

آلودگی فلزات سنگین و شاخص‌های مرتبط در تالاب شهری و توریستی عینک، رشت

چکیده

انتشار فلزات سنگین در محیط‌زیست به سبب صنعتی شدن مشکلات بزرگی در سراسر جهان به همراه داشته است و آلودگی فلزات سنگین سبب نگرانی‌های بسیار جدی به دلیل خصوصیات سرطان‌زایی، تجزیه‌ناپذیری و تجمع بیولوژیکی شده است. تالاب عینک یکی از جذاب‌ترین جاذبه‌های طبیعی استان گیلان در شهر رشت قرار دارد. در این تحقیق برای اولین بار غلظت فلزات سنگین در آن اندازه‌گیری می‌شود. عملیات نمونه‌برداری از رسوبات و آب تالاب عینک در یک مرحله در تابستان ۱۳۹۷، از ۱۲ ایستگاه انجام گرفت و فلزات نمونه‌ها پس از هضم اسیدی توسط ICP-OES اندازه‌گیری شدند. برای تعیین آلودگی از شاخص‌های زمین انباشت (Igeo)، فاکتور آلودگی (Cf)، شاخص بار آلودگی (PLI)، درجه آلایندگی (Cdeg)، شاخص ریسک (PER)، شاخص آلودگی نمره (PINemerow) و شاخص (ERM) استفاده گردید. در نمونه‌های آب غلظت منگنز در تمامی ایستگاه‌ها و غلظت آهن در ایستگاه ۳B و ۴B از حد استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست برای آشامیدن و کشاورزی بالاتر است. میزان فلزات آرسنیک، کبالت، مس، نیکل، سرب، روی، نقره، قلع و کادمیوم در نمونه‌های آب ایستگاه‌های تالاب کمتر از حد استاندارد بوده است. در نمونه‌های رسوب میانگین غلظت فلزات آرسنیک، کبالت، مس، روی و سرب در برخی ایستگاه‌ها در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر و غلظت آهن، منگنز و نیکل در مقایسه با رسوبات جهانی پایین‌تر بودند. غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی در رسوبات تالاب عینک به‌خصوص بخش سوم تالاب بیش از میانگین جهانی است. ایستگاه ۳C دارای بیشترین غلظت فلزات بوده و آلوده‌ترین ایستگاه معرفی می‌گردد که عواملی نظیر نزدیکی به کارگاه‌های صنعتی و تعمیرگاه‌ها، تخلیه فاضلاب صنعتی و شهری سبب آلودگی این تالاب به فلزات سنگین شده است.

واژگان کلیدی: تالاب عینک، رسوبات، شاخص ریسک اکولوژیک، فاکتور آلودگی،

فلزات سنگین.

مقدمه

تالاب‌ها یکی از سازنده‌ترین و آسیب‌پذیرترین اکوسیستم‌های جهان هستند که دارای تنوع زیستی مهم جانوری و گیاهی شامل گونه‌های نادر و در حال انقراض هستند (Van den Broeck et al., 2015; Wu et al., 2018). عملکرد اکوسیستم تالاب برای جوامع انسانی از جمله

فاطمه شریعتی^{۱*}

سمیه جلیلی^۲

۱ و ۲. گروه محیط‌زیست، واحد لاهیجان،
دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

*مسئول مکاتبات:

shariat_20@yahoo.com

کد مقاله: ۱۴۰۰۴۰۹۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴

این مقاله پژوهشی و برگرفته از پایان‌نامه
کارشناسی ارشد است.

ذخیره آب، کنترل فرسایش، تأمین مواد غذایی، گردشگری و ترسیب کربن به طور گسترده مشخص شده است (Fu et al., 2014; Bassi et al., 2014). امروزه فلزات سنگین به عنوان یکی از گروه های اصلی آلاینده های محیطی در اثر فرایندهای طبیعی و نیز به طور عمده در اثر فعالیت های انسانی به محیط های آبی و تالاب ها راه می یابند (Roman et al., 2018; Nahlik et al., 2019). در دهه گذشته ورود آلاینده ها با منشأ انسانی مانند فلزات سنگین به اکوسیستم های آبی به مقدار زیادی افزایش یافته است که به عنوان یک خطر جدی برای حیات محیط های آبی به شمار می آیند (Miloškovici and Simić, 2015). پساب واحدهای صنعتی، کشاورزی، حمل و نقل، مواد حاصل از سوختن سوخت های فسیلی، فعالیت های زمین-شیمیایی حوزه و معدن کاوی، فرسایش زمین، فضولات انسانی و دامی و پساب ناشی از پرورش دام، منابع اصلی انسانی تشکیل دهنده فلزات سنگین در پیکره آبی هستند (Rzetala, 2015; Rzetala, 2015; Huang et al., 2020a). اکوسیستم های آبی به طور طبیعی دریافت کننده ی نهایی این فلزات هستند. آلودگی های فلزی در سیستم آبی معمولاً هم به صورت محلول و هم به صورت معلق بوده و در نهایت ته نشین شده و توسط موجودات زنده جذب می شود (Rivera; Salamat et al., 2015). فلزات سنگین به دلیل سمیت، پایداری و عدم تجزیه زیستی یکی از گروه های اصلی و خطرناک در بین آلوده کننده ها می باشند. تجمع فلزات سنگین در محیط زیست به دلیل تأثیری که بر سلامتی انسان و حیات وحش دارد، در سال های اخیر به یک مسئله ی نگران کننده تبدیل شده است (AL-Yemni et al., 2011; Harikrishnan et al., 2017). قرار گرفتن آبریان در معرض فلزات سنگین موجب بروز علائمی از جمله اختلالات رفتاری، تولیدمثلی، گردش خون و دستگاه گوارش می شود (Sajwan and Kumar, 2008). از نتایج مهم پایداری فلزات سنگین تجمع زیستی زیاد در زنجیره غذایی می باشد، به طوری که در نتیجه این فرایند، غلظت این فلزات در موجودات آبری به ویژه ماهی ها افزایش یافته و با ورود به زنجیره غذایی موجب کاهش امنیت غذایی سایر موجودات و در نهایت انسان می گردد (Hosseini et al., 2015; Singh et al., 2017; Rajeshkumar, 2018). اختلالات عصبی، پارکینسون، آلزایمر، افسردگی، اسکیزوفرنی، انواع سرطان ها، فقر مواد مغذی و برهم خوردن تعادل هورمون ها از نتایج اثرات ورود فلزات سنگین به بدن انسان می باشد (Javansiamardi et al., 2014). در میان فلزات مورد بررسی در این تحقیق، کروم موجب ایجاد درماتیت های پوستی و تحریک غشای مخاطی، سرب باعث ایجاد اختلالات سیستم های عصبی محیطی و مرکزی، گوارشی، کلیوی و خون ساز و نیکل موجب تغییر در خون و آنزیم و افزایش فشار های روانی می گردد (AL-Shannag et al., 2015; Min et al., 2008). جیوه از راه تنفس، گوارش و نیز از طریق پوست قابل جذب می باشد، بخار جیوه به سیستم اعصاب مرکزی تمایل دارد، اما هدف اصلی Hg^{2+} کلیه ها و کبد است (Petranich et al., 2018). طیف وسیعی از اختلالات تنفسی، روانی، قلبی عروقی، معده ای روده ای، تولیدمثلی، کبدی، کلیوی، خونی، پوستی، اسکلتی-عضلانی، ایمونولوژیکی، حسی و ادراکی و ژنوتوکسیک می تواند از اثرات جیوه باشد (Turritto et al., 2018). اثر عمده جیوه بر پرندگان در ایجاد تغییراتی نظیر کوچک شدن اندازه چنگال های پرند، کم شدن زمان مراقبت از تخم و اندازه تخم، کاهش زادوولد و بالاخره طول عمر کوتاه تر برای جوجه ها است (Rajeshkumar, 2018). به دلیل اهمیت وجود فلزات سنگین در محیط های آبی و رسوبات تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور در اکوسیستم های آبی صورت گرفته است. زارع زاده و رضایی در سال ۱۳۹۳ در تحقیقی که بر روی فلزات سنگین سرب، روی و نیکل در رسوبات بستر مانگرو، خور گابریک انجام دادند، مشخص شد که رسوبات بستر مانگرو و منطقه گابریک نسبت به عناصر سرب و نیکل دارای آلودگی بود (زارع زاده و همکاران، ۱۳۹۳). نتایج دهقانی و دست افکن در سال ۱۳۹۵ بر روی آلودگی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل و مس در رسوبات تالاب بین المللی تیاب و کلاهی استان هرمزگان نشان داد بر اساس شاخص انباشت ژئوشیمیایی مولر، این تالاب در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارد (Dehghani and Dastafkan, 2016). جمشیدی و بسطامی (۲۰۱۶) غلظت فلزات سنگین در تالاب انزلی را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد غلظت فلزات نیکل، آرسنیک، کروم و مس بالاتر استاندارد حفاظت محیط زیست کانادا بود و احتمال سمیت فلزات سنگین در تالاب انزلی را ۲۱ درصد بیان نمود (Jamshidi-Zanjani and Saeedi, 2015). در تحقیقی روی اجتماع حرا در تالاب کینژو واقع در جنوب غربی چین مشخص گردید گیاهان تالابی نقش قابل توجهی در جذب و تجمع زیستی فلزات سنگین از آب دارند (Huang et al., 2020b). در مطالعه ای

روی رسوبات رودخانه زیانگ-جانگ در چین مشخص شد فلزات سنگین روی، سرب و آرسنیک بیشترین و کادمیم و کبالت کمترین غلظت را داشتند. همچنین ماده آلی و اندازه ذرات مهم‌ترین عوامل در رسوبات بوده و در رسوبات دارای مواد آلی بیشتر و حاوی ذرات ریزتر مقدار فلزات سنگین بیشتر است (Huang et al., 2020c). طی تحقیقی که Bhuyan و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی آلودگی فلزات سنگین (روی، آرسنیک، کادمیم، سرب، نیکل، آهن، کروم، جیوه، مس و منگنز) در آب‌های سطحی رودخانه‌ی مگنای بنگلادش انجام دادند، مشخص گردید تمام فلزات در آب در سطح ایمن آب آشامیدنی WHO قرار دارند (Bhuyan and Bakar, 2017). همچنین Wang و همکاران تحقیقی در سال (۲۰۱۷) بر روی فلزات سنگین موجود در خلیج لیاءودونگ در شمال شرقی چین انجام دادند که بر اساس آن برخی از ایستگاه‌ها نسبتاً به جیوه، کادمیم و آرسنیک آلوده بودند (Wang et al., 2017). Rivera و همکاران (۲۰۱۹) غلظت فلزات سنگین در آب تالاب El Yali که در کنوانسیون رامسر ثبت‌شده، در شیلی را اندازه‌گیری کردند، نتایج نشان داد غلظت سرب و مس به ترتیب ۵۶۶-۱۲۰ و ۸۰-۱۰ میلی گرم بر لیتر بود (Rivera et al., 2019).

