

ارزیابی انتقال فلزات سنگین (سرب، نیکل و وانادیوم) در زنجیره غذایی تالاب هورالعظیم

محمد بستانزاده^۱، لاله رومیانی^{۲*}، خوشناز پاینده^۳، سیما سبزلعیپور^۱، مریم محمدی روزبهانی^۱

۱- گروه محیط زیست، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۲- گروه شیلات، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیکی: Lroomiani@yahoo.com

۳- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۱۲

* نویسنده مسوول

تاریخ دریافت: ۹۹/۳/۲۵

چکیده

فلزات سنگین یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده محیط زیست هستند که به دلیل فعالیت‌های انسانی در محیط زیست وارد شده‌اند. این پژوهش کاربردی بوده و به منظور بررسی فلزات سنگین در بهار ۱۳۹۷ و در ۷ ایستگاه تالاب هورالعظیم انجام شده است. جامعه آماری برای سنجش فلزات سنگین نیکل، سرب و وانادیوم شامل رسوب، آب، گیاه نی و ماهی بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*) با ۳ تکرار و برای هر بخش شامل ۲۱ نمونه بود. در رسوبات، عنصر نیکل با میانگین کل $28/56 \pm 9/18$ میلی‌گرم در کیلوگرم بالاترین غلظت (بالاترین غلظت در ایستگاه ۱ با $42/28 \pm 1/7$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و وانادیوم و سرب به ترتیب با میانگین کل $21/57 \pm 8/35$ میلی‌گرم در کیلوگرم (بالاترین غلظت در ایستگاه ۴ با $5/12 \pm 0/36$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و $2/74 \pm 1/82$ میلی‌گرم در کیلوگرم (بالاترین غلظت در ایستگاه ۶ با $37/86 \pm 0/15$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در رتبه‌های بعدی قرار داشتند ($P < 0/05$). در آب، غلظت فلزات سرب و نیکل به ترتیب محدوده‌ای بین $0/11 - 0/13$ و $0/11 - 0/12$ میلی‌گرم بر لیتر و وانادیوم موجود در آب در ایستگاه ۷ با $1/08$ میلی‌گرم بر لیتر بالاترین غلظت را داشت ($P < 0/05$). وانادیوم با میانگین غلظت $1/26$ (محدوده $0/90 - 2/50$) میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین غلظت را در گیاه نی داشت ($P < 0/05$) و بجز در گیاه نی دو ایستگاه ۲ و ۳ که به ترتیب نیکل و سرب غلظت بالاتری داشتند، در سایر ایستگاه‌ها وانادیوم بالاترین غلظت را داشت ($P < 0/05$). در عضله ماهی بنی صید شده از ایستگاه ۷، فلز سرب و وانادیوم با مقادیر $1/52 \pm 0/08$ و $0/71 \pm 0/07$ میلی‌گرم بر کیلوگرم و نیکل با مقدار $0/54 \pm 0/04$ میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۵ بالاترین مقدار را داشت ($P < 0/05$). رسوبات تالاب هورالعظیم از نظر شاخص آلودگی اکولوژیکی، ریسک اکولوژیکی کم (کمتر از ۱۵۰) را نشان دادند. مقایسه میانگین غلظت فلزات در عضله ماهی بنی، ناسالم بودن عضله ماهی را از نظر تغذیه نشان داد. بین غلظت فلزات سنگین در زنجیره رسوب، آب، گیاه نی و ماهی همبستگی وجود داشت و رسوب و گیاه نی ذخیره گاه اصلی فلزات سنگین در تالاب بودند.

کلمات کلیدی: ارزیابی آلودگی، فلزات سنگین، زنجیره غذایی، تالاب هورالعظیم.

