شاخص‌های آلودگی فلزات سنگین کادمیوم و نیکل خاک های ساحلی تالاب شادگان

ابتسام حمید[۱]، خوشناز پاینده[۲*]

۱. گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲. گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
*نویسنده مسئول: Payandeh426@gmail.com

چکیده

نیکل و کادمیوم جزء فلزات سنگین می باشند که می توانند سبب بیماری زایی و مسمومیت انسان شوند. در این تحقیق نمونه برداری از خاک تالاب شادگان از دو منطقه دارای پوشش گیاهی و بودن پوشش گیاهی شامل سایت A و سایت B در دو فصل تابستان و زمستان سال های ۹۸-۱۳۹۷با ۳ تکرار انجام شد. میزان فلز کادمیوم در خاک‌های ساحلی تالاب شادگان در فصل تابستان بالاتر از فصل زمستان به دست آمد. مقادیر فلز نیکل در فصل تابستان و زمستان (به ترتیب ۱/۵۸ و ۱/۷۴ میلی گرم بر کیلوگرم) در مقایسه با میزان این فلز در میانگین جهانی، شیل و پوسته زمین بسیار پایین تر می باشد. میزان کادمیوم خاک در فصل تابستان (۰/۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر از فصل زمستان (۰/۱۷ میلی گرم بر کیلوگرم) بود. میزان کادمیوم خاک‌های ساحلی تالاب شادگان بالاتر از حد طبیعی بود. فاکتور آلودگی فلز کادمیوم در فصل تابستان در همه ایستگاه های مورد مطالعه ۱/۵۳۳ بود. بالاترین فاکتور آلودگی فلز نیکل ۰/۰۱۹ در فصل تابستان در منطقه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. به طور کلی میانگین کل فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و نیکل به ترتیب ۰/۸۱۸ و ۰/۰۱۲ محاسبه شد. فاکتور آلودگی برای نیکل کمتر از ۱ به دست آمد که نشان دهنده آلودگی کم این فلزات در خاک بود، اما مقادیر فاکتور آلودگی کادمیوم در ایستگاه سوم به دست آمد که نشان از آلودگی زیاد این عنصر داشت. فاکتور غنی شدگی سطوح آلودگی کم را برای فلز نیکل نشان داد که به نظر می رسد فعالیت های زمین شناسی و طبیعی موجود در منطقه سبب انباشت این فلزات بوده است. فلز کادمیوم غنی شدگی قابل توجه در خاک داشت که نشان از انسان‌زاد بودن مقادیر این فلز در خاک های ساحلی تالاب شادگان را داشت.

واژگان کلیدی: تالاب شادگان، نیکل، کادمیوم، ریسک اکولوژیک، فاکتور غنی شدگی

مقدمه

فلزات سنگین به عنوان یکی از آلودگی‌های محیط‌زیست هستند که به طور گسترده و متفاوت مقادیر آن‌ها گزارش شده است (An et al., 2010; Arik and Yaldiz, 2010) و مسمومیت فلزات سنگین در انسان، جانوران و گیاهان در مطالعات متعدد بررسی و اثبات شده است (Naser, 2013; Xiao et al., 2013; Bai et al., 2015). همچنین در گزارشات دیگری محققان دریافتند که فلزات سنگین می‌توانند به رسوبات موجود در آب‌ها منتقل شوند که باعث افزایش احتمال خطر زیست‌محیطی و مسمومیت موجودات آبزی و آبزیان می‌شود (Wang et al., 2010; Kumar et al., 2013). مقدار بسیار کمی از برخی از فلزات سنگین مانند مس، روی، آهن و منیزیم برای همه موجودات زنده ضروری است، اما مقدار زیادی از آن‌ها می‌توانند سبب مسمومیت کشنده موجودات زنده شوند (Kunze et al., 2002). برخی از گونه های گیاهی قادر به جذب مقدار زیادی فلزات سنگین از خاک و آب می‌باشند، در نتیجه با مصرف گیاهان آلوده، فلزات سنگین وارد بدن انسان می‌شوند (Kabata-Pendias and Pendias, 2011). سیستم ایمنی بدن تا جایی که امکان داشته باشد، سعی می کند فلزات سنگین را از طریق تعریق، ادرار و مدفوع دفع کند، اما انواعی از این فلزات سریعتر از آنکه بدن بتواند آن‌ها را دفع کند در بافت‌ها رسوب کرده و آثار سوء خود را برجای می‌گذارند (Jitar et al., 2015; Keller et al., 2015). خاصیت تجمع‌پذیری فلزات سنگین در گیاهان و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی خطرات ناشی از آن‌ها را دو چندان می‌کند. با رشد صنعت و افزایش مصرف مواد شیمیایی ورود آن‌ها در آب، خاک و هوا و آلوده شدن محیط احتمال رویارویی انسان با خطرات ناشی از آن‌ها بیشتر شده است (Hajar et al., 2014; Ali et al., 2015).