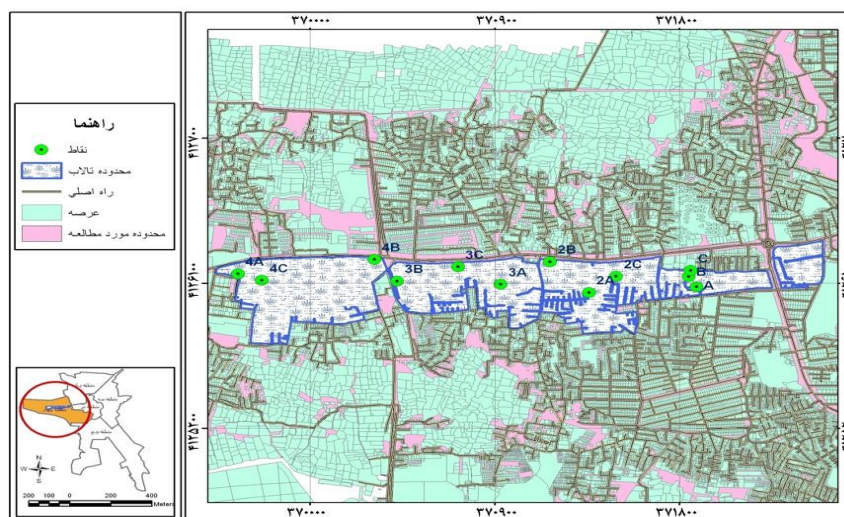
تالاب‌ها با محیط‌های آبی سالم می‌توانند خدمات اکوسیستمی متعددی فراهم کنند، بنابراین شناسایی تغییرات مکانی و زمانی توزیع فلزات سنگین در آب و رسوبات تالاب مهم است (Hong et al., 2020). تالاب عینک یکی از جذاب‌ترین جاذبه‌های طبیعی استان گیلان است که در حاشیه غربی شهر رشت واقع شده است. این تالاب، آبگیر وسیعی مشتمل بر چند آب‌بند به مساحت ۱۲۰ هکتار است و بزرگ‌ترین تالاب شهری ایران می‌باشد و با وجود آسیب‌هایی که در گذشته داشته، هنوز بهترین منبع آب‌رسانی زمین‌های کشاورزی اطراف بوده و با فعالیت هیأت قایقرانی و ماهیگیری هنوز یک تالاب مؤثر بر جمعیت است. ضمن این که این تالاب یکی از بهترین زیستگاه‌های پرند‌های مهاجر در فصل زمستان است. در تالاب عینک مقادیر زیادی ماهی کپور و ماهی آزاد پرورشی وجود دارد (Rafiei et al., 2012). متأسفانه اگرچه تالاب عینک از نظر زیست‌محیطی، امنیت غذایی، گردشگری و اقتصادی از اهمیت بالایی برخوردار است ولی تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای بر روی غلظت فلزات سنگین در این تالاب صورت نگرفته است. هدف از این پژوهش بررسی غلظت ۱۰ فلز سنگین در آب و رسوبات تالاب عینک و مقایسه با شاخص‌ها و استانداردهای جهانی جهت تعیین میزان آلودگی این تالاب به فلزات سنگین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تالاب عینک محدوده مورد مطالعه در استان گیلان و در بخش باختری شهر رشت واقع است. از شرق به تقاطع غیر هم‌سطح شهدای گمنام، از غرب به بلوار شهید افتخاری، از جنوب به پارک دانشجو و مناطق مسکونی غیرمجاز و از غرب به شرکت دخانیات رشت محدود است و شامل چهار پهنه آبی می‌باشد: پهنه آبی شماره یک: ۶/۱ هکتار، پهنه آبی شماره دو: ۹/۷ هکتار، پهنه آبی شماره سه: ۹/۵ هکتار و پهنه آبی شماره چهار: ۱۱/۲ هکتار. علاوه بر این، سه پهنه دیگر شامل پهنه خشکی پارک دانشجو (مساحت ۱/۶ هکتار)، پهنه خشکی واقع در جنوب غربی تالاب شماره ۳ (مساحت ۲/۵ هکتار) و پهنه خشکی سراسر جنوب تالاب شماره ۴ یا تالاب ولکس (مساحت ۹/۹ هکتار) می‌باشد و با احتساب ۴ پهنه آبی و ۳ پهنه خشکی مذکور مساحت تالاب عینک ۵۰/۴ هکتار می‌باشد که محیط این محدوده ۷/۴ کیلومتر است (شهرداری رشت، ۱۳۹۶).

پس از انتخاب ایستگاه‌های نمونه برداری بر مبنای بازدید میدانی و بررسی نقشه در خرداد ۱۳۹۷، در هر یک از چهار قسمت تالاب، یک نمونه آب از عمق یک متر برداشته شد (شکل ۱). برای آماده‌سازی نمونه‌های آب به منظور اندازه‌گیری فلزات، به ۲۰ میلی لیتر آب، اسید نیتریک، اسید پرکلریک و پراکسید هیدروژن اضافه شده و پس از یک ساعت نمونه آماده قرائت گردید. نمونه‌های رسوب به وسیله گراب اکمن از ۱۲ ایستگاه در عمق ۰ تا ۲۰ سانتی متری بستر برداشته شد. ابتدا نمونه‌های رسوب دانه‌بندی گردید و رسوبات با اندازه کوچکتر از ۶۳ میکرون جدا شد. برای هضم رسوبات (کوچک‌تر از ۶۳ میکرون) از روش هضم نمونه‌های رسوب با حمام شنی یا هیتر استفاده گردید. بدین منظور ابتدا ۰/۵ گرم نمونه خشک در بمب‌های تفلونی بر چسب‌دار وزن شد و به آرامی ۲/۵ میلی لیتر تیزاب سلطانی و سپس ۱۵ میلی لیتر اسید هیدروفلوریدریک غلیظ به نمونه

ها اضافه شد. پس از یک ساعت، درب بمب‌ها بسته و با حفظ آلومینیومی پوشانده و حرارت داده شد. در مرحله بعد ۶/۷۵ گرم اسید بوریک به بالن حاوی ۲۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه اضافه شد (Adebayo, 2017). غلظت فلزات نقره، آرسنیک، کادمیوم، کبالت، مس، آهن، جیوه، منگنز، نیکل، سرب، قلع و روی در نمونه‌های آماده‌شده آب و رسوب توسط دستگاه اسپکترومتری نشری پلاسمای جفت شونده القایی (ICP-OES) (Spectro, Germany) اندازه‌گیری شد. کالیبراسیون دستگاه با استفاده از استانداردهای خارجی با غلظت ۱-۵۰ ppb برای عناصر کم‌مقدار و استاندارد ۱-۵۰ ppm در غلظت‌های بالای عناصر صورت گرفت. مقدار ماده آلی رسوب (TOC) از روش اکسیداسیون ماده آلی با دی‌کرومات در محیط اسیدی اندازه‌گیری شد (Nelson and Sommers, 1982). شاخص‌های زمین انباشت (I_{geo})، فاکتور آلاینده‌گی (CF)، شاخص بار آلودگی (PLI)، درجه آلاینده‌گی (C_{deg})، شاخص ریسک (PER)، شاخص آلودگی نمر (PI_{Nemerow}) و شاخص (ERM) مطابق جدول ۱ اندازه‌گیری گردید. داده‌ها پس از گردآوری بر اساس نمونه‌برداری و نتایج آزمایشات با استفاده از نرم‌افزارهای EXCEL ۲۰۱۳ و SPSS ۲۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل ۱: نقاط نمونه برداری از آب و رسوبات تالاب عینک.

جدول ۱: شاخص‌های استفاده‌شده جهت تعیین میزان آلودگی تالاب به فلزات سنگین.