۱. مقدمه

فلزات سنگین به دلیل رفتار تجمعی و سمیت آنها دارای اهمیت بوم‌شناختی بسیاری هستند که علاوه بر به خطر انداختن سلامتی انسان، می‌توانند تنوع گونه‌ای را تهدید کرده و زیستگاه‌ها را نیز تخریب کند. فلزات سنگین پایدار بوده و قابلیت تجزیه زیست‌شناختی ندارند و این موضوع سمیت و قابلیت فلزات برای تجمع در موجودات زنده را بالا می‌برد (Yang et al., 2019). پیش بینی می‌شود تقاضای جهان برای نفت از ۸۴/۷ میلیون بشکه در روز در سال ۲۰۰۸ بشکه، در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۰۰ میلیون بشکه در روز و به بیش از ۱۵۰ میلیون در هر روز در سال ۲۰۳۰ خواهد رسید که این موضوع اهمیت بررسی آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین موجود در نفت را هر چه بیشتر می‌کند (International Energy Outlook, 2013). فلزات سنگین نه تنها سبب بروز جهش و تاثیرات ژنتیکی می‌شوند (Lakshmanan et al., 2019) بلکه با ایجاد انباشت زیستی و بزرگنمایی زیستی در زنجیره غذایی، تهدیدی جدی برای بوم‌سازگان و موجودات زنده آنها هستند (Akan et al., 2009; Luckeet al., 2019). رسوبات محل اصلی دریافت و انباشت آلاینده‌ها در محیط‌های آبی بوده که نقش مهمی در تجمع فلزات سنگین انتقال آن به گیاهان و سطوح غذایی بالاتر از جمله ماهی‌ها عهده‌دار می‌باشند (Dudhagara et al., 2016). این آلاینده‌ها از طریق اثرات انباشت و بزرگنمایی زیستی در بافت‌ها و اندام موجودات آبی در زنجیره غذایی ذخیره می‌شوند و در نهایت تهدیدی برای سلامت انسان هستند (Mhadhbi and Boumaiza, 2012).

ماهی‌ها یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی قابل برداشت از تالاب‌ها هستند که به واسطه در معرض قرار گیری با مواد نفتی در این محیط‌ها و نیز تغذیه از زنجیره‌های پایین‌تر که دارای ذخیره مواد آلاینده هستند، ریسک ابتلا به سرطان را در مصرف کنندگان افزایش می‌دهند (Ohiozebaut et al., 2017). با توجه به اینکه تولید متعارف نفت خام، قادر به پاسخگویی به تقاضای رو به افزایش برای انرژی نیست و استخراج نفت از بستر تالاب‌ها به شدت افزایش پیدا کرده است (Huang et al., 2020) که این نوع استخراج‌ها در تالاب هورالعظیم استان خوزستان قابل مشاهده است.

با توجه به اهمیت انتقال آلودگی در طول زنجیره غذایی، مطالعات مختلف سطح آلودگی را در بخش‌های مختلف

یک زنجیره غذایی مورد بررسی قرار داده‌اند که از جمله می‌توان به مطالعه NejatkhahManavi و همکاران (۲۰۱۳) ارزیابی فصلی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات جزیره هرمز، Bhuyan و همکاران (۲۰۱۹) در کنترل و ارزیابی فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه Old Brahmaputra و Monroy و همکاران (۲۰۱۴) بررسی غلظت فلزات سنگین در آب، رسوبات و چهار گونه ماهی در دریاچه Titicaca اسپانیا اشاره کرد. ماهی بنی به عنوان یکی از گونه‌های غالب ماهی بومی تالاب هورالعظیم (فراوانی ۲۴/۶ درصد) است که با توجه به تغذیه گیاه خواری و پوده‌خواری از بخش زیادی از موجودات تالابتغذیه می‌کند (رضایی و پاپهن، ۱۳۹۲)، همچنین این تالاب به دلیل نقش مهمی که در زنجیره غذایی جانوران و انسان دارد، اهمیت بالایی دارد. تالاب هورالعظیم تالابی با اکوسیستم شکننده است که آلودگی در آن به واسطه خشکسالی و خشک کردن در طی سال‌های جنگ تحمیلی و نیز استخراج نفت به مرز خطرناکی رسیده است و ضروری است که میزان گسترش آلودگی در زنجیره غذایی این مناطق مورد ارزیابی قرار گیرد. از این رو در این پژوهش میزان تجمع سه فلز سنگین نیکل، سرب و وانادیوم در رسوبات، آب، گیاه نی و عضله ماهی بنی *Mesopotamichthys sharpeyi* به عنوان یک زنجیره غذایی مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این مطالعه بررسی تاثیر فعالیت‌های نفتی در تالاب هورالعظیم بر غلظت فلزات سرب (به واسطه حمل و نقل و نشانه‌ی آلودگی با سوخت‌های فسیلی)، نیکل و وانادیوم (فلزات سنگین مشخصه‌ی آلودگی نفتی) (Adesina and Adelasoye, 2014) در زنجیره غذایی شامل رسوبات، آب، گیاه نی و ماهی بنی در نظر گرفته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت نقاط نمونه برداری