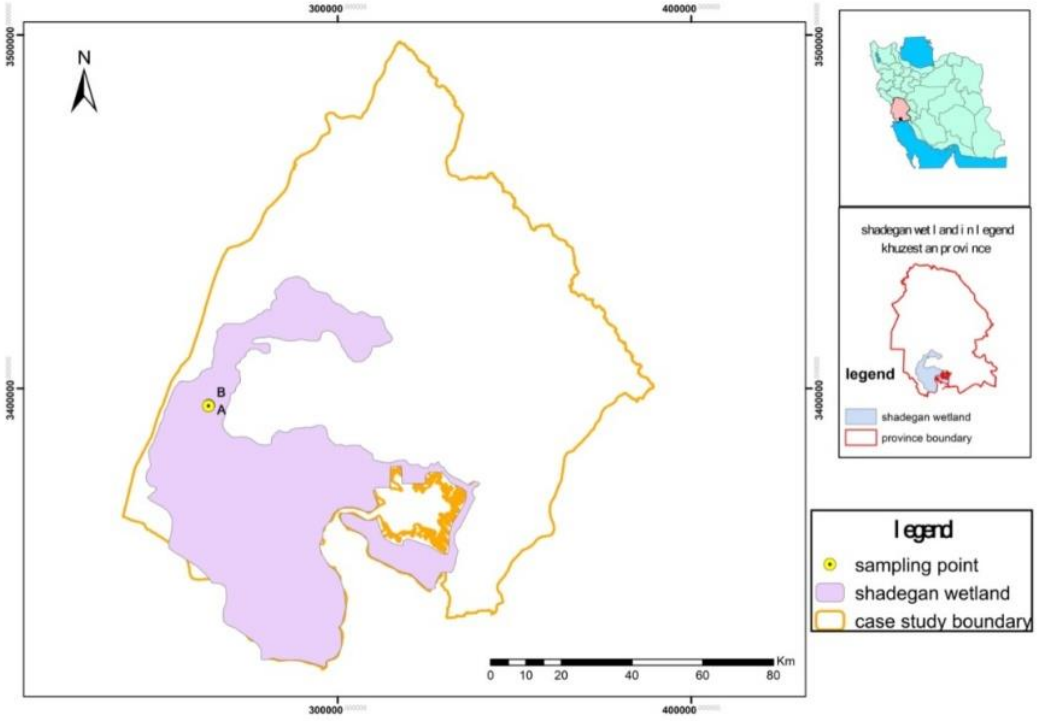
کادمیوم یک فلز بسیار سمی است که عامل یکسری مرگ و میرها می باشد. بیماری جدی ناشی از آن در انسان بیماری به نام ایتایی ـ ایتایی (بیماری روماتیسم یا تغییر شکل دردناک اسکلتی) می باشد (Godt et al., 2006; Huang et al., 2020). اثرات اصلی سمیت کادمیوم بر روی ریه ها، کلیه ها، استخوان ها می باشد. اثرات حاد ناشی از استنشاق آن شامل برونشیت، ذات الریه و مسمومیت در کبد است (Song et al., 2017). استنشاق مزمن ترکیبات کادمیوم به شکل بخارات یا گرد و خاک، ایجاد ورم ریوی می کند که در این حالت کیسه‌های کوچک هوایی بزرگ شده و عاقبت در اثر حجم کم ریه تخریب می شوند. هر دو استنشاق مزمن و جذب کادمیوم از طریق دهان، ترشحات کلیه را تحت تاثیر قرار می دهد که در اولین مرحله دفع پروتئین توسط لوله های پروکسیمال کلیه می باشد (Chen et al., 2018; Li et al., 2019). کادمیوم معمولاً به طور طبیعی در آب‌های سطحی و زیر زمینی وجود دارد. این عنصر ممکن است به‌صورت یون هیدراته یا ترکیبات پیچیده معدنی مانند کربنات، هیدروکسید، کلرید، سولفات و همچنین ترکیبات آلی همراه با اسید هیومیک یافت شود (Vollmann et al., 2015). کادمیوم از طریق فرسایش خاک و سنگ بستر، رسوبات آلوده اتمسفری ناشی از کارخانجات صنعتی، پساب مناطق آلوده و استفاده از لجن و کوددر کشاورزی وارد اکوسیستم های آبی می شود (Liu et al., 2019; Huang et al., 2020). نیکل به طورگسترده در بیوسفر وجود دارد و از نظر فراوانی در پوسته زمین بیست و چهارمین عنصرنسبت به عناصر دیگر می باشد (Javed et al., 2018). علاوه بر این نیکل یکی از عمومی ترین فلزات در آب های سطحی می باشد. نیکل ممکن است در رسوبات از طریق ته نشینی، کمپلکس سازی، جذب روی ذرات رس ته‌نشین یا ذخیره شود و یا به‌وسیله موجودات زنده جذب گردد (Clemens and Ma, 2016; Linhua and Songbao, 2019). به دلیل فعالیت های میکروبی یا تغییر در پارامترهای فیزیکی و شیمیایی شامل اسیدیته، قدرت یونی و غلظت ذرات، ممکن است فرایندهای جذب را معکوس کند، ممکن است آزادسازی نیکل از رسوبات رخ دهد. بر اساس علائم متعددی که در اثر کمبود نیکل ایجاد می شود (بیشتر در مهره داران خاکی) و نقش ضروری آن در آنزیم های متنوع در باکتری ها و گیاهان، ضروری بودن نیکل مورد قبول قرار گرفته است. ضرورت نیکل در سیانوباکترها، جلبک‌ها و گیاهان آبی مربوط به نقش نیکل در متابولیسم اوره آزو هیدروژناز می باشد (Ai et al., 2014; Qiu et al., 2018). مقادیر کم نیکل برای تولید سلول های قرمز خون در بدن انسان نیاز می باشد، هر چند در مقادیر بالا تا حدودی می تواند سمی باشد (Kim et al., 2004). به‌نظر می‌رسد نیکل در کوتاه مدت مشکلاتی ایجاد نمی کند، اما در طولانی مدت می تواند باعث کاهش وزن بدن، صدماتی به قلب، کبد، تحریک و حساسیت بالا شود. نیکل می تواند در آبزیان تجمع یابد، اما حضور آن در طول زنجیره غذایی بزرگنمایی ایجاد نمی کند (Yang et al., 2001; Dorak and Celik, 2020).

بررسی و ارزیابی زیستی تالاب شادگان سطح ضعیف کیفی را گزارش کرد که نقش ورود فاضلاب‌ها را در افزایش بار آلودگی‌های آلی به تالاب و افزایش روند آلودگی تالاب را نشان می‌دهد که لزوم در نظرگرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و مدیریت هماهنگ درکاهش آلودگی‌های آلی را طلب می‌کند. ورود پساب های صنایع فولاد و نیشکر و پساب های شهری و روستایی به تالاب سبب افزایش بار آلودگی شده است (محمدی روزبهانی و همکاران، ۱۳۹۲)، اما در مطالعه دیگری آلودگی سرب، کروم، روی و کادمیوم در رسوبات تالاب شادگان پایین تر از حد مجاز استاندارد سازمان بهداشت جهانی تعیین شده است و بر اساس شاخص های فاکتور آلودگی و درجه آلودگی در دو فصل تابستان و زمستان آلودگی سطح پایین گزارش شده است که به نظر می رسد فصل تاثیری در انباشت فلزات سنگین در رسوبات نداشته است (خنفریان و سواری، ۱۳۹۴). تالاب شادگان یکی از تالاب های خاص و منحصربه فرد استان خوزستان می باشد که دارای تنوع جانوری و گیاهی ویژه ای است. همچنین از خاص‌ترین اکوسیستم‌های آبی با مزایای مختلف محسوب می‌شود. حیات وحش و طبیعت آنها توسط انواع آلاینده‌ها مانند زباله‌های صنعتی و شهری تهدید می‌شود. مطالعاتی درمورد فلزات سنگین آب، رسوبات، گیاهان و موجودات آبزی تالاب شادگان انجام شده است. به نظر می‌رسد بهتر است مطالعه در مقیاس زمانی بزرگ و طولانی انجام شود تا روند آلودگی فلزات سنگین در خاک های اطراف تالاب ارزیابی شود. بنابراین با توجه به اینکه نیکل و کادمیوم می توانند در خاک تحرک داشته باشند و وارد بدن موجودات زنده نظیر گیاهان شوند، این تحقیق با هدف بررسی و اندازه گیری فلزات سنگین نیکل و کادمیوم در خاک های خط ساحلی تالاب شادگان در خاک های دو منطقه دارای پوشش گیاهی و بدون پوشش گیاهی انجام شد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب شادگان در جنوب غربی ایران و جنوب جلگه خوزستان حد فاصل شهرستان‌های شادگان، آبادان، ماهشهر در طول و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۰ دقیقه و ۳۰ درجه و ۱۷ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۵۸ دقیقه قرار دارد. نمونه برداری از خاک تالاب شادگان از دو منطقه متفاوت شامل سایت A و سایت B در دو فصل تابستان و زمستان سال های ۹۸-۱۳۹۷با ۳ تکرار انجام شد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی نمونه برداری از خاک تالاب شادگان