شاخص	توصیف و هدف استفاده	فرمول محاسبه	توضیحات	مقادیر حدود
شاخص زمین انباشت (I _{geo})	این شاخص برای ارزیابی آلودگی فلزات سنگین بر اساس نسبت فلز سنگین در خاک به مقدار آن در زمینه است (Hakanson, 1980).	$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1.5B_n} \right)$	C _n , غلظت اندازه-گیری شده فلز B _n , مقدار زمینه فلز در خاک	I _{geo} ≤ 0, غیر آلوده 0 < I _{geo} ≤ 1, غیر آلوده تا حدی آلوده 1 < I _{geo} ≤ 2, آلوده تا حدی آلوده 2 < I _{geo} ≤ 3, آلوده تا حدی آلوده 3 < I _{geo} ≤ 4, شدیداً آلوده 4 < I _{geo} ≤ 5, بسیار شدید آلوده I _{geo} > 5, خیلی خیلی آلوده
فاکتور آلاینده‌گی (CF)	این فاکتور آلاینده‌گی خاک سطحی را از طریق نسبت فلز در خاک به مقدار آن در زمینه ارزیابی می‌کند (Loska et al., 2004; Hakanson, 1980).	$CF = \frac{C_M}{C_{np}}$	C _M , غلظت اندازه-گیری شده فلز در خاک C _{np} , غلظت فلز پیش از انقلاب صنعتی	CF < 1, آلاینده‌گی کم 1 ≤ CF ≤ 3, آلاینده‌گی متوسط 3 ≤ CF ≤ 6, آلاینده‌گی قابل توجه CF ≥ 6, آلاینده‌گی زیاد
شاخص بار آلودگی (PLI)	با این شاخص فاکتورهای آلاینده‌گی هر فلز برای تخمین شدت آلاینده‌گی خاک از طریق میانگین هندسی محاسبه می‌شود (Liu et al., 2008).	$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \cdot CF_2 \cdot CF_3 \dots CF_n}$	CF _n , فاکتور آلاینده‌گی فلز سنگین	PLI > 1, آلوده PLI = 1, حدود زمینه آلودگی PLI < 1, غیر آلوده
درجه آلاینده‌گی (C _{deg})	این شاخص بر اساس محاسبه شاخص فاکتور آلاینده‌گی همه آلاینده‌هاست (Hakanson, 1980).	$C_{deg} = \sum_i^n C_f$	CF, فاکتور آلاینده‌گی فلز سنگین	C _{deg} < 8, درجه آلودگی کم 8 ≤ C _{deg} ≤ 16, درجه آلودگی متوسط 16 ≤ C _{deg} ≤ 32, درجه آلودگی قابل توجه C _{deg} > 32, درجه آلودگی خیلی زیاد

شاخص	توصیف و هدف استفاده	فرمول محاسبه	توضیحات	مقادیر حدود
فاکتور ریسک اکولوژیک مجزا (Er)	یک فاکتور ریسک اکولوژیک برای تعیین پتانسیل ریسک اکولوژیک آلاینده است (Hakanson, 1980)	$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i$	CF، فاکتور آلاینده‌گی فلز سنگین Tr، فاکتور پاسخ سمی برای یک ماده	Er < 40، ریسک اکولوژیک کم 40 < Er ≤ 80، متوسط 80 < Er ≤ 160، ریسک اکولوژیک چشمگیر 160 < Er ≤ 320، ریسک اکولوژیک بالا Er > 320، ریسک جدی
شاخص ریسک اکولوژیکی (PERI)	این شاخص برای ارزیابی درجه ریسک محیط زیستی فلزات سنگین در آب، هوا یا رسوب استفاده می‌شود (Kowalska et al., 2016).	$PER = \sum_{i=1}^n E_r^i$	Er ⁱ ، شاخص ریسک مجزا	PERI < 150، ریسک اکولوژیکی کم 150 < PERI < 300، متوسط 300 < PERI < 600، ریسک اکولوژیکی بالا PERI ≥ 600، بسیار زیاد
شاخص آلودگی نمرو (PINemerow)	PINemerow برای بیان درجه آلودگی رسوب استفاده می‌شود (Inengite et al., 2016).	$PI_{Nemerow} = \sqrt{\frac{\left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m P_i\right]^2 + [\max(P_i)]^2}{2}}$	Pi، شاخص آلودگی فلز سنگین Pi max، حداکثر مقدار m، تعداد فلز مورد مطالعه	PINemerow ≤ 0.7، پاک 0.7 ≤ PINemerow ≤ 1، حد هشدار 1 ≤ PINemerow ≤ 2، آلودگی اندک 2 ≤ PINemerow ≤ 3، آلودگی متوسط 3 ≤ PINemerow، آلودگی زیاد
میانگین ERM	عاملی برای تعیین تأثیر بیولوژیکی احتمالی چند فلز	$Mean\ ERM\ quotient = \sum \left(\frac{C_x}{ERM_x}\right) / n$	Cx، غلظت جز x در رسوب RM.ERMx، عنصر x n، تعداد فلزات	

نتایج

بالاترین غلظت فلز منگنز در ایستگاه ۲B برابر با ۱۱/۶ میکروگرم بر لیتر و کمترین غلظت آن مربوط به ایستگاه ۱B برابر با ۳/۸ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. برای فلز آهن بالاترین مقدار به‌دست‌آمده در ایستگاه ۳B برابر با ۱۳۴/۸ میکروگرم بر لیتر و کمترین مقدار در ایستگاه ۱B برابر با ۳/۸ میکروگرم بر لیتر می‌باشد. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود غلظت کبالت، نیکل، مس، روی، آرسنیک، نقره، قلع و سرب در تمام بخش‌ها کمتر از ۵ میکروگرم بر لیتر است. حد تشخیص فلزات ذکر شده ۵ میکروگرم بر لیتر می‌باشد که غلظت این فلزات کمتر از حد تشخیص

مشاهده گردید. غلظت کادمیوم در تمام بخش‌ها کمتر از ۱ میکروگرم بر لیتر که حد تشخیص فلز کادمیوم است، می‌باشد (جدول ۲). بالاترین غلظت جیوه در ایستگاه ۲B برابر با ۹/۴ میکروگرم بر لیتر و کمترین غلظت جیوه با مقدار کمتر از ۱ میکروگرم بر لیتر در ایستگاه ۱B مشاهده گردید.

جدول ۲: غلظت فلزات در نمونه‌های آب چهار بخش تالاب عینک (برحسب میکروگرم بر لیتر).

ایستگاه	منگنز	آهن	کبالت، نیکل، مس، روی، آرسنیک، نقره، قلع، سرب	جیوه	کادمیوم
1B	۵/۱	۳/۸	<۵	<۱	<۱
2B	۱۱/۶	۴/۶	<۵	۹/۴	<۱
3B	۸/۹	۱۳۴/۸	<۵	۷/۲	<۱
4B	۸/۸	۳۲	<۵	۵/۸	<۱

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد پایین‌ترین میزان غلظت فلز آرسنیک مربوط به ایستگاه ۱B (۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بالاترین مقدار آن در ایستگاه ۳B (۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. برای فلز کبالت پایین‌ترین غلظت مربوط به ایستگاه ۱C و ۲C (۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و بالاترین غلظت مربوط به ایستگاه ۳B (۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. برای فلز مس نیز بالاترین غلظت در ایستگاه ۳C (۲۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین غلظت در ایستگاه ۱C و ۲C (۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) به دست آمد. در مورد فلز آهن نیز بیشترین غلظت در ایستگاه ۳C (۲۹۱۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و پایین‌ترین غلظت در ایستگاه ۱C (۹۸۱۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بدست آمد. برای فلز منگنز نیز بالاترین غلظت مربوط به ایستگاه ۳A (۷۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و کم‌ترین غلظت در ایستگاه ۲B (۱۶۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. برای فلزات نیکل، سرب و روی پایین‌ترین غلظت در ایستگاه ۱C به ترتیب ۱۱، ۱۴ و ۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بالاترین غلظت نیکل در ایستگاه ۳B و بالاترین غلظت سرب و روی در ایستگاه ۳C به ترتیب ۳۲، ۸۸ و ۲۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. فلزات سنگین نقره، کادمیوم و جیوه نیز در تمام نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شد. حد تشخیص این فلزات ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و مشخص گردید که مقدار این عناصر در تمام نمونه‌های رسوب کمتر از ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. در مورد فلز قلع نیز حد تشخیص این فلز ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم است و مشخص گردید مقدار این عنصر در همه نمونه‌های رسوبات تالاب عینک کمتر از ۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

با توجه به جدول ۳ و مقایسه میانگین غلظت فلزات موردبررسی با رسوبات جهانی مشاهده شد، میانگین غلظت فلزات آرسنیک در ایستگاه‌های ۳A و ۳B در مقایسه با رسوبات جهانی بالاتر است. آهن، منگنز و نیکل در رسوبات تالاب عینک در مقایسه با رسوبات جهانی پایین‌تر بودند، از این رو رسوبات تالاب از این منظر فاقد آلودگی می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد میانگین غلظت فلز کبالت در ایستگاه‌های ۳A، ۳B، ۴A و ۴C در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بود. همچنین میانگین غلظت فلز مس در ایستگاه‌های ۱A، ۲A، ۲B، ۳A، ۳B، ۳C و ۴A و میانگین غلظت فلز روی در ایستگاه‌های ۱A، ۲A، ۲B، ۳A، ۳B، ۳C و ۴A در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بودند.

بر اساس جدول‌های ۱ و ۴، بررسی فاکتور آلودگی فلز کبالت نشان‌گر آن است که به جزء در ایستگاه‌های ۱B، ۱C، ۲C و ۳C که آلودگی کم می‌باشد، در سایر ایستگاه‌ها وضعیت این فلز آلودگی متوسط است. در خصوص عنصر مس ایستگاه‌های ۱B، ۱C، ۲A، ۲B، ۲C، ۳B و ۴C دارای آلودگی کم بوده و در ایستگاه‌های ۱A، ۳A، ۳B و ۴A آلودگی متوسط و تنها در ایستگاه ۳C وضعیت آلودگی خیلی زیاد دارد. در تمام ایستگاه‌های تالاب عینک عناصر آهن، منگنز و نیکل در رسوبات دارای وضعیت آلودگی کم می‌باشند. عنصر سرب در ایستگاه‌های ۱C و ۴C دارای وضعیت آلودگی کم و در ایستگاه ۳C دارای آلودگی زیاد می‌باشد. مقدار این عنصر در سایر ایستگاه‌ها در حد آلودگی متوسط طبقه‌بندی می‌شود. عنصر روی در ایستگاه‌های ۱B، ۱C، ۲C و ۴C در وضعیت آلودگی کم و در ایستگاه ۳C دارای آلودگی خیلی زیاد طبقه‌بندی می‌شود.

سایر ایستگاه‌ها از لحاظ این عنصر در وضعیت آلودگی متوسط قرار دارند. از لحاظ فلز آرسنیک، تنها ایستگاه‌های ۳A و ۳B دارای آلودگی متوسط بوده و در سایر ایستگاه‌ها آلودگی کم است.

بر اساس نتایج حاصل از محاسبه شاخص بار آلودگی (PLI) ایستگاه‌های ۳A و ۳C دارای بار آلودگی بالای یک می‌باشند که بر اساس طبقه‌بندی شاخص بار آلودگی در جدول ۱، دارای آلودگی متوسط می‌باشند.

