoring of Heavy Metals in Water, Sediment and Phragmites australis of Aras River along the Iranian-Armenian Border**.** Iranian Journal of Toxicology**,** 12 (2): 1-6.

Abrahim, G. M. S. 2005. Holocene sediments of Tamaki Estuary: Characterization and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand, Ph.D. thesis, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 361 p.

Adrees, M., Ali, S., Rizwan, M., Zia-Ur-Rehman, M., Ibrahim, M., Abbas, F., Farid, M., Qayyum, M. F. and Irshad, M. K., 2015. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: A review, Ecotoxicology Environment Safety, 119: 186–197.

Ahmad, A. and Sarah, A., 2015. Human health risk assessment of heavy metals in fish species collected from catchments of former tin mining. International Journal of Research Studies in Science, Engineering and Technology, 2 (4): 9–21.

Alam, A. K. M. R., Hossain, A. B. M. E., Hoque, S. and Chowdhury, D. A., 2018. Heavy Metals in Wetland Soil of Greater Dhaka District, Bangladesh. Pollution, 4 (1): 129-141.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

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, 5 (2): 342-351.

Al-Khatib, I. A., Arafeh, G. A., Al-Qutob, M., Jodeh, S., Hasan, A. R., Jodeh, D. and van der Valk, M., 2019. Health Risk Associated with Some Trace and Some Heavy Metals Content of Harvested Rainwater in Yatta Area, Palestine. Water, 11: 238.

Amira, W. and Leghouchi, E., 2018. Assessment of heavy metal pollution in sediments and their bioaccumulation in *Phragmites australis* frome Nil river (Jijel- Algeria). Global NEST Journal, 20 (2): 226-233.

An, Q., Wu, Y. Q., Wang, J. H., and Li, Z. E., 2010. Assessment of dissolved heavy metals in the Yangtze River Estuary and its adjacent sea. Environmental Monitoring and Assessment, 164(1): 173–187.

Ananth, S., Mathivanan, V., Aravinth, S. and Sangeetha, V., 2014. Impact of Arsenic metal toxicant on biochemical changes in the grass carp, *Ctenopharyngodon idella*. International Journal of Modern Research and Reviews, 2 (2): 74-78.

Asha, P. S., Krishnakumar, P. K., Kaladharan, P., Prema, D., Diwakar, K. and Valsalaand, K.K.G., 2010. Heavy metal concentration in sea water, sediment and bivalves off Tuticorin. Journal Marine Biology Assoc. India, 52 (1): 48-54.

ASTM, 1991. Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. Philadelphia, 1390-91.

Esmaeilzadeh, M., Karbassi, A. and Moattar, F., 2016. Assessment of metal pollution in the Anzali wetland sediments using chemical portioning method and pollution indices. Acta Oceanologica Sinica, 35 (10): 28–36.

George, S., Krishnan, K. H., Thomas, S., Murugan, P. R., Mundayoor, S. and Das, M. R., 1999. Distribution of heavy metals in Kuttanad wetland ecosystem of Kerala, India. *International* Journal of *Environmental Science* and Technology, 25: 91–95.

Gurumoorthi, K. and Venkatachalapathy, R., 2016. Spatial and seasonal trend of trace metals and ecological risk assessment along Kanyakumari coastal sediments, southern India. Pollution, 2 (3): 269-287.

Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment logical approaches. Water Research, 14: 975–1001.

Harguinteguy, C. A., Cirelli, A. F. and Pignata, M. L., 2014. Heavy metal accumulation in leaves of aquatic plant Stuckenia filiformis and its relationship with sediment and water in the Suquia river (Argentina). Microchemical Journal, 114: 111–118.

Inaotombi, S. and Gupta, P. K., 2017. Fate of metals in relation to water and sediment properties in a subtropical lake in central Himalaya, India. *Archives* of *Environmental Contamination* and *Toxicology*, 72: 391–401.

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, 24: 1539-1548.

Krika, A. and Krika, F., 2018. Assessment of Heavy Metals Pollution in Water and Sediments of Djendjen River, North Eastern Algeria. Pollution, Vol. 4 (3), pp: 495-502.