نمونه برداری

نمونه‌برداری خاک با استفاده از استاندارد American Society for Testing and Materials شماره D2488 تا عمق ۴۵ سانتیمتری بستر و در هر ایستگاه (سایت A و سایت B) با ۳ تکرار در دو فصل تابستان و زمستان انجام شد. نمونه‌های خاک در سه عمق ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۴۵-۳۰ سانتیمتری برداشت شدند و درون پلاستیک‌های زیپ دار در کنار یخ به آزمایشگاه منتقل شدند (ASTM, 1991). به دلیل ناهمگن (هتروژن) بودن محیط خاک، انتخاب صرفا یک نقطه در یک سایت یا ایستگاه نمونه‌برداری در عرصه‌های طبیعی که بسیار متغیر بوده و تحت تاثیر فاکتورهای محیطی هستند، سبب کاهش دقت و افزایش واریانس بین تکرارهای یک تیمار یا ایستگاه خواهد شد. به همین دلیل نمونه‌برداری مثلثی یا مربع و ترکیب نمونه‌های برداشت شده برای ایجاد یک نمونه شاخص که نمایانگر مساحت ۱ تا ۱۰ متر مربع است انجام گردید. همچنین با توجه به اینکه نمونه‌برداری از خاک‌های ساحلی مرطوب صورت می گیرد (خط ساحلی)، افزایش دمای هوا در فصل تابستان و افزایش تبخیر آب از سطح تالاب ممکن باعث کاهش سطح آب در حد چند سانتیمتر و خشک شدن محل نمونه‌برداری قبلی در فصل زمستان شود، بنابراین با توجه به استراتژی نمونه‌برداری از خاک‌های هیدریک، نمونه‌برداری با فاصله چند سانتیمتر با محل قبلی نزدیک به سطح آب و به صورت استراتژی نمونه‌برداری مثلثی انجام شد که خطای حاصله را به حداقل کاهش دهد.

سنجش نیکل و کادمیوم

برای هضم شیمیایی نمونه های خاک از روش خشک استفاده شد، نمونه ها در بشر پلی اتیلنی قرار گرفت و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک و اسید فلوئوریدریک به میزان ۷ سی سی، نمونه ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتیگراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شد. پس از سرد شدن نمونه ها، به هر یک ۷ سی سی اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه گردید و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه ها و با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن ها و حرارت ملایم، محلولی کاملا شفاف به دست آمد. کلیه نمونه ها توسط اسید کلریدریک یک نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی سی رسانده و سپس به دستگاه تزریق شدند (USEPA, 1996). جهت تعیین فلزات سنگین نیکل و کادمیوم از دستگاه ICP-OES مدل Varian 710-ES استفاده گردید (Sakan et al., 2009).

شاخص های آلودگی خاک

ارزیابی آلودگی عناصر سنگین در خاک های ساحلی تالاب شادگان از فاکتور آلودگی (CF) استفاده شد که در این رابطه (۱) C_n غلظت هر عنصر در رسوب و C_o متوسط غلظت هر عنصر در شیل بود (Hakanson 1980).

رابطه ۱: $$CF = C_o \div C_n$$

در این مطالعه برای ارزیابی خطر اکولوژیک (Ecological Risk) و شاخص پتانسیل خطر محیط زیستی (RI) خاک های ساحلی تالاب شادگان از روش ارائه شده توسط هاکانسون (۱۹۸۰) به کمک رابطه ۲ استفاده شد (Hakanson, 1980):

رابطه ۲: $$Er = TR \times CF$$

در این رابطه CF فاکتور آلودگی، Er ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می دهد. هاکانسون (۱۹۸۰) مقدار TR را که نرخ سمیت فلزات سنگین است برای نیکل و کادمیوم ۵ و ۳۰ تعریف کرده است. تعیین فاکتور غنی شدگی سطح آلودگی فلزات در خاک را نشان می دهد و شاخص مفیدی برای جدا کردن منابع طبیعی و انسانی فلزات از یکدیگر می باشد. برای محاسبه فاکتور غنی شدگی در این مطالعه از عنصر آهن برای جداسازی مولفه انسانی از طبیعی استفاده شد. فاکتور غنی شدگی برای هر فلز از نسبت بین عنصر نرمالیزه کننده به مقدار زمینه عناصر، طبق رابطه ۳ محاسبه شد (Chabukdhara and Nema, 2012):

رابطه ۳: $$EF = (Metal / Fe)_{Sample} \div (Metal / Fe)_{Background}$$

تجزیه و تحلیل داده ها

برای آنالیز آماری و بررسی اختلاف میانگین‌ها در تیمارهای مختلف از نرم‌افزار SPSS 24 و از آزمون t استفاده شد. نرم افزار Excel جهت رسم نمودارها و جداول استفاده خواهد شد. برای مقایسه و یافتن اختلاف معنی دار در گروه های در نظر گرفته شده از آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA)، آنالیز واریانس دو طرفه استفاده شد.

نتایج

غلظت فلزات نیکل و کادمیوم بر اساس عمق

در فصل زمستان بالاترین میزان کادمیوم در خاک ۰/۱۷ میلی گرم در کیلوگرم در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری بود و پایین ترین میزان این فلز در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری خاک ۰/۰۰۴ میلی گرم در کیلوگرم مشاهده شد. بالاترین و پایین ترین میزان نیکل به ترتیب در عمق های ۳-۱۵ و ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک ۱/۷۴ و ۰/۲ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد. در فصل تابستان دامنه مقادیر فلز کادمیوم در عمق های مختلف مورد مطالعه خاک ۰/۴۶-۰/۴۷ میلی گرم در کیلوگرم بود. بالاترین میزان نیکل در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک ۱/۵۸ میلی گرم در کیلوگرم و پایین ترین میزان این فلز در عمق ۴۵-۳۰ سانتیمتری ۰/۷۲ میلی گرم در کیلوگرم به دست آمد (جدول ۱).

جدول ۱. غلظت فلزات کادمیوم و نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم) در عمق های مختلف خاک‌های ساحلی تالاب شادگان

ناحیه	ایستگاه	عمق (cm)	زمستان		تابستان	
			کادمیوم	نیکل	کادمیوم	نیکل
بدون پوشش گیاهی	اول	۰-۱۵	۰/۰۱	۰/۶۳	۰/۴۶	۰/۸۳
		۱۵-۳۰	۰/۰۲	۱/۳	۰/۴۷	۰/۷۵
		۳۰-۴۵	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۴۶	۰/۷۹
	دوم	۰-۱۵	۰/۰۶	۰/۸۹	۰/۴۶	۰/۷۶
		۱۵-۳۰	۰/۰۰۸	۱/۷	۰/۴۶	۰/۸۸
		۳۰-۴۵	۰/۰۳	۱/۳	۰/۴۶	۰/۸۶
	سوم	۰-۱۵	۰/۰۹	۰/۸۴	۰/۴۷	۱/۲۱
		۱۵-۳۰	۰/۰۵	۱/۲	۰/۴۷	۱/۵۸
		۳۰-۴۵	۰/۰۰۸	۱/۲	۰/۴۶	۱/۲۳
دارای پوشش گیاهی	اول	۰-۱۵	۰/۰۳	۰/۶۷	۰/۴۶	۱
		۱۵-۳۰	۰/۰۰۶	۱/۷۴	۰/۴۶	۱/۰۸
		۳۰-۴۵	۰/۰۲	۱/۷۱	۰/۴۶	۰/۷۳
	دوم	۰-۱۵	۰/۰۰۹	۰/۲	۰/۴۷	۰/۷۳
		۱۵-۳۰	۰/۰۱	۰/۵	۰/۴۶	۰/۷۵
		۳۰-۴۵	۰/۰۱	۰/۲۹	۰/۴۶	۰/۷۲
	سوم	۰-۱۵	۰/۰۰۴	۰/۹۸	۰/۴۷	۰/۸۵
		۱۵-۳۰	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۴۶	۰/۹۴
		۳۰-۴۵	۰/۰۵	۰/۴۸	۰/۴۷	۱/۲۱