در مورد شاخص درجه آلودگی (C_{deg}) نتایج جدول ۴ نشان داد ایستگاه‌های ۳A، ۳B و A4 دارای درجه آلودگی ۸-۱۶ می‌باشند. لذا با توجه به جدول ۱ و رده‌بندی شاخص درجه آلودگی، در رده‌ی آلودگی متوسط قرار دارند و ایستگاه ۳C دارای درجه‌ی آلودگی بین ۱۶-۳۲ مطابق با طبقه‌بندی شاخص درجه آلودگی در جدول ۱ در رده آلودگی زیاد قرار می‌گیرد.

جدول ۳: غلظت فلزات سنگین (برحسب mg/Kg) و درصد کربن آلی در رسوبات تالاب عینک (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه	آرسنیک	کبالت	مس	آهن	منگنز	نیکل	سرب	روی	OC
۱A	۹	۱۴	۳۶	۱۹۰۸۱	۴۳۸	۱۸	۳۴	۱۱۹	۱/۲۵
۱B	۴	۱۳	۳۰	۱۲۷۲۱	۴۳۶	۱۵	۱۹	۶۷	۰/۸۴
۱C	۷	۱۲	۲۳	۹۸۱۲	۳۱۷	۱۱	۱۴	۵۳	۰/۹۶
۲A	۹	۱۴	۳۰	۱۷۲۶۸	۴۰۵	۱۷	۲۵	۹۸	۱/۳۲
۲B	۱۰	۱۴	۳۱	۱۳۶۴۱	۱۶۶	۱۹	۲۸	۱۰۸	۱/۱۷
۲C	۷	۱۲	۲۳	۱۰۵۴۰	۲۷۸	۱۶	۲۳	۵۹	۰/۸۰
۳A	۱۴	۱۵	۸۴	۱۸۸۹۶	۷۱۹	۲۴	۳۹	۱۸	۰/۴۱
۳B	۱۵	۱۸	۴۵	۱۹۸۳۸	۵۲۱	۳۲	۳۹	۹۷	۰/۲۹
۳C	۹	۱۳	۲۶۶	۲۹۱۵۵	۲۶۴	۳۰	۸۸	۱۲۱۰	۱/۳۲
۴A	۹	۱۶	۶۴	۱۸۰۳۱	۳۶۸	۲۳	۴۰	۲۸۳	۰/۹۵
۴B	۹	۱۴	۲۹	۱۳۱۷۳	۳۳۷	۱۹	۲۴	۱۰۵	۰/۵۳
۴C	۸	۱۵	۲۶	۱۶۴۵۱	۳۵۹	۲۱	۱۷	۷۹	۰/۷۱
میانگین کل ایستگاه‌ها	۹/۱۶	۱۴/۱۶	۵۷/۲۵	۱۶۵۵۰/۶۰	۳۸۴/۰	۲۰/۴۱	۳۲/۵۰	۱۹۱/۳۳	۵۴/۶۲
انحراف استاندارد	۲/۹۴	۱/۶۹	۱۸/۲۴	۵۲۲/۸۰	۹۱/۸۰	۶/۰۶	۹/۶۰	۳۲/۷۲	۲۹/۰۰

جدول ۴: نتایج فاکتور آلودگی (CF)، شاخص شدت آلودگی (C_{deg}) و PLI ، فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های

تالاب عینک (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه	آرسنیک	کبالت	مس	آهن	منگنز	نیکل	سرب	روی	C_{deg}	PLI	Mean ERM	$PI_{Nemerow}$
۱A	۰/۶۹	۱	۱/۰۹	۰/۴۱	۰/۵۷	۰/۳۵	۱/۷۹	۱/۲۵	۷/۱۵	۰/۷۸	۰/۲۳	۱/۵۷
۱B	۰/۳۱	۰/۹۳	۰/۹۱	۰/۲۸	۰/۵۷	۰/۲۹	۱	۰/۷۱	۵/۰۰	۰/۵۵	۰/۲۲	۲/۴۵
۱C	۰/۵۴	۰/۸۶	۰/۷۰	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۲۱	۰/۷۴	۰/۵۶	۴/۲۳	۰/۴۷	۰/۱۴	۱/۱۵
۲A	۰/۶۹	۱	۰/۹۱	۰/۳۸	۰/۵۳	۰/۳۳	۱/۳۲	۱/۰۳	۶/۱۹	۰/۶۹	۰/۲۵	۱/۷۱
۲B	۰/۷۷	۱	۰/۹۴	۰/۳۰	۰/۲۲	۰/۲۷	۱/۴۷	۱/۱۴	۶/۲۱	۰/۶۴	۰/۲۳	۱/۸۸
۲C	۰/۵۴	۰/۸۶	۰/۷۰	۰/۲۳	۰/۳۶	۰/۳۱	۱/۲۱	۰/۶۲	۴/۸۳	۰/۵۳	۰/۱۶	۱/۱۹
۳A	۱/۰۸	۱/۰۷	۲/۵۵	۰/۴۱	۰/۹۳	۰/۴۶	۲/۰۵	۱/۸۹	۱۰/۴۴	۱/۰۹	۰/۳۶	۲/۴۵
۳B	۱/۱۵	۱/۳۹	۱/۳۶	۰/۴۳	۰/۶۸	۰/۶۲	۲/۰۵	۱/۰۲	۸/۶	۰/۹۶	۰/۳۱	۲/۵۰

ایستگاه	آرسنیک	کبالت	مس	آهن	منگنز	نیکل	سرب	روی	Cdeg	PLI	Mean ERM	PI _{Nemerow}
۳C	۰/۶۹	۰/۹۳	۸/۰۶	۰/۶۳	۰/۳۴	۰/۵۸	۴/۶۳	۱۲/۷۴	۲۸/۶	۱/۵۷	۰/۷۲	۴/۸۴
۴A	۰/۶۹	۱/۱۴	۱/۹۴	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۴۴	۲/۱۱	۲/۹۸	۱۰/۱۷	۰/۹۷	۰/۳۶	۲/۳۷
۴B	۰/۶۹	۱	۰/۸۸	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۳۷	۱/۲۶	۱/۱۱	۶/۰۴	۰/۶۶	۰/۲۵	۲/۴۷
۴C	۰/۶۲	۱/۰۷	۰/۷۹	۰/۳۶	۰/۴۷	۰/۴۰	۰/۸۹	۰/۸۳	۵/۴۳	۰/۶۳	۰/۲۴	۲/۲۱

همچنین مقایسه نتایج شاخص $PI_{Nemerow}$ در جدول ۴ با طبقه‌بندی این شاخص که در جدول ۱ ارائه شده است، نشان داد ایستگاه‌های ۱A، ۱C، ۲A، ۲B و ۲C دارای آلودگی اندک، ایستگاه‌های ۱B، ۳A، ۳B، ۴B و ۴C دارای آلودگی متوسط و ایستگاه ۳C دارای آلودگی زیاد بود. میانگین ERM محاسبه شده برای همه ایستگاه‌ها غیر از ۳C، کمتر از ۰/۵ بوده و بر اساس طبقه‌بندی، احتمال سمیت آن‌ها ۲۱ درصد می‌باشد، اما احتمال سمیت در ۳C، ۴۹ درصد می‌باشد.

در وضعیت آلودگی رسوبات سطحی به فلزات سنگین از طریق شاخص I_{geo} ، با توجه به جدول ۵ عنصر مس در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی متوسط تا شدید، ۳A، آلودگی متوسط و در ایستگاه ۴A و ۳B در رده‌ی غیر آلوده تا آلودگی متوسط قرار دارد و در سایر ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده قرار دارد. عنصر سرب در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی متوسط و در ایستگاه ۳A، ۳B و ۴A در رده‌ی غیر آلوده تا آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده قرار دارد. عنصر روی در ایستگاه ۴A در رده‌ی غیر آلوده تا آلودگی متوسط و در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی شدید قرار گرفته و در بقیه‌ی ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده قرار دارد.

وضعیت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از طریق شاخص E_r نشان می‌دهد از لحاظ آرسنیک ایستگاه 1B با ریسک اکولوژیک کم و ایستگاه‌های ۳A، ۳B و ۳C دارای ریسک اکولوژیک چشمگیر بوده و سایر ایستگاه‌ها ریسک اکولوژیک متوسط دارند. شاخص PER نشان داد که ریسک اکولوژیک در ایستگاه ۳C، متوسط بوده و در سایر ایستگاه‌ها کم می‌باشد (جدول ۶).

جدول ۵: نتایج شاخص I_{geo} فلزات سنگین در رسوبات ایستگاه‌های تالاب عینک (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه	آرسنیک	کبالت	مس	آهن	منگنز	نیکل	سرب	روی
۱A	۰/۳۲	۰/۶۵	۰/۱۹	۰/۸۵	۰/۴	۰/۴۱	۰/۴۲	۰/۲۵
۱B	۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۱	۰/۶۷	۰/۴۲	۰/۰۸
۱C	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۱۲	۰/۸۷	۰/۴۲
۲A	۰/۳۲	۰/۶۵	۰/۴۵	۲	۰/۵۱	۰/۴۹	۰/۰۳	۰/۵۳
۲B	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۴۰	۰/۳۴	۰/۸	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۳۹
۲C	۰/۰۴	۰/۸۷	۰/۸۳	۰/۷۱	۰/۵	۰/۵۸	۰/۱۵	۰/۲۶
۳A	۰/۹۶	۰/۵۵	۱/۰۴	۰/۸۷	۰/۶۸	۰/۰۰	۰/۶۱	۰/۹۸
۳B	۱/۰۶	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۸	۰/۱۵	۰/۵۸	۰/۶۱	۰/۵۵
۳C	۰/۳۲	۰/۴۵	۲/۷۰	۰/۲۴	۰/۱۳	۰/۶۷	۱/۷۹	۳/۱۰
۴A	۰/۳۲	۰/۴۵	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۶۵	۰/۰۶	۰/۶۵	۱/۰۰
۴B	۰/۳۲	۰/۶۵	۰/۵۰	۰/۳۹	۰/۷۸	۰/۳۳	۰/۰۹	۰/۴۳
۴C	۰/۱۵	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۰۷	۰/۶۹	۰/۱۹	۰/۵۸	۰/۸۴

جدول ۶: وضعیت آلودگی رسوبات به فلزات سنگین از طریق شاخص ریسک اکولوژیک مجزا (E_r) و تجمعی (PER) (سال ۱۳۹۷).