Kukrer, S., 2017. Pollution, source and ecological risk assessment of trace elements in surface sediments of Lake Aktaş, NE Turkey. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 23 (7), pp: 1629-1644.

Kumar, R. N., Solanki, R. H. and Kumar, J. I. N., 2013. Seasonal variation in heavy metal contamination in water and sediments of river Sabarmati and Kharicut canal at Ahmedabad, Gujarat. Environmental Monitoring and Assessment, 185(1): 359–368.

Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O. and Zourarah. B., 2015. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon Morocco. Ecological Indicators, 48: 616-626.

Mendes, M. P., Salomao, A. L. S., Niemeyer, J. C. and Marques, M., 2017. Ecological Risk Assessment in a Tropical Wetland Contaminated with Gasoline: Tier 1. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 23 (5): 992-1007.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

Milan, M., Pauletto, M., Boffo, L., Carrer, C., Sorrentino, F., Ferrari. G., Pavan. L., Patarnello. T. and Bargelloni, L., 2015. Transcriptomic resources for environmental risk assessment: a case study in the Venice lagoon. Environmental Pollution, 197: 90-98.

Naser, H. A., 2013. Assessment and management of heavy metal pollution in the marine environment of the Arabian Gulf: A review. Marine Pollution Bulletin, 72 (1): 6–13.

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, 90: 3382–3390.

Santos-Frances, F., Martinez-Grana, A., Avila Zarz, C., Garcia Sanchez, A. and Alonso Rojo, P., 2017. Spatial Distribution of Heavy Metals and the Environmental Quality of Soil in the Northern Plateau of Spain by Geostatistical Methods. International Journal Environment Research Public Health, 14: 568.

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, 11 (2): 109-117.

Shang, Z., Ren, J. and Tao, L., 2015. Assessment of heavy metals in surface sediments from Gansu section of Yellow River, China. Environmental Monitoring and Assessment, 187 (3): 79.

Sukumaran, D., 2013. Phytoremediation of heavy metals from industrial effluent using constructed wetland technology. Applied Ecology Environment Science, 1: 92–97.

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 Chimia Acta, 719: 16-23.

Wang, Y., Feng, C., Liu, Y., Zhao, Y., Li, H. and Zhao, T. 2017. Comparative study of species sensitivity distributions based on non-parametric kernel density estimation for some transition metals. Environment Pollution, 221:343-350.

Xiao, R., Bai, J. H., Huang, L. B., Zhang, H. G., Cui, B. S. and Liu, X. H., 2013. Distribution and pollution, toxicity and risk assessment of heavy metals in sediments from urban and rural rivers of the Pearl River delta in southern China. Ecotoxicology, 22 (10): 1564–1575.

Xie, Z., Zhang, H., Zhao, X., Du, Z., Xiang, L. and Wang, W., 2016. Assessment of heavy metal contamination and wetland management in a newly created coastal natural reserve, China. Journal of Coastal Research, 32 (2): 374–386.

Yan, X., Liu, M., Zhong, J., Guo, J. and Wu, W., 2018. How Human Activities Affect Heavy Metal Contamination of Soil and Sediment in a Long-Term Reclaimed Area of the Liaohe River Delta, North China. Sustainability, 10: 338.

Zhan, S. F., Peng, S. T., Liu, C.G., Chang, Q., and Xu, J., 2010. Spatial and temporal variations of heavy metals in surface sediments in Bohai Bay, North China. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 84(4): 482–487.

Zhang, W. G., Feng, H., Chang, J. N., Qu, J. G., Xie, H. X. and Yu, L. Z., 2009. Heavy metal contamination in surface sediments of Yangtze river intertidal zone: An assessment from different indexes. Environmental Pollution, 157 (5): 1533–1543.

Zhang, R., Zhou, L., Zhang, F., Ding, Y. J., Gao, J. R., Chen, J., Yan, H. Q. and Shao, W., 2013. Heavy metal pollution and assessment in the tidal flat sediments of Haizhou Bay, China. Marine Pollution Bulletin, 74(7): 403–412.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-09-17]