مقایسه غلظت فلزات نیکل و کادمیوم

در فصل زمستان نیکل و کادمیوم نیز در تمامی ایستگاه های مورد مطالعه اختلاف معنی داری مشاهده نشد ($P>0.05$)، اما کادمیوم در ایستگاه های دارای پوشش گیاهی اختلاف معنی داری داشتند ($P<0.05$). بالاترین میزان نیکل در ایستگاه دوم بدون پوشش گیاهی و بالاترین میزان کادمیوم در ایستگاه سوم بدون پوشش گیاهی به بود. پایین ترین میزان کادمیوم و نیکل در ایستگاه دوم منطقه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. در فصل تابستان میزان نیکل در برخی ایستگاه های مورد مطالعه بدون پوشش گیاهی و دارای پوشش گیاهی اختلاف معنی داری داشتند ($P<0.05$)، اما میزان کادمیوم در ایستگاه های بدون

پوشش گیاهی و دارای پوشش گیاهی اختلاف معنی داری داشتند (P>0.05). میزان کادمیوم در همه ایستگاه های مورد مطالعه ۰/۴۶ میلی گرم بر کیلوگرم بود. بالاترین و پایین ترین میزان نیکل به ترتیب در ایستگاه سوم منطقه بدون پوشش گیاهی و ایستگاه دوم ناحیه بدون پوشش گیاهی به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. مقایسه میانگین فلزات سنگین کادمیوم و نیکل (میلی‌گرم در کیلوگرم) خاک‌های ساحلی تالاب شادگان

فصول	فلزات سنگین	بدون پوشش گیاهی			دارای پوشش گیاهی		
		ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم
زمستان	کادمیوم	۰/۰۳±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۳±۰/۰۰۱^{a}	۰/۰۴±۰/۰۰۲^{a}	۰/۰۱±۰/۰۰۲^{b}	۰/۰۰۹±۰/۰۰۱^{c}	۰/۰۷±۰/۰۰۲^{d}
	نیکل	۰/۷۲±۰/۰۴^{a}	۱/۲۹±۰/۰۲^{b}	۱/۰۸±۰/۰۵^{c}	۱/۲۱±۰/۰۵^{b}	۰/۳۳±۰/۰۱^{d}	۰/۷۷±۰/۰۳^{a}
تابستان	کادمیوم	۰/۴۶±۰/۰۰۱^{a}	۰/۴۶±۰/۰۰^{a}	۰/۴۶±۰/۰۰۱^{a}	۰/۴۶±۰/۰۰^{a}	۰/۴۶±۰/۰۰۱^{a}	۰/۴۶±۰/۰۰۱^{a}
	نیکل	۰/۷۹±۰/۰۵^{a}	۰/۸۳±۰/۰۳^{b}	۱/۳۴±۰/۲۲^{c}	۰/۹۳±۰/۰۲^{d}	۰/۷۳±۰/۰۴^{a}	۱±۰/۱۲^{e}

حروف متفاوت در هر ردیف اختلاف معنی دار را در سطح ۵ درصد نشان می دهد (P<0.05).

بررسی شاخص‌های آلودگی خاک

فاکتور آلودگی فلز کادمیوم در فصل تابستان در همه ایستگاه های مورد مطالعه ۱/۵۳۳ بود. بالاترین فاکتور آلودگی فلز نیکل ۰/۰۱۹ در فصل تابستان در منطقه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. به طور کلی میانگین کل فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و نیکل به ترتیب ۰/۸۱۸ و ۰/۰۱۲ محاسبه شد. بالاترین میزان فاکتور غنی شدگی فلز کادمیوم ۷/۰۰۱ بود و بالاترین شاخص غنی شدگی فلز نیکل در فصل تابستان در ایستگاه سوم ناحیه بدون پوشش گیاهی ۰/۰۹۰ به دست آمد. پایین ترین میزان این شاخص برای فلز نیکل ۰/۰۲۲ در فصل زمستان ایستگاه دوم ناحیه دارای پوشش گیاهی مشاهده شد. میانگین کل میزان فاکتور غنی شدگی فلزات کادمیوم و نیکل به ترتیب ۳/۷۴۰ و ۰/۰۶۱ به دست آمد. بالاترین میزان ریسک اکولوژیک فلز کادمیوم در فصل تابستان ۴۵/۹۹ بود. پایین میزان نیکل در ایستگاه سوم در فصل زمستان در ناحیه دارای پوشش گیاهی به ترتیب ۰/۰۲ بود. پایین ترین میزان کادمیوم نیز در فصل زمستان در ناحیه دارای پوشش گیاهی به ترتیب در ایستگاه سوم ۰/۳۹۹ به دست آمد.

جدول ۳. مقادیر فاکتور آلودگی، فاکتور غنی شدگی و ریسک اکولوژیک کادمیوم و نیکل در خاک‌های ساحلی تالاب شادگان

شاخص های آلودگی	فصل	فلزات سنگین	بدون پوشش گیاهی			دارای پوشش گیاهی		
			ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم	ایستگاه اول	ایستگاه دوم	ایستگاه سوم
فاکتور آلودگی	زمستان	کادمیوم	۰/۱	۰/۱	۰/۱۳۳	۰/۰۳۳	۰/۰۳	۰/۲۳۳
		نیکل	۰/۰۱	۰/۰۱۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۱
	تابستان	کادمیوم	۱/۵۳۳	۱/۵۳۳	۱/۵۳۳	۱/۵۳۳	۱/۵۳۳	۱/۵۳۳
		نیکل	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳	۰/۰۱	۰/۰۱۴
فاکتور غنی شدگی	زمستان	کادمیوم	۰/۴۵۶	۰/۴۵۶	۰/۶۰۸	۰/۱۵۲	۰/۱۳۶	۱/۰۶۵
		نیکل	۰/۰۴۸	۰/۰۸۶	۰/۰۷۲	۰/۰۸۱	۰/۰۲۲	۰/۰۵۱
	تابستان	کادمیوم	۷/۰۰۱	۷/۰۰۱	۷/۰۰۱	۷/۰۰۱	۷/۰۰۱	۷/۰۰۱
		نیکل	۰/۰۵۳	۰/۰۵۵	۰/۰۹۰	۰/۰۶۲	۰/۰۴۹	۰/۰۶۷
ریسک اکولوژیک	زمستان	کادمیوم	۳	۳	۰/۳۹۹	۰/۹۹	۰/۹	۶/۹۹
		نیکل	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷۵	۰/۰۸۵	۰/۰۲	۰/۰۵۵
	تابستان	کادمیوم	۴۵/۹۹	۴۵/۹۹	۴۵/۹۹	۴۵/۹۹	۴۵/۹۹	۴۵/۹۹
		نیکل	۰/۰۵۵	۰/۰۶	۰/۰۹۵	۰/۰۶۵	۰/۰۵	۰/۰۷