ایستگاه	آرسنیک	کبالت	مس	نیکل	سرب	روی	PER
۱A	۶۹	۵/۰۰	۵/۴۵	۲/۱۰	۱۰/۷۴	۱/۲۵	۹۳/۵۴
۱B	۳۱	۴/۶۵	۴/۵۵	۱/۷۴	۶	۰/۷۱	۴۸/۶۵
۱C	۵۴	۴/۳۰	۳/۵۰	۱/۲۶	۴/۴۴	۰/۵۶	۶۸/۰۶
۲A	۶۹	۵/۰۰	۴/۵۵	۱/۹۸	۷/۹۲	۱/۰۳	۸۹/۴۸
۲B	۷۷	۵/۰۰	۴/۷۰	۲/۲۲	۸/۸۲	۱/۱۴	۹۸/۸۸
۲C	۵۴	۴/۳۰	۳/۵۰	۱/۸۶	۷/۲۶	۰/۶۲	۷۱/۵۴
۳A	۱۰۸	۵/۳۵	۱۲/۷۵	۲/۷۶	۱۲/۳۰	۱/۸۹	۱۴۳/۰۵
۳B	۱۱۶	۶/۹۵	۶/۸۰	۳/۷۲	۱۲/۳۰	۱/۰۲	۱۴۶/۷۹
۳C	۱۱۹	۴/۶۵	۴۰/۳۰	۳/۴۸	۲۷/۷۸	۱۲/۷۴	۲۰۷/۹۵
۴A	۶۹	۵/۷۰	۹/۷۰	۲/۶۴	۱۲/۶۶	۲/۹۸	۱۰۲/۶۸
۴B	۶۹	۵/۰۰	۴/۴۰	۲/۲۲	۷/۵۶	۱/۱۱	۸۹/۲۹
۴C	۶۲	۵/۳۵	۳/۹۵	۲/۴۰	۵/۳۴	۰/۸۳	۷۹/۸۷

بحث و نتیجه گیری

یکی از عمده ترین آلاینده های محیط زیست فلزات سنگین است که پایداری آن ها در محیط زیست مشکلات زیادی را به وجود آورده است. یکی از نتایج مهم پایداری آن ها، تجمع زیستی در طول زنجیره غذایی است (Giachetti and Sebastiani, 2006; Di Natale et al., 2006).

فلزات آهن، منگنز، کبالت، نیکل، مس، روی، آرسنیک، نقره، کادمیوم، قلع، جیوه و سرب در نمونه های آب در ۴ ایستگاه از تالاب اندازه گیری شد. بالاترین غلظت فلز منگنز در ایستگاه ۲B برابر با ۱۱/۶ میکروگرم بر لیتر می باشد. بالا بودن غلظت فلز منگنز در ایستگاه ۲B می تواند به دلیل تجمع بیش از اندازه لاستیک ماشین و زباله های خانگی باشد و همچنین در این ایستگاه اسکله ای برای ماهیگیری نیز وجود دارد. ایستگاه ۲B در مجاورت اماکن تجاری قرار دارد که فاضلاب های خود را بدون هیچ تصفیه ای وارد این قسمت از تالاب می کنند. حداکثر غلظت فلز منگنز بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط برای آشامیدن، ۰/۴ میکروگرم بر لیتر و برای استفاده ی کشاورزی ۲ میکروگرم بر لیتر است (جدول ۷). برای فلز آهن بالاترین مقدار به دست آمده در ایستگاه ۴B برابر با ۳۲ میکروگرم بر لیتر می باشد. بالا بودن مقدار آهن در این ایستگاه احتمالاً به دلیل آب سد سنگر که حاوی آب های سطحی و فاضلاب می باشد، است که از اواخر اردیبهشت ماه به این قسمت از تالاب می ریزد. حداکثر غلظت فلز آهن بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای آشامیدن ۰/۳ میکروگرم بر لیتر و برای کشاورزی ۵ میکروگرم بر لیتر است. بیشترین غلظت جیوه در ایستگاه ۲B برابر با ۹/۴ میکروگرم بر لیتر مشاهده گردید. حداکثر غلظت مجاز جیوه بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست برای آب آبیاری ۰/۰۰۲ میکروگرم بر لیتر می باشد که بر این اساس غلظت جیوه در ایستگاه ۲B بالاتر از استاندارد بوده و می تواند عامل نگران کننده ای باشد (جدول ۷).

میزان فلزات سنگین کبالت، نیکل، مس، سرب، روی، آرسنیک، نقره و قلع در نمونه های آب ایستگاه های تالاب عینک کمتر از ۵ میکروگرم بر لیتر مشاهده گردید. همچنین در تمامی ایستگاه ها میزان فلز کادمیوم نیز کمتر از ۱ میکروگرم بر لیتر گزارش شد.

جدول ۷: حد مجاز عناصر در آب آشامیدنی و آبیاری.

عنصر	آشامیدن (میکروگرم بر لیتر) (سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی، ۱۳۸۸)	آبیاری و کشاورزی (میکروگرم بر لیتر) (Ayers and Westcot, 1994)
کبالت	-	۰/۰۱
نیکل	-	۰/۳۰
سرب	۰/۰۱	-
روی	۳	۰/۲۰
آرسنیک	-	۰/۱۰
کادمیوم	۰/۰۰۳	۰/۱۰
جیوه	۰/۰۰۶	۰/۰۰۲
منگنز	۰/۴	۰/۲
آهن	۰/۳	۵

مقدار عناصر در نمونه‌های اندازه‌گیری شده کمتر از حد مجاز مربوطه است و بنابراین خطری تالاب را تهدید نمی‌کند و نگرانی از این جهت وجود ندارد.

در تحقیقی که رجایی و همکاران در سال ۱۳۹۱ بر روی میزان فلزات سنگین روی، سرب، کروم، کادمیوم در آب و رسوب خلیج فارس و مصب رودخانه‌ی گرگان رود انجام دادند، در بین فلزات مطالعه شده فلز سرب بیشترین مقدار را در آب داشت. همچنین مقایسه‌ی نتایج با حد مجاز آن‌ها در آب نشان داد که میزان کروم، کادمیوم و سرب در زمان انجام تحقیق بیشتر از حد مجاز WHO است (Rajaei et al., 2012)، ولی در این تحقیق مشاهده گردید مقدار این عناصر در آب از حد مجاز کمتر می‌باشد. میانگین غلظت عناصر سرب، روی و کروم در آب رودخانه شاوور شهرستان شوش در استان خوزستان به ترتیب ۲۴، ۸۸ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر گزارش شده است (بارونی نجف آباد و همکاران، ۱۳۹۲) که از مقادیر مشاهده شده در تحقیق حاضر بیشتر می‌باشد. در تحقیقی که شهبازی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی و مطالعه‌ی برخی از فلزات سنگین در آب و رسوبات سطحی تالاب امیرکلاویه در سال ۱۳۹۱ انجام دادند، نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلزات مس، سرب، کادمیوم و روی در آب به ترتیب ۰/۳۹۴، ۰/۰۳، ۰/۰۱۱ و ۰/۵۱۷ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (Shahbazi et al., 2017) که مقایسه آن با تحقیق حاضر نشان می‌دهد مقدار عناصر مس، سرب، کادمیم و روی در آب تالاب امیرکلاویه بیشتر از آب تالاب عینک می‌باشد.

براساس مشاهدات عینی در تالاب عینک میزان تخلیه فاضلاب انسانی و صنعتی زیاد بوده و احتمالاً سبب بالا رفتن فلزات سنگین در برخی نقاط آن شده است. همچنین فعالیت‌های مرتبط با تعمیر و نگهداری شناورهای درون تالاب مانند تعمیر و نقاشی بدنه قایق‌ها، سوخت‌گیری و تعویض روغن‌موتور مسبب افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط این تالاب است. رنگ‌هایی که جهت پوشش بخش آب‌خور شناورها برای محافظت در برابر جانداران خورنده مانند جلبک‌ها هستند و دور ریختن روغن‌موتور که مدت‌زمان زیادی در اصطکاک با قطعات فلزی موتور قایق‌ها بوده است، نیز می‌تواند یکی از منابع مهم آلودگی در این مناطق می‌باشد.

طبق بررسی‌های میدانی، زباله‌های خانگی از عوارض مهم در بخش اولیه تالاب می‌باشد زیرا به دلیل نزدیکی بیشتر به رفت‌وآمد مردم و خانه‌های مسکونی، امکان آلودگی توسط شیرابه زباله‌ها بیشتر می‌باشد. در بخش سوم تالاب، آب تالاب در حاشیه کمی تیره‌رنگ و کم‌عمق بوده، تجمع زباله‌ها بیشترین عارضه مشاهده شده در این بخش تالاب می‌باشد. در این بخش از تالاب به دلیل وجود مکان‌های تجاری به‌خصوص تعمیرگاه‌های اتومبیل آلودگی‌های مختلف روغنی در آب مشهود بود. همچنین این بخش از تالاب دارای ورودی‌های فاضلاب زیادی است که این ورودی‌ها شامل آب سطحی، فاضلاب‌های خانگی و فاضلاب‌های مکان‌های تجاری و ورودی فاضلاب تعویض‌روغنی اتومبیل می‌باشد. در بخش

چهارم تالاب زباله‌های خانگی و شهری مشاهده نگردید و این بخش از تالاب بسیار تمیز بود که از دلایل آن می‌توان به فعالیت‌های مؤثر شهرداری منطقه و همچنین کمتر بودن منازل مسکونی و تجاری در حاشیه این قسمت از تالاب اشاره کرد.