نمونه‌برداری در تالاب هورالعظیم در غرب استان خوزستان و در مختصات ۴۷ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه غربی و ۳۱ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی و ۴۱ درجه جنوبی انجام شد. این مطالعه در بهار سال ۱۳۹۷ و در ایستگاه‌های مشخص شده در مخازن ۵ گانه تالاب هورالعظیم انجام شد. متغیرهای مورد بررسی فلزات سنگین نیکل، سرب و وانادیوم موجود در

۲-۲ نمونه‌برداری و اندازه‌گیری فلزات سنگین در رسوب تالاب هورالعظیم

نمونه‌برداری رسوبات با استفاده از گرب ون وین با سطح مقطع ۰/۰۲۵ متر مربع صورت گرفت (Eaton and Franson, 2005). نمونه‌های رسوب در نایلون‌های پلاستیک نگهداری و پس از ثبت مشخصات تا زمان شروع آنالیز در دمای ۴- درجه‌ی سانتی‌گراد نگهداری شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های رسوبی به مدت ۴۸ ساعت در آن در دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد خشک شدند. سپس ذرات رسوبات با استفاده از الک ۶۳ میکرون جداسازی و در هاون به صورت پودر در آورده شدند. سنجش فلزات سنگین، ۱ گرم نمونه با استفاده از محلول $HClO_4$ (۲ میلی‌لیتر) و HF (۱۰ میلی‌لیتر) تا نزدیکی به خشک شدن، هضم شد. این مرحله دوبار تا زمان خشک شدن کامل انجام شد. در انتها، $HClO_4$ (۱ میلی‌لیتر) اضافه و تا زمان ظهور بخار سفید حرارت داده شد. مواد باقی مانده موجود در ظرف در HCL غلیظ حل و با آب مقطر به حجم ۲۵ میلی‌لیتر رسانده شد (MOOPAM, 1999). غلظت فلزات سنگین در تمام رسوبات، آب، گیاه نی و ماهی توسط دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی (Perkin Elmer 100 B) مجهز به سیستم کوره گرافیتی گزارش شد.

۳-۲ نمونه برداری و اندازه‌گیری فلزات سنگین در آب تالاب هورالعظیم

نمونه‌برداری از آب با استفاده از بطری‌های تیره رنگ ۱ لیتری و از ۱۵ سانتی‌متری زیر سطح آب برداشت شد. ظروف نمونه قبلاً با اسید نیتریک ۶۵ درصد شستشو شده بود (APHA, 2005). میزان اسیدیته نمونه‌های آب پس از عبور از کاغذ واتمن ۴۲ (ساخت آلمان)، توسط اسید نیتریک ۱۰ درصد در $pH=2$ تنظیم شدند. برای هضم نمونه‌های آب، ۱۰۰۰ میلی‌لیتر نمونه‌ی تثبیت شده تا رسیدن به حجم کمتر از ۵۰ میلی‌لیتر حرارت داده شد. سپس حجم نمونه با استفاده از اسید کلریدریک ۱ نرمال به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسید (MOOPAM, 1999).

۴-۲ اندازه‌گیری فلزات سنگین در گیاه نی (*Phragmites australis*) تالاب هورالعظیم

بافت‌های گیاهی (ریشه و برگ) پس از جداسازی با آب تالاب شستشو شده و در نایلون‌های پلاستیکی به آزمایشگاه

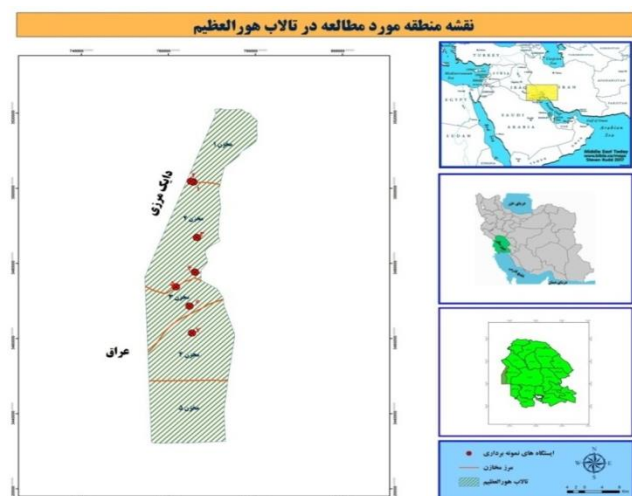
رسوب، آب، گیاه نی و نیز بافت ماهیچه ماهی بنی در تالاب هورالعظیم (مجموعاً ۱۲۶ نمونه) بود. با توجه به حجم آب، مساحت و نیز میزان فعالیت اکتشاف، استخراج و توسعه میادین نفتی مستقر در تالاب، تعداد ۷ ایستگاه در ۴ مخزن تالاب به شرح زیر و با مختصات ذکر شده در جدول ۱ و شکل ۱ انتخاب شدند: مخزن شماره یک: در محدوده میدان نفتی توسعه نیافته سهراب شامل ایستگاه‌های ۱ و ۲