بحث

در فصل زمستان بالاترین میزان کادمیوم در خاک در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری بود و پایین ترین میزان این فلز در عمق ۱۵-۰ سانتیمتری خاک مشاهده شد. در فصل تابستان دامنه مقادیر فلز کادمیوم در عمق های مختلف مورد مطالعه خاک ۰/۴۷- ۰/۴۶ میلی گرم در کیلوگرم بود. در فصل زمستان پایین ترین میزان کادمیوم در ایستگاه دوم منطقه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. کادمیوم جزء فلزات سمی است که برای بدن موجودات زنده و گیاهان غیرضروری می باشد (Asadi Kapourchal et al., 2011; Davari et al., 2015). مقادیر فلز کادمیوم در این تحقیق بین ۰/۴۶-۰/۰۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با میزان این فلز در میانگین جهانی، شیل و پوسته زمین (۰/۴۱، ۰/۳ و ۰/۲ میلی گرم بر کیلوگرم) (Chabukdhar, and Nema, 2012; Khalilova and Mammadov, 2016) در تمامی ایستگاه ها در فصل تابستان بالاتر می باشد. با توجه به بالا بودن میزان کادمیوم در برخی نمونه های خاک ساحلی تالاب شادگان، احتمالا می‌توان چنین نتیجه گرفت که علاوه بر کارخانجات و صنایع موجود در حاشیه و اطراف تالاب (محمدی روزبهانی و همکاران، ۱۳۹۲؛ خلفه نیل‌ساز و همکاران، ۱۳۹۵)، فعالیت‌های کشاورزی در نتیجه استفاده از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها نیز سهم به سزایی در آلودگی کادمیوم خاک این مناطق دارند (Liu et al., 2019; Huang et al., 2020). منابع عمده پخش کادمیوم در محیط زیست شامل سوخت-های فسیلی، دفع ضایعات در کیسه های پلاستیکی، سموم حشره کش، لجن های فاضلاب در کشاورزی است و منبع اصلی آن در کشور ما استفاده از کودهای فسفره می باشد (میخک و همکاران، ۱۳۹۲؛ Khodaverdiloo and Homaee, 2008).

بالاترین و پایین ترین میزان نیکل به ترتیب در عمق های ۳-۱۵ و ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک در فصل زمستان به دست آمد. در فصل تابستان بالاترین میزان نیکل در عمق ۳۰-۱۵ سانتیمتری خاک و پایین ترین میزان این فلز در عمق ۴۵-۳۰ سانتیمتری بود. در فصل زمستان پایین ترین میزان نیکل در ایستگاه دوم منطقه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. در فصل تابستان بالاترین و پایین ترین میزان نیکل به ترتیب در ایستگاه سوم منطقه بدون پوشش گیاهی و ایستگاه دوم ناحیه بدون پوشش گیاهی به دست آمد. مقادیر فلز نیکل در این تحقیق بین ۱/۳۴- ۰/۳۳ میلی گرم بر کیلوگرم بود که در مقایسه با میزان این فلز در میانگین جهانی، شیل و پوسته زمین (۱۵، ۶۸ و ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) (Chabukdhar, and Nema, 2012; Khalilova and Mammadov, 2016) بسیار پایین تر می باشد. سوخت های فسیلی، اگزوز اتومبیل ها، ذوب فلزات، صنایع شیمیایی، سوزاندن زباله ها و ضایعات و آتش سوزی های بزرگ از راه های آلودگی شیمیایی خاک به فلز نیکل می باشد (Ai et al., 2014; Qiu et al., 2018). سطح سمیت این عنصر در خاک به طور معمول ۴۰ میلی گرم در کیلوگرم خاک است (Chabukdhar, and Nema, 2012) که در این تحقیق مقادیر به دست آمده پایین تر می باشد. یکی از دلایل پایین بودن فلز نیکل در خاک این است که خاک مورد مطالعه آلوده به این فلز نبوده، همچنین نقش این فلز به عنوان عنصر ضروری جزیی در گیاهان می باشد که فلز نیکل را جذب می کنند. گیاهان فلز نیکل را به خوبی جذب کرده و در انداه های هوایی نظیر برگ انباشته می کنند (Someya et al., 2007; Javed et al., 2018).

فاکتور آلودگی برای نیکل کمتر از ۱ به دست آمد که نشان دهنده آلودگی کم این فلزات در خاک بود، اما مقادیر فاکتور آلودگی کادمیوم در ایستگاه سوم ۱/۵۳۳ به دست آمد که نشان از آلودگی زیاد این عنصر داشت. فاکتور آلودگی درمورد فلزات سنگین نشان دهنده غلظت عناصر نسبت به مقادیر پوسته زمین و شیل می باشد. با توجه به اینکه مقادیر کادمیوم نشان از آلودگی متوسط و زیاد بود به نظر می رسد این عنصر حاصل از فعالیت های انسانی وارد خاک های ساحلی تالاب شادگان شده است. در یک مطالعه فاکتور آلودگی فلزات در رسوبات تالاب پریشان برای اکثر نمونه‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار گزارش شده است و فاکتور آلودگی برای تمام فلزات مورد بررسی مقداری کمتر از ۱ را نشان داد، به طوری که تمام داده‌ها در طبقه بدون آلودگی قرار گرفتند (علمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). در تحقیقی بر روی تالاب هورالعظیم گزارش شده است که فاکتور آلودگی فلزات کادمیوم و وانادیوم در ایستگاه‌های مورد مطالعه در رده آلودگی کم قرار داشتند که می توان بیان کرد که نیکل به عنوان مهمترین آلاینده فلزی نسبت به کادمیوم و وانادیوم بوده است، اما به هر حال کادمیوم و وانادیوم نیز آلودگی کم دارند و در صورت عدم اجرای اقدام پیشگیرانه جهت ورود این آلاینده ها به محیط تالاب، در آینده آلودگی آب، رسوبات و آبزیان را به دنبال خواهد داشت (فیروزشاهیان و همکاران، ۱۳۹۸) که با نتایج این تحقیق همخوانی نداشت، زیرا از دیدگاه فاکتور آلودگی فلزات، در خاک های ساحلی تالاب شادگان کادمیوم آلودگی فلزی در خاک داشت. خنفریان و سواری (۱۳۹۴)

در یک تحقیق فاکتور آلودگی فلزات سنگین سرب، کروم، روی و کادمیوم رسوبات تالاب شادگان را در سطح کم گزارش کردند که با نتایج این تحقیق برای فلز کادمیوم هم خوانی ندارد.