بر اساس یافته‌های جدول ۳ مشاهده گردید کمترین و بیشترین غلظت فلز آرسنیک به ترتیب مربوط به ایستگاه ۱B (۴ میکروگرم بر کیلوگرم) و ایستگاه ۳B (۱۵ میکروگرم بر کیلوگرم) بود. منشأ اصلی آرسنیک فرسایش شیمیایی سنگ‌ها است (Mamindy-pajany et al., 2013). با این حال فعالیت‌های کشاورزی، به‌خصوص استفاده از کودها و قارچ‌کش‌های استفاده‌شده در مزارع برنج را می‌توان به‌عنوان منشأ آرسنیک موجود در رسوبات مطرح کرد. غلظت فلز آرسنیک در ایستگاه‌های ۳B و ۳A در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بود. بررسی فاکتور آلودگی و مقایسه آن با جدول ۱ نشان می‌دهد که فلز آرسنیک در ایستگاه‌های ۳A و ۳B در رده‌ی آلودگی متوسط قرار دارد و در سایر ایستگاه‌ها در رده‌ی آلودگی کم می‌باشد.

غلظت فلز کبالت در ایستگاه‌های ۳A، ۳B، ۴A و ۴C در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بود. فلز کبالت در ایستگاه‌های ۱B، ۱C، ۲C و ۳C در رده‌ی آلودگی کم و در سایر ایستگاه‌ها، در رده‌ی آلودگی متوسط قرار دارد. ورود مقدار زیادی از کبالت به داخل بدن می‌تواند بیماری برونشیت حاد ایجاد کند. در اثر تماس این عنصر با پوست دست بیماری‌های پوستی به وجود می‌آید. موسسه‌ی بین‌المللی تحقیقات سرطان این عنصر را سرطان‌زای احتمالی معرفی کرده است (World Health Organization, 2006).

غلظت فلز مس در ایستگاه‌های ۱A، ۳A، ۳B، ۳C و ۴A در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بود. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی CF در خصوص عنصر مس ایستگاه‌های ۱B، ۱C، ۲A، ۲B، ۲C، ۴B و ۴C در رده‌ی آلودگی کم و تنها در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی خیلی زیاد قرار دارد. غلظت بالای عنصر مس در ایستگاه مذکور احتمالاً به دلیل پساب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری که پساب خود را بدون تصفیه وارد این قسمت از تالاب می‌کنند، است. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی Igeo عنصر مس در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی متوسط تا شدید قرار دارد و در سایر ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده است. استفاده از کودهای کشاورزی می‌تواند یکی دیگر از دلایل بالا بودن غلظت مس در این ایستگاه باشد. همچنین غلظت بالای مس در ایستگاه فوق می‌تواند ناشی از خوردگی و زنگ‌زدگی بدنه‌ی قایق و ضدزنگ‌های استفاده‌شده جهت تعمیر ماشین نیز باشد، زیرا ترکیبات مس به‌عنوان رنگ‌دانه در صنایع رنگرزی و به‌عنوان عوامل ضد رسوب در رنگ‌های دریایی استفاده می‌شود (Ramelow et al., 1992). فاضلاب این صنایع بدون انجام هیچ‌گونه تصفیه‌ای به‌طور مستقیم وارد تالاب می‌شود.

غلظت نیکل در رسوبات احتمالاً ناشی از منابع انسانی است. این منابع می‌تواند شامل فاضلاب‌های شهری و صنعتی و همچنین به علت سوزاندن مواد زائد و پساب بیمارستانی باشد. غلظت فلزات سنگین آهن، منگنز و نیکل در رسوبات تالاب عینک در مقایسه با رسوبات جهانی پایین‌تر بودند، از این‌رو رسوبات تالاب از این منظر آلودگی ندارند. عناصر آهن، منگنز و نیکل در تمام رسوبات ایستگاه‌های تالاب عینک دارای وضعیت آلودگی کم می‌باشند. بیشترین غلظت فلز سرب در ایستگاه ۳C مشاهده شد که در مجاورت تعمیرگاه ماشین و مکانیکی می‌باشد. از آنجایی که روزانه تعداد زیادی ماشین برای رنگ‌آمیزی و تعمیر به این منطقه آمده و توقف می‌کنند، در نتیجه رنگ‌آمیزی ممکن است مقدار زیادی از این فلزات وارد آب‌شده و غلظت این فلزات در رسوبات افزایش پیدا کند. علاوه بر این سرب یکی از فلزات اصلی تشکیل‌دهنده‌ی بنزین شناورها و قایق‌ها نیز می‌باشد و به دلیل تردد و توقف زیاد این وسایل، مقدار زیادی از پساب ناشی از این سوختن وارد محیط می‌شود. سرب در فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و خانگی یکی از عوامل اصلی آلاینده محسوب می‌شود و غلظت‌های بالای سرب ممکن است به علت ورودی‌های انسانی و فاضلاب‌های ناشی از ورودی آب تالاب به محیط باشد (بهبودی و طهماسبی‌نژاد، ۱۳۹۵). لذا با توجه به بالا بودن میزان فلز سرب نسبت به استاندارد جهانی احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که منبع ورودی از این آلاینده‌ها از طریق فاضلاب‌های صنعتی، فاضلاب انسانی، شستشوی قایق‌ها و رنگ‌های مورد استفاده در قایق‌ها که حاوی فلز سرب است به محیط وجود دارد و در نتیجه پتانسیل ایجاد خطر در منطقه مورد مطالعه را دارند. غلظت فلز سرب در ایستگاه‌های ۱A، ۲A، ۲B، ۲C، ۳A، ۳B، ۳C، ۴A و ۴B در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بود. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی CF عناصر سرب و روی در ایستگاه ۳C دارای آلودگی زیاد می‌باشند و در سایر ایستگاه‌ها در حد آلودگی متوسط طبقه‌بندی

می‌شود. غلظت بالای عنصر فوق در ایستگاه ۳C احتمالاً به دلیل وجود مکان‌های تجاری و همچنین تعمیرگاه‌های اتومبیل می‌باشد. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی I_{geo} عنصر سرب در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی متوسط و در سایر ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده قرار دارد.

فلز ضروری روی بعد از آهن بیشترین غلظت را در رسوبات تالاب عینک در ایستگاه ۳C دارد. البته میزان طبیعی این عنصر در رسوبات جهانی نیز بالا است. احتمالاً بالا بودن مقدار روی به دلیل ورود پساب ناشی از فعالیت کشاورزی، صنایع و فاضلاب خانگی به تالاب است. غلظت فلز روی در ایستگاه‌های ۱A، ۲A، ۳A، ۳B، ۳C، ۴A و ۴B در مقایسه با استاندارد رسوبات جهانی بالاتر بودند. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی I_{geo} عنصر روی در ایستگاه ۳C در رده‌ی آلودگی شدید قرار می‌گیرد و در بقیه‌ی ایستگاه‌ها در رده‌ی کاملاً غیر آلوده قرار دارد. در بخش‌هایی از تالاب که در معرض آلودگی بیشتری قرار دارند، مقادیر بیشتری از فلزات مس، سرب و روی نشان داده‌شده است. می‌توان این‌گونه استنتاج کرد که فلزات مس، سرب و روی با احتمال بیشتری از منابع انسان‌ساخت سرچشمه می‌گیرند.

فلزات سنگین نقره، کادمیوم و جیوه نیز در نمونه‌های رسوب اندازه‌گیری شد. حد تشخیص فلزات ذکر شده ppm ۱ است و مشخص گردید که مقدار این عناصر در تمام نمونه‌های رسوب برداشت‌شده از تالاب کمتر از ppm ۱ می‌باشد. مقادیر کادمیوم در رسوبات تمام ایستگاه‌ها، بسیار کم‌تر از سایر فلزات اندازه‌گیری شد که نشان می‌دهد احتمالاً در حال حاضر ورودی این فلز به تالاب وجود ندارد. حد تشخیص فلز قلع نیز ppm ۵ بود و مشخص گردید که مقدار آن در تمام نمونه‌های رسوب کمتر از ppm ۵ بود.

در مطالعه‌ی دهقانی و دست افکن (۱۳۹۵) نشان داده‌شده است حداقل و حداکثر غلظت فلزات اندازه‌گیری‌شده در رسوبات تالاب بین‌المللی تیاب و کلاهی بدین ترتیب اندازه‌گیری شد: (۶۲-۱۳) Pb، (۱۰۹/۸۱-۱۷۶/۸۳) Ni و (۱۸/۵۰-۳۵/۶۵) Cu میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب که مقایسه آن با تحقیق حاضر نشان‌گر آن است که مقدار فلز نیکل در رسوبات تالاب عینک کمتر از تالاب تیاب و کلاهی بوده، اما مقدار مس و سرب در همان حدود و کمی بیش از آن می‌باشد (Dehghani and Dastafkan, 2016). علت آن را می‌توان به نزدیک بودن تالاب عینک به تعمیرگاه‌ها و صنایع که سبب افزایش فلزات سنگین در تالاب عینک شده‌اند و نیز استفاده از رنگ‌های ضد موجودات مزاحم حاوی روی و مس در روی بدنه شناورها نسبت داد (Denton and Bearden, 2001). فلزاتی مانند سرب در رنگ‌های تزئینی استفاده می‌شود (Siegel, 2002) که استفاده از این رنگ‌ها در بدنه و قطعات داخلی شناورها کاربرد دارد.