فاکتور غنی شدگی سطوح غنی شدگی کم را برای نیکل نشان داد، زیرا مقادیر فاکتور غنی شدگی این فلز کمتر از ۲ به دست آمد. با توجه به مقادیر غنی شدگی فلز کادمیوم، این فلز غنی شدگی قابل توجه در خاک های ساحلی تالاب شادگان داشت. باید توجه داشت که فاکتور غنی شدگی منشا و منابع ورود فلزات سنگین از سنگ های مادری و زمین شناسی منطقه یا فعالیت‌های انسان ساخت را به محیط زیست نشان می دهد (شاکری و همکاران، ۱۳۹۴؛ Sutherland., 2000). با توجه به نتایج فلز نیکل می تواند حاصل از فعالیت های زمین شناسی و طبیعی منطقه باشند و فعالیت های صنعتی و کشاورزی نقش موثری در انباشت این فلزات در خاک نداشتند، بنابراین منشا اصلی فلزات مورد مطالعه طبیعی و زمین شناختی است، اما درخصوص فلز کادمیوم با توجه به غنی شدگی چنین به نظر می رسد که فعالیت‌های انسان‌زاد در انباشت این فلز در خاک نقش دارند. به‌طور کلی در طول چند دهه گذشته تالاب شادگان به دلیل افزایش فعالیت‌های حمل و نقل، احداث آزاد راه اهواز ـ بندر امام خمینی (ره) و ماهیگیری، فاضلاب خروجی واحدهای توسعه نیشکر، قرارگیری ایستگاه سوخت، نیروگاه برق و خطوط لوله انتقال نفت، حضور مواد خطرناک از پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های مواد شیمیایی، پتروشیمی ماهشهر، بندر امام خمینی (ره) و بندر آبادان، ساخت صنایع فولاد شادگان و محل پسماند در منطقه عمومی تالاب و استفاده از کودهای شیمیایی، سموم علف‌کش و آفت‌کش در زمین‌های کشاورزی مجاور و اطراف در معرض آلودگی‌های طبیعی و انسانی قرار گرفته است (Davodi et al., 2011; Chaharlang et al., 2016). در بسیاری از تحقیقات و مطالعات اخیر به کمک فاکتور غنی شدگی، منبع و منشا ورود آلودگی فلزات سنگین به محیط‌زیست را فعالیت های انسان‌زاد شامل پساب‌های شهری و روستایی، پساب حاصل از صنایع و کشاورزی گزارش کردند (سیستانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ خراسانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ فیروزشاهیان و همکاران، ۱۳۹۸؛ راست‌منش و همکاران، ۱۳۹۸)، اما در تحقیقی بر روی تالاب پریشان گزارش شد که عناصر منگنز، مس، آهن و روی منشا زمین‌شناسی و کشاورزی دارند و غلظت فلزات در خاک به منشا طبیعی آن‌ها ارتباط داده شد (علمی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶) که نتایج این تحقیق را تایید می کند. البته باید توجه داشت الگوی مقادیر غنی شدگی متفاوت فلزات در اکوسیستم‌های آبی مختلف نشان دهنده وجود منابع آلاینده متفاوت است، به عبارت دیگر منشا و پراکنش فلزات سنگین در محیط‌های آبی توسط چندین عامل کنترل می‌شود (Naser, 2013; Milan et al., 2015). منشا ورود فلزات سنگین در اکوسیستم‌های آبی و محیط‌زیست شامل فرآیندهای طبیعی زمین‌شناختی و فعالیت‌های انسان زاد می باشد (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). درمورد ریسک اکولوژیک فلزات مورد مطالعه، با توجه به اینکه مقادیر این شاخص برای نیکل در دو فصل زمستان و تابستان در همه ایستگاه های مورد مطالعه کمتر از ۴۰ به دست آمد، بنابراین این فلز در رده کم خطر قرار داشتند. ریسک اکولوژیک فلز کادمیوم در فصل تابستان بالاتر از ۴۰ بود، طبقه بندی نشان می دهد که ریسک اکولوژیک این فلز در رده متوسط قرار داشت (Hakanson, 1980). بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده، فلز کادمیوم خطرات بوم‌شناسی بیشتری نسبت به فلز نیکل را نشان داد و احتمالا بیشترین عوارض را داشته باشد و خطرات بالقوه اکولوژیکی برای خاک های ساحلی تالاب شادگان خواهد داشت. در مطالعه ای بر روی ناحیه تالابی رودخانه Huaihe در کشور چین گزارش شد که فلز کادمیوم بیشترین تاثیر اکولوژیکی را داشته است (Yuan et al., 2015) که نتایج این تحقیق را تایید می کند. با توجه تحقیقات و مطالعات انجام شده، مخاطره بوم شناسی فلزات کبالت، کروم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم و شاخص توان مخاطره بوم‌شناسی در کلاس پتانسیل خطر بوم‌شناسی کم گزارش شده است (فیروزشاهیان و همکاران، ۱۳۹۸؛ پاینده و ولایت زاده، ۱۳۹۸). همچنین ریسک اکولوژیک رسوبات در رودخانه بشار یاسوج نیز در رده کم تعیین شده است (مرتضوی و حاتمی‌منش، ۱۳۹۶) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارند. تعامل بین فلزات سنگین و رسوبات 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 می‌باشند، توانایی بالقوه جذب و ته‌نشین کردن آلودگی‌های فلزی که از محیط‌های خشکی ناشی می‌شوند، را دارند (An et al., 2010). 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). منشا اصلی ورود فلز نیکل و کادمیوم از راه فعالیت های انسان زاد، عملیات های مرتبط با استخراج نفت خام می باشد (Yang et al., 2015). همچنین آتش سوزی های موجود در تالاب ها و مراتع نیز یکی از عوامل اصلی ورود فلزات کادمیوم و نیکل به اتمسفر و در نهایت اکوسیستم های آبی و خاک می باشد (Krika and Krika, 2018; Al-Hejuje et al., 2018).

نتیجه گیری

با توجه به اینکه میزان کادمیوم خاک‌های ساحلی تالاب شادگان بالاتر از حد طبیعی بود. مقادیر فاکتور آلودگی کادمیوم در ایستگاه سوم به دست آمد که نشان از آلودگی زیاد این عنصر داشت. همچنین ریسک اکولوژیک فلز کادمیوم در فصل تابستان نشان دهنده این است که این فلز در رده متوسط بود. از سوی دیگر فلز کادمیوم غنی شدگی قابل توجهی در خاک داشت، چنین به نظر می رسد که احتمالا فلز کادمیوم از پساب های کشاورزی و صنعتی اطراف تالاب نظیر کارخانجات تولید نیشکر و فولاد وارد شده است. مقادیر فلز نیکل در مقایسه با میزان این فلز در میانگین جهانی، شیل و پوسته زمین بسیار پایین تر می باشد. فاکتور آلودگی برای نیکل کمتر از ۱ به دست آمد که نشان دهنده آلودگی کم این فلزات در خاک بود، اما فاکتور غنی شدگی سطوح آلودگی کم را برای فلز نیکل نشان داد و ریسک اکولوژیک فلز نیکل نشان داد که این فلز در رده کم خطر قرار داشت که به نظر می رسد فعالیت های زمین شناسی و طبیعی موجود در منطقه سبب انباشت این فلزات بوده است. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق پیشنهاد می گردد که فلزات سنگین سرب، کروم، مس، روی، نیکل، کادمیوم، وانادیوم، جیوه و آرسنیک در خاک های اطراف تالاب شادگان به طور کامل در ناحیه ساحلی و غیر ساحلی، گیاهان آبزی، نیمه آبزی و خشکی زی و آبزیان تالاب نظیر ماهیان بررسی و مطالعه شوند.