ربانی و همکاران (۱۳۸۶) مقدار غلظت نیکل در رسوبات منطقه عملیاتی عسلویه را حدود ppm ۲۷/۲ گزارش کرده است. عبداللهی در سال ۱۳۸۸ با مطالعه‌ی غلظت کادمیوم در رسوبات منطقه بندر امام خمینی میزان کادمیوم را در رسوبات این منطقه زیر حد تشخیص دستگاه گزارش نمود (عبداللهی مامودان و همکاران، ۱۳۹۱). در تحقیقی که وصالی ناصح و همکاران در سال ۱۳۹۶ بر روی نمونه‌های آب و رسوبات تالاب انزلی انجام دادند، نتایج سنجش میزان فلزات سنگین حاکی از غلظت بالای فلزات به‌خصوص در نمونه‌های رسوب بود. این مقادیر برای سرب، نیکل، کروم، وانادیوم و جیوه ۱۹/۵، ۶۰/۱، ۹۰/۱، ۹۹/۳ و ۲/۸ میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک رسوب مشاهده گردید که مقایسه آن با تحقیق حاضر نشان می‌دهد مقدار فلز سرب در رسوبات تالاب عینک بیشتر از تالاب انزلی بوده، اما مقدار نیکل و جیوه در تالاب انزلی بیش‌تر بوده است (Vesali Naseh, 2017). نتایج تحقیقات Kische و Machiwa در دریاچه ویکتوریا نشان داد مقدار سرب ۲۹/۶، مس ۳۸/۶ و نیکل ۴۴/۷ ppm بوده است که مقایسه‌ی آن با تحقیق حاضر نشان می‌دهد که مقدار عناصر سرب، مس و نیکل در رسوبات تالاب عینک بیشتر از دریاچه ویکتوریا می‌باشد (Kische and Machiwa, 2003). در مطالعه انجام‌شده توسط Morillo و همکاران نشان داده‌شده است میانگین غلظت فلزات سنگین مس، سرب، روی، نیکل و کبالت در خلیج گواتر بیش از زمینه طبیعی منطقه بوده و نشان‌دهنده منشأ متفاوت آن‌هاست (Morillo, 2004).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده بخش چهارم تالاب عینک از لحاظ فلزات سنگین در آب و رسوب پاکیزه‌ترین بخش و بخش سوم تالاب آلوده‌ترین می‌باشد. وجود برخی فلزات در ایستگاه ۳C نسبت به سایر ایستگاه‌ها بیشتر بوده و دلیل آن احتمالاً به دلیل فاضلاب‌های صنعتی و فاضلاب‌های شهری که پساب خود را بدون تصفیه وارد این قسمت از تالاب می‌کنند و می‌تواند ناشی از خوردگی و زنگ‌زدگی بدنه‌ی قایق و ضدزنگ‌های

استفاده شده جهت تعمیر ماشین نیز باشد که در مجاورت تعمیرگاه ماشین و مکانیکی است. از آنجایی که روزانه تعداد زیادی ماشین برای رنگ آمیزی و تعمیرات به این منطقه می آیند، در نتیجه رنگ آمیزی ممکن است مقدار زیادی از این فلزات را وارد آب نموده و غلظت این فلزات در رسوبات افزایش پیدا کند و همچنین مکان های تجاری فاضلاب های خود را بدون تصفیه وارد این بخش از تالاب می کنند. فاضلاب های صنعتی و شهری به طور عمده از کارگاه های آبکاری الکتریکی کوچک، مغازه های تعمیر و نگهداری، بیمارستان ها و آزمایشگاه های پزشکی و علمی و رواناب های سطحی شهری ناشی می شوند. بر اساس شاخص فاکتور آلودگی PLI ایستگاه های ۳A و ۳C در دهی آلودگی متوسط قرار داشته و سایر ایستگاه ها در وضعیت عدم آلودگی قرار دارند و بر اساس شاخص فاکتور آلودگی C_{deg} ، ایستگاه ۳C دارای درجه ی آلودگی زیاد بوده و درجه ی آلودگی سایر ایستگاه ها کم می باشد.

منابع متنوع فلزات سنگین اعم از طبیعی و انسانی در تالاب عینک این محیط را به محلی حائز اهمیت جهت انجام مطالعات زیست محیطی و بررسی اثرات متقابل فرایندهای طبیعی و فعالیت های انسانی در رفتار ژئوشیمیایی عناصر آلاینده بدل نموده است. فاضلاب های صنعتی و انسانی ورودی به تالاب و قایق های موجود در آن به عنوان منشأ مهم بسیاری از فلزات سنگین مانند کروم، سرب، روی، مس و نیکل محسوب می گردد. رسوب شناسی بستر تالاب میزان زیاد مواد آلی حاصل از فعالیت های انسانی، ظرفیت نگهداشت و جذب فلزات سنگین در این محل را افزایش داده است که لزوم مطالعات بیشتر بر اثرات این فلزات بر روی این بوم سامانه را نمایان می سازد. اندازه گیری و تعیین غلظت عناصر در رسوبات تالابی نشان می دهد که غلظت فلزات سنگین مس، سرب و روی در رسوبات تالاب عینک به خصوص بخش سوم تالاب بیش از میانگین جهانی است. بخش سوم تالاب دارای غلظت بیشتری از فلزات بوده و آلوده ترین ایستگاه معرفی می گردد. عامل اصلی آلودگی در این منطقه به فعالیت انسانی نسبت داده می شود، این ایستگاه در مجاورت تعمیرگاه ماشین و مکانیکی قرار دارد که همه روزه تعداد زیادی ماشین آلات و ماشین برای تعمیر و رنگ کاری در این ایستگاه متوقف می شوند. علاوه بر این سرب یکی از فلزات اصلی تشکیل دهنده ی بنزین شناورها و قایق ها نیز می باشد و به دلیل تردد و توقف زیاد این وسایل، مقدار زیادی از پساب ناشی از این سوختن وارد محیط می شود. افزایش فعالیت انسانی و صنعتی و پساب های حاصل از سوخت باعث تولید رسوبات حاوی آلاینده های کشاورزی و شهری و از سوی دیگر باعث ورود فلزات سنگین به این تالاب می شود. این تالاب از لحاظ آلودگی به پایش منظم نیاز دارد؛ بنابراین با توجه به ارزش این تالاب و عوامل تهدید کننده موجود، حفظ و نگهداری آن ضروری است.

منابع

- بارونی نجف آباد، ف.، معانی جو، م. و خدابخش، س.، ۱۳۹۲. ارزیابی غلظت فلزات سنگین (روی، سرب، کرم) در آب رودخانه شاوور، شوش، استان خوزستان. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، صفحه ۳۳۷.
- بهبودی، م. و طهماسبی نژاد، ه.، ۱۳۹۵. ارزیابی فلزات سنگین آب رودخانه کرخه در منطقه کرخه نور، شهرستان هویزه، اولین کنفرانس بین المللی مخاطرات طبیعی و بحران های زیست محیطی ایران، راهکارها و چالش ها، اردیبل. ۱۲ ص.
- دهقانی، م. و دست افکن، س.، ۱۳۹۵. ارزیابی شاخص های آلودگی فلزات سنگین در رسوبات تالاب بین المللی تیاب و کلاهی استان هرمزگان. نشریه علمی بوم شناسی آبزیان، ۶(۱): صفحات ۹۲-۸۲.
- ربانی، م.، جعفرآبادی آشتیانی، ا. و مهرداد شریف، ا. ع.، ۱۳۸۶. اندازه گیری فلزات سنگین سرب، نیکل و جیوه در آب و رسوب در خلیج فارس منطقه عملیاتی عسلویه. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۹(۳)، ۳۱-۲۳.
- رجایی، ق.، حسن پور، م. و مهدی نژاد، ه.، ۱۳۹۱. بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگان رود. تحقیقات نظام سلامت، ۱(۵): صفحات ۷۵۶-۷۴۸.
- زارع زاده، ر.، رضایی، پ. و مسیحی، ح.، ۱۳۹۲. بررسی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات بستر جنگل های مانگرو، منطقه گابریک شهرستان جاسک، کنفرانس علوم کشاورزی و محیط زیست، شیراز. ۵ ص.

- شهبازی، ع.، سفیانیان، ع. و میر غفاری، ن.، ۱۳۹۹. بررسی اثرات فعالیت‌های کشاورزی بر تجمع فلزات کادمیوم، کبالت و کروم در خاک. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۲۲ (۸): صفحات ۲۴۰-۲۴۹.
- شهرداری رشت، ۱۳۹۶. طرح مطالعه و راه‌اندازی مرکز آموزش محیط‌زیست تالاب عینک.
- عبدالهی مامودان، س.، سواری، ا.، نیک‌پور، ی. و زارع دوست، م.، ۱۳۹۱. پایش زمانی و مکانی فلزات سرب و جیوه در بافت نرم بارناکل و رسوبات اسکله‌های بندر امام خمینی (ره) در طی دو فصل سرد و گرم، نهمین همایش بین‌المللی مهندسی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی، تهران.
- سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ۱۳۸۸. آب آشامیدنی- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، ۱۰۵۳، سازمان ملی استاندارد ایران.
- Adebayo, I. A., 2017. Determination of Heavy Metals in Water, Fish and Sediment from Ureje Water Reservoir. Journal of Environmental and Analytical Toxicology, 7(4): 486.
- AL-Shannag, M., AL-Qodah, Z., Bani-melhem, K., Qtaishat, M. R. and Alkasrawi, M., 2015. Heavy metal ions removal from metal plating wastewater using electrocoagulation: Kinetic study and process performance. Chemical Engering Journal, 260: 749-756.
- AL-Yemni, M. N., Sher, H., EL-Sheikh, M. A. and Eid, E. M., 2011. Bioaccumulation of nutrient and heavy metals by Calotropis procera and Citrullus colocynthis and their potential use as contamination indicators. Scientific Research and Essays, 6: 966-976.
- Ayers R. S. and Westcot D. W., 1994. Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization. 29Rev 1.
- Bassi, N., Kumar, M. D., Sharma, A. and Pardha-Saradhi, P., 2014. Status of wetlands in India: a review of extent, ecosystem benefits, threats and management strategies. Journal of Hydrology Regional Studies, 2: 1-19.
- Bhuyan, M. S. and Bakar, M. A., 2017. Seasonal variation of heavy metals in water and sediments in the Halda River, Chittagong, Bangladesh. Environ Sci Pollut Res Int, 24(35): 27587-27600. DOI: 10.1007/s11356-017-0204-y.
- Denton, G. R., Bearden, B., Concepcion, L., Siegrist, H., Vann, D. and Wood, H., 2001. Contaminant assessment of surface sediments from Tanapag Lagoon, Saipan. Water and Environmental Research Institute of the Western Pacific (WERI) Technical Report.
- Di Natale, F., Lancia, A., Molino, A., Di Natale, M., Karatza, D. and Musmarra, D., 2006. Capture of mercury ions by natural and industrial materials. Journal of hazard mater, 132: 220-225.
- Fu, B., Pollino, C. A., Cuddy, S. M. and Andrews, F., 2015. Assessing climate change impacts on wetlands in a flow regulated catchment: a case study in the Macquarie Marshes. Australia J Environ Manag, 157: 127-138.
- Giachetti, G. and Sebastiani, L., 2006. Metal accumulation in poplar plant grown with industrial wastes. Chemosphere, 64: 446-454.
- Harikrishnan, N., Ravisankar, R., Suresh Gandhi, M., Kanagasabapathy, K. V., Prasad, M. V. R. and Satapathy, K. K., 2017. Heavy metal assessment in sediments of east coast of Tamil Nadu using energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy. Radiation Protect and Environment, 40 (1): 21-26.
- Hosseini, M., Amiri, A. M. D., Sahafi, H. H., Baniamam, M. and Lakzaei, F., 2015. Distribution of heavy metals in (Fe, Hg, Ni and Pb) sediment and blue crab, *Portunus pelagicus* from four estuaries, Persian Gulf, 44 (7): 1035-1042.
- Hong, Z., Zhao, Q., Chang, J., Peng, L., Wang, Sh., Hong, Y., Liu, G. and Ding, Sh. 2020. Evaluation of Water Quality and Heavy Metals in Wetlands along the Yellow River in Henan Province. Sustainability, 12: 1300. <http://dx.doi.org/10.3390/su12041300>
- Huang, L., Rad, S., Xu L., Gui, L., Song, L., Li, L., Wu, Z. and Chen, Z., 2020a. Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in Huixian Wetland, South China. Water, 12: 431. <http://dx.doi.org/10.3390/w12020431>
- Huang, X., Wang, X., Li, X., Yan, Z. and Sun, Y., 2020b. Occurrence and transfer of heavy metals in sediments and plants of *Aegiceras corniculatum* community in the Qinzhou Bay, southwestern China. Acta Oceanologica Sinica, 39 (2): 79-88. <https://doi.org/10.1007/s13131-020-1555-7>
- Huang, Z., Liu, Ch., Zhao, X., Dong, J. and Zheng, B., 2020c. Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. Environmental Science Europe, 32: 23. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00305-w>

- Inengite, A. K., Abasi, C. Y. and Walter, C., 2015.** Application of pollution indices for the assessment of heavy metal pollution in flood impacted soil. *International Research Journal of Pure and Applied Chemistry*, 8: 175-189.
- Jamshidi-Zanjani, A., Saeedi, M. and Li, L. Y., 2015.** A risk assessment index for bioavailability of metals in sediments: Anzali international wetland case study. *Environmental Earth Science*, 73: 2115-2126.
- Javansiamardi, S., Rezaeikahkha, M. R., Safaeimoghaddam, A. and Noori, R., 2014.** Survey of Heavy Metals Concentration (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) in Farmland Soils of Sistan Central Part. *Journal of Environmental Health Engineering*, 2: 46-53.
- Kaur, J., Chaudhary, A. and Kaur, R., 2014.** Assessment of mutagenic, genotoxic, and cytotoxic potential of water samples of Harike wetland: a Ramsar site in India using different ex vivo biological system. *Ecotoxicology*, 23: 967-977.
- Kishe, M. and Machiwa, J., 2003.** Distribution of heavy metals in sediments of Mwanza Gulf of Lake Victoria, Tanzania. *Environment International*, 28: 619-625.
- Kowalska, J., Mazurek, R., Gašiorek, M., Setlak, M., Zaleski, T. and Waroszewski, J., 2016.** Soil pollution indices conditioned by medieval metallurgical activity—A case study from Krakow (Poland). *Environ Poll* 218, 1023-1036.
- Le, Q.D., Shirai, K., Nguyen, D. C., Miyazaki, N. and Arai, T., 2009.** Heavy metals in a tropical eel *Anguilla marmorata* from the central part of Vietnam. *Water air soil pol.*, 204(1): 69-78.
- Liu, W. H., Zhao, J. Z., Ouyang, Z. Y., Söderlund, L. and Liu, G. H., 2005.** Impacts of sewage irrigation on heavy metal distribution and contamination in Beijing, China. *Environment International*, 31(6): 805-812.
- Loska, K., Wiechula, D. and Korus, I., 2004.** Metal contamination of farming soils affected by industry. *Environ International*, 30(2), 159-165.
- Mamindy-pajany, Y., Hurel, C., Geret, F., Galgani, F., Battaglia-brunet, F., Marmier, N. and Romeo, M., 2013.** Arsenic in marine sediments from French Mediterranean ports: geochemical partitioning, bioavailability and ecotoxicology. *Chemosphere*, 90: 2730-2736.
- Miloškov, A. and Simić, 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 Environmental Studies*, 24 (1): 199-206.
- Min, J. Y., Min, K. B., Kim, R., Cho, S. I. and Paek, D., 2008.** Blood lead levels and increased bronchial responsiveness. *Biol Trace Elem Research*, 123: 41-46.
- Morillo, J., Usero, J. and Gracia, I., 2004.** Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere*, 55: 431-442.
- Muller, G. 1969.** Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* 2, 108-118.
- Hakanson, L. 1980.** An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research*, 14(8): 975-1001.
- Nahlik, A. M., Blocksom, K. A., Herlihy, A.T., Kentula, M. E., Magee, T. K. and Paulsen, S. G., 2019.** Use of national-scale data to examine human-mediated additions of heavy metals to wetland soils of the US, *Environmental Monitoring and Assessment* 191(Suppl 1), 336. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7315-5>
- Nelson, D. and Sommers, L. E., 1982.** Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page AL et al (eds) *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties*, 2nd edn. ASA, SSSA, Madison, WI., 539-579.
- Petranich, E., Luca, T., Covelli, S., Acquavita, A. and Pavoni, E., 2018.** Importance of a tidal flat-saltmarsh system as a source-sink of mercury in a contaminated coastal lagoon environment (northern Adriatic Sea). SETAC Europe 28th Annual Meeting. SETAC Europe Office, 1-2.
- Rafiei, B., Ardebili, L., Sadeghifar, M. and Khodaparast Sharifi, H., 2012.** Distribution of metals (Cu, Zn, Pb, and Cd) in sediment of the Anzali Lagoon, North Iran. *Soil Sediment Contam*, 21: 768-787. DOI: 10.1080/15320383.2012.678953
- Rajeshkumar, S. and Li, X. 2018.** Bioaccumulation of heavy metals in fish species from the Meiliang Bay, Taihu Lake, China. *Toxicology Reports*, 5: 288-295.

- Ramelow, G. J., Biven, S. L., Zhang, Y., Beck, J. N., Young, J. C., Callahan, J. D. and Marcon, M. F., 1992.** The identification of point sources of heavy metals in an industrially impacted waterway by periyton and surface sediment monitoring. *Water, Air and Soil Pollution*, 65: 175-190
- Rivera, C., Quiroga, E., Mezad, V. and Pastenec, M., 2019.** Evaluation of water quality and heavy metal concentrations in the RAMSAR Wetland El Yali. *Marine Pollution Bulletin*, 145: 499-507.
- Roman, M., Rendal, S., Fernandez, E. and Mendez, G., 2018.** Seasonal variability of the carbon and nitrogen isotopic signature in a *Zosteranoltai* meadow at the NW Iberian Peninsula. *Wetlands*, 38: 739-753.
<https://doi.org/10.1007/s13157-018-1019-4>.
- Rzetala, M., 2015.** Assessment of toxic metal contamination of bottom sediments in water bodies in urban areas. *Soil Sediment Contam*, 24(1): 49-63.
- Sajwan, K. S., Kumar, K. S., Paramasivam, S., Compton, S. S. and Richardson, J. P., 2008.** Elemental status in sediment and American oyster collected from Savannah marsh/estuarine ecosystem: A preliminary assessment. *Archives eof Environmental Contamination And Toxicology*, 54: 245-258.
- Salamat, N., Movahedinia, A. A., Deylami, E. E. and Mohammadi, Y., 2015.** Pike (*Esox Lucius*) Bioindicator of heavy metal pollution in Anzali wetland. *Water Qual Expo Health*, 7: 251-254.
- Siegel, F. R., 2002.** Environmental geochemistry of potentially toxic metals, Springer.
- Singh, N., Kaur, M. and Katnoria, J. K., 2017.** Spatial and temporal heavy metal distribution and surface water characterization of Kanjli Wetland (a Ramsar site), India using different indices. *Bull Environ Contam Toxicol*, 99: 735-742. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2194-3>.
- Turritto, A., Acquavita, A., Bezzi, A., Covelli, S., Fontolan, G., Petranich, E., Piani, R. and Pillon, S., 2018.** Suspended particulate mercury associated with tidal fluxes in a lagoon environment impacted by cinnabar mining activity (northern Adriatic Sea). *J Environ Sci-China*. 68: 100-113.
- Van den Broeck, M., Waterkeyn, A., Rhazi, L., Grillas, P. and Brendonck, L., 2015.** Assessing the ecological integrity of endorheic wetlands, with focus on Mediterranean temporary ponds. *Ecol Indic* 54, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.016>.
- Vukovic, D., Stankovic, S., Vukovic, Z. and Ksenija, J. K., 2014.** Transport and storage of heavy metals in the Sava River Basin in Serbia. *Journal of Serbian Chemical Society*, 79 (3): 379-387.
- Vesali Naseh, M. R., 2017.** Evaluation of heavy metal pollution in Anzali Wetland sediments and sedimentation rate. *Water Resour Manag* 1, 1: 13-26.
- Wang, J., Ye, S., Laws, E. A., Yuan, H., Ding, X. and Zhao, G., 2017.** Surface sediment properties and heavy metal pollution assessment in the Shallow Sea Wetland of the Liaodong Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 120: 347-354.
- World Health Organization, 2006.** International Agency for Research on Cancer, IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans (Volume 86). Cobalt in hard metals and cobalt sulfate, gallium arsenide, indium phosphide and vanadium pentoxide, Lyon, France.
- Wu, W., Yang, Z., Tian, B., Huang, Y., Zhou, Y. and Zhan, T., 2018.** Impacts of coastal reclamation on wetlands: loss, resilience, and sustainable management. *Estuar Coast Shelf Sci*. 210: 153-161.