منابع

۱. پاینده، خ. و ولایت زاده، م. ۱۳۹۸. تعیین فلزات سنگین کبالت، کروم، منگنز، سلنیوم و مولیبدن در رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان با استفاده از شاخص‌های آلودگی. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب، ۱۱ (۲): ۹۶-۸۳.

۲. خراسانی پور، م، اسماعیل زاده، ع، ۱۳۹۷. تعیین عناصر دارای پتانسیل غنی شدگی در باطله های کانه آرایی معدن مس سرچشمه رفسنجان، استان کرمان. نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، د۷۱ (۲): ۱۶۷-۱۵۱.

۳. خلفه نیل ساز، م.، اسماعیلی، ف.، سبز علیزاده، س.، اسکندری، غ.ر.، انصاری، ه. و آلبوعبید، ص. ۱۳۹۵. پایش اکولوژی تالاب شادگان. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، پژوهشکده آبزی پروری جنوب کشور، ۱۱۶ صفحه.

۴. 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 محیط‌زیست دانشگاه تهران، ۱۱ صفحه.

۵. راست‌منش، ف.، حسنا، ز. و زراسوندی، ع.ر. ۱۳۹۸. غنی شدگی، منشأ، و خطر سلامتی فلزات سنگین در مزارع برنج: مطالعه موردی شهرستان های اهواز و باوی. مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، ۳۱: ۸۴-۷۵.

۶. سیستانی، ن، معین الدینی، م، خراسانی، ن.ا، حمیدیان، ا.ح، علی طالشی، م.ص، عظیمی یانچشمه، ر، ۱۳۹۶. آلودگی فلزات سنگین در خاک های مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. مجله سلامت و محیط زیست، ۱۰ (۱): ۸۶-۷۵.

۷. شاکری، ع.، شاکر، ر. و مهرابی، ب ۱۳۹۴. بررسی آلودگی عناصر کروم، نیکل، آرسنیک و کادمیم در آب، رسوب و ماهی سد شهید رجایی مازندران، شمال ایران. مجله محیط‌شناسی، ۴۱ (۱): ۲۴-۱۳.

۸. علمی‌زاده، ه.، فرهادی، س. و رزمی، م. ۱۳۹۶. تخمین آلودگی فلزات سنگین رسوبات تالاب پریشان با استفاده از شاخص‌های سنجش آلودگی. فصلنامه علوم محیطی، ۱۵ (۱): ۷۶-۶۱.

۹. فیروزشاهیان، ن.، پاینده، خ. و سبزعلیپور، س. ۱۳۹۸. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین (نیکل، کادمیوم و وانادیوم) در آب و رسوبات تالاب هورالعظیم استان خوزستان. فصلنامه محیط زیست جانوری، ۱۱ (۴): ۳۶۸-۳۵۹.

۱۰. محمدی روزبهانی، م.، راسخ، ع. و جعفر آقایی، ح. ۱۳۹۲. ارزیابی زیستی تالاب شادگان با استفاده از شاخص هیلسنهوف. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب، ۵ (۱۷): ۸۶-۷۵.

۱۱. 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.

۱۲. میخک، ا.، سهرابی، ا. و استوار، پ. ۱۳۹۲. اثرات زیست محیطی فلز کادمیوم در خاک، گیاه و انسان، اولین همایش ملی آلاینده های کشاورزی و سلامت غذایی، چالش ها و راهکارها، اهواز، دانشگاه رامین خوزستان، ۵ صفحه.

13. Ai, J.C., Wang, N., Yang J. 2014. Source apportionment of soil heavy metals in Jiapigou goldmine based on the UNMIX model. Environmental Science, 35 (9): 3530.
14. Ali, S., Chaudhary, A., Rizwan, M., Anwar, H.T., Adrees, M., Farid, M., Irshad, M.K., Hayat, T. and Anjum, S.A. 2015. Alleviation of chromium toxicity by glycinebetaine is related to elevated antioxidant enzymes and suppressed chromium uptake and oxidative stress in wheat (Triticum aestivum L.), Environ. Sci. Pollut. Res., 22: 10669–10678.
15. 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.
16. 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.
17. Arik, F. and Yaldiz, T., 2010. Heavy metals determination and pollution of the soil and plants of southeast Tavsanli (Kutabya, Turkey). CLEAN—Soil, Air, Water, 38 (11), 1017–1030.
18. Asadi Kapourchal S, Eisazadeh Lazarjan S, Homaee M. Phytoremediation of cadmium polluted soils resulting from use of phosphorus fertilizers. Curr Opinion in Biotech; 2011; 225:S15-S152.
19. ASTM, 1991. Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. Philadelphia, 1391-90.
20. Bai, J.H.; Zhao, Q.Q.; Lu, Q.Q.; Wang, J.J., and Reddy, K.R., 2015. Effects of freshwater input on trace element pollution in salt marsh soils of a typical coastal estuary, China. Journal of Hydrology, 520: 186–192.
21. Chabukdhara M. and Nema AK. 2012. Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediment: A chemo metric and geochemical approach. Chemosphere, 87: 945-953.
22. Chaharlang, B.H., Bakhtiari, A.R., Mohammadi, J., Farshchi, P., 2016. Geochemical partitioning and pollution assessment of Ni and V as indicator of oil pollution in surface sediments from Shadegan wildlife refuge, Iran. Marine Pollution Bulletin 111, 247–259.
23. Chen, H.; Yang, X.;Wang, P.;Wang, Z.; Li, M.; Zhao, F.J. Dietary cadmium intake from rice and vegetables and potential health risk: A case study in Xiangtan, southern China. Sci. Total Environ. 2018, 639, 271–277.
24. Clemens, S. and Ma, J.F. 2016. Toxic heavy metal and metalloid accumulation in crop plants and foods. Annu. Rev. Plant Biol. 2016, 67, 489–512.
25. Davari, M, Homaee M, Rahnemaei R. An analytical deterministic model forsimultaneous phytoremediation of Ni and Cd from contaminated soils. Environmental science and pollution research; 2015; DOI: 10.1007/S11356- 014-4032-Z.
26. Davodi, M., Esmaili-Sari, A., Bahramifarr, N., 2011. Concentration of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible fish species from the Shadegan Marshes (Iran). Ecotoxicology and Environmental Safety 74, 294–300.
27. Dorak, S. and Hakan Celik, H. 2020. Seasonal Variation of Some Trace Element and Heavy Metal Concentrations in a Turkish Stream. Pol. J. Environ. Stud., 29 (1): 589-600.
28. 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. Int. Ecol. Environ. Sci., 25: 91–95.
29. Godt, J., Scheidig, F., Grosse-Siestrup, C., Esche, V., Brandenburg, P., Reich, A. and Groneberg, D.A. 2006. The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health. J. Occup. Med. Toxicol., 1, 22.
30. 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.
31. Hajar, E.W.I., Sulaiman, A.Z B. and Sakinah, A.M.M. 2014. Assessment of Heavy Metals Tolerance in Leaves, Stems and Flowers of Stevia Rebaudiana Plant, Procedia Environ. Sci., 20: 386–393.
32. Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sediment logical approaches. Water Research, 14: 975-1001.
33. Huang, X., Duan, S., Wu, Q., Yu, M. and Shaba, S. 2020. Reducing Cadmium Accumulation in Plants: Structure–Function Relations and Tissue-Specific Operation of Transporters in the Spotlight. Plants, 9: 223; doi:10.3390/plants9020223.
34. Javed, T., Ahmad, N. and Mashiatullah, A. 2018. Heavy Metals Contamination and Ecological Risk Assessment in Surface Sediments of Namal Lake, Pakistan. Pol. J. Environ. Stud., 27 (2): 675-688.
35. Jitar, O., Teodosiu, C., Oros, A., Plavan, G. and Nicoara, M. 2015. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea, New Biotechnol., 32: 369–378.
36. Kabata-Pendias A, Pendias H. 2011. Trace elements in soils and plants: CRC press Boca Raton.
37. Keller, C., Rizwan, M., Davidian, J.C., Pokrovsky, O.S., Bovet, N., Chaurand, P. and Meunier, J.D. 2015. Effect of silicon on wheat seedlings (Triticum turgidum L.) grown in hydroponics and exposed to 0 to 30 mM Cu, Planta, 241: 847–860.

38. Khalilova, H. and Mammadov, V. 2016. Assessing the anthropogenic impact on heavy metal pollution of soils and sediments in urban areas of Azerbaijan's Oil Industrial Region. Polish Journal Environmental Studies, 25 (1): 159-166.
39. Khodaverdiloo, H. and M. Homaee. Modeliung Cadmium and Lead phytoextraction from contaminated soils. Polish Journal of soil Science; 2008; XLI(2): 149-162.
40. Kim, D.; Gustin, J.L.; Lahner, B.; Persans, M.W.; Baek, D.; Yun, D.J.; Salt, D.E. 2004. The plant CDF family member TgMTP1 from the Ni/Zn hyperaccumulator Thlaspi goesingense acts to enhance e_ux of Zn at the plasma membrane when expressed in Saccharomyce cerevisiae. Plant J., 39, 237–251.
41. Krika, A. and Krika, F. 2018. Assessment of Heavy Metals Pollution in Water and Sediments of Djendjen River, North Eastern Algeria. Pollution, 4 (3): 495-502.
42. 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.
43. Kunze R, Frommer WB, Flugge U-I. Metabolic engineering of plants: the role of membrane transport. Metab Biol 2002; 4(1):57-66.
44. Li, Y.; Liang, X.F.; Huang, Q.Q.; Xu, Y.M.; Yang, F. Inhibition of Cd accumulation in grains of wheat and rice under rotation mode using composite silicate amendment. RSC Adv. 2019, 61, 35539–35548.
45. Linhua, S. and Songbao, F. 2019. Heavy Metals in the Surface Soil around a Coalmine: Pollution Assessment and Source Identification. Pol. J. Environ. Stud. 28 (4): 2717-2724.
46. Liu, J.H.; Hou, H.; Zhao, L.; Sun, Z.J.; Lu, Y.F.; Li, H. 2019. Mitigation of Cd accumulation in rice from Cd-contaminated paddy soil by foliar dressing of S and P. Sci. Total Environ, 690: 321–328.
47. 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.
48. 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.
49. 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.
50. Qiu, H., Gui, H., Song, Q. 2018. Human health risk assessment of trace elements in shallow groundwater of the Linhuan coal-mining district, Northern Anhui Province, China, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 24 (5), 1342.
51. 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.
52. Someya N., Sato Y., Yamaguchi I., et al. 2007. Allevation of nickel toxicity in plants by a rhizobacterium strain is not dependent on its siderophore production. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 38:1155–1162.
53. Song, Y.; Wang, Y.; Mao, W.; Sui, H.; Yong, L.; Yang, D.; Jiang, D.; Zhang, L.; Gong, Y. Dietary cadmium exposure assessment among the Chinese population. PLoS ONE 2017, 12, e0177978.
54. Sutherland, R. A. 2000. Bed sediment-associated trace metals in an urban stream, Oahu, Hawaii, Environ Geol, 39: 611-627.
55. United States Environmental Protection Agency (USEPA), 1996. Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2).
56. Vollmann, J., Losak, T., Pachner, M., Watanabe, D., Musilova, L. and Hlusek, J. 2015. Soybean cadmium concentration: Validation of a QTL a_ecting seed cadmium accumulation for improved food safety. Euphytica, 203: 177–184.
57. Wang, X.Y.; Zhou, Y.; Yang, H.S.; Wang, Q., and Liu, S.L., 2010. Investigation of heavy metals in sediments and Manila clams Ruditapes philippinarum from Jiaozhou Bay, China. Environmental Monitoring and Assessment, 170(1), 631–643.
58. 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.
59. Yang, H.; Yang, Z.M.; Zhou, L.X.;Wong, J.W. 2001. Ability of Agrogyron elongatum to accumulate the single metal of cadmium, copper, nickel and lead and root exudation of organic acids. J. Environ. Sci., 13, 368–375.
60. Yang, X., Duan, J., Wang, L., et al. 2015. Heavy metal pollution and health risk assessment in the Wei River in China. Environ Monit Assesst, 187 (3): 111.
61. Yuan, H., Pan, W., Zhu, Z.,Wei, Y., Geng, Q. and AN, Sh. 2015. Ecological Risk Assessment Of Heavy Metals In Sediments Of A Riverine Wetland, Huaihe River Watershed, China. Ecological Chemistry and Engineering, 22 (2): 231-242.

62. 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.

Heavy Metal Pollution Indicators of Cadmium and Nickel in Coastal Soils of Shadegan Wetland

Ebtesam Hamid[1], Khoshnaz Payandeh[2*]

[1] Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
[2] Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
Corresponding Author: Khoshnaz Payandeh
Khpayandeh@iau.ac.ir

Abstract
Nickel and cadmium are heavy metals that can cause human disease and poisoning. In this study, soil sampling of Shadegan Wetland was carried out from two areas with vegetation and the presence of vegetation, including Site A and Site B, in two summer and winter seasons of 2018-2019 with 3 repetitions. The amount of cadmium in coastal soils of Shadegan Wetland was higher in summer than in winter. The amounts of nickel in summer and winter (1.58 and 1.74 mg/kg, respectively) are much lower compared to the amount of this metal in the global average, shale, and earth's crust. The amount of cadmium in soil in summer (0.47 mg/kg) was higher than in winter (0.17 mg/kg). The amount of cadmium in coastal soils of Shadegan Wetland was higher than the normal level. The pollution factor of cadmium in summer at all stations studied was 1.533. The highest pollution factor of nickel of 0.019 was obtained in summer in the area without vegetation. In general, the average total pollution factor of cadmium and nickel metals was calculated as 0.818 and 0.012, respectively. The pollution factor for nickel was less than 1, indicating low pollution of these metals in the soil, but the cadmium pollution factor values were obtained at the third station, indicating high pollution of this element. The enrichment factor showed low pollution levels for nickel metal, which seems to have been caused by geological and natural activities in the area. Cadmium metal was significantly enriched in the soil, indicating that the amounts of this metal in the coastal soils of Shadegan Wetland were anthropogenic.

Keywords: Shadegan Wetland, Nickel, Cadmium, Ecological Risk, Enrichment Factor