مخزن شماره دو: در محدوده میدان نفتی آزادگان شمالی شامل ایستگاه‌های ۳ و ۴
مخزن شماره سه: در محدوده میدان نفتی آزادگان جنوبی و یاران شمالی شامل دو ایستگاه ۵ و ۶
مخزن شماره چهار: در محدوده میدان نفتی آزادگان جنوبی شامل ایستگاه ۷.

به طور کلی به دلیل موقعیت مرزی و اهمیت مسائل امنیتی، فعالیت‌های انجام شده در تالاب هورالعظیم بیشتر به فعالیت‌های اکتشاف و استخراج نفت اختصاص یافته و دیگر فعالیت‌های رایج در سایر تالاب‌ها که مرتبط با جمعیت انسانی می‌باشد در این تالاب به صورت محدود انجام می‌شود.

جدول ۱: مختصات نقاط نمونه‌برداری

ایستگاه	UTM		
	E	N	ZONE
۱	۳۵۰۱۶۵۸	۷۶۵۷۶۴	۳۶ R
۲	۳۵۰۱۸۴۱	۷۶۵۲۲۱	۳۶ R
۳	۳۴۸۶۹۲۰	۷۶۶۵۶۵	۳۶ R
۴	۳۴۷۷۶۷۱	۷۶۶۱۳۴	۳۶ R
۵	۳۴۷۳۷۷۱	۷۶۱۷۳۸	۳۶ R
۶	۳۴۶۸۶۲۳	۷۶۴۸۵۴	۳۶ R
۷	۳۴۶۱۴۶۷	۷۶۵۴۴۱	۳۶ R



شکل ۱: مختصات نقاط نمونه برداری

در این رابطه: C_f : فاکتور آلودگی، T_f : ریسک اکولوژیکی هر عنصر مورد مطالعه، RI : ریسک اکولوژیکی مجموع عناصر را نشان می‌دهد. هاکانسون (۱۹۸۰) مقدار (TR) را که شاخص سمی بودن فلزات سنگین نام دارد. برای تحلیل به دست آمده چهار گروه متفاوت تعریف می‌شود (جدول ۲).

جدول ۲: محدوده تغییرات RI میزان ریسک اکولوژیکی (Hakanson, 1980)

مقدار RI	میزان ریسک اکولوژیکی
$RI < 150$	ریسک اکولوژیکی کم
$150 \leq RI < 300$	ریسک اکولوژیکی متوسط
$300 \leq RI < 600$	ریسک اکولوژیکی قابل توجه
$RI \geq 600$	ریسک اکولوژیکی خیلی زیاد

۲-۷ تجزیه و تحلیل آماری

برای آنالیز داده‌ها از نرم افزار آماری SPSS 18 استفاده شد. تمامی داده‌ها دارای ۳ تکرار بودند. برای مقایسه و یافتن اختلاف معنی‌دار در گروه‌های در نظر گرفته شده آزمون آنالیز واریانس یک طرفه و تست تکمیلی دانکن بکار گرفته شد. جهت تعیین ارتباط بین بخش‌های مختلف زنجیره‌ی غذایی از همبستگی پیرسون و جهت تخمین روابط و پیش بینی رفتار بین متغیرها از رگرسیون استفاده شد. منشایابی فلزات سنگین و هیدروکربن‌های نفتی در زنجیره غذایی با استفاده از آنالیز خوشه‌بندی انجام شد. نرم‌افزار اکسل ۲۰۱۰ جهت رسم نمودارها استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱ غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم

محدوده فلزات سنگین سرب، نیکل و وانادیوم در رسوبات تالاب هورالعظیم در محدوده ۰/۱۲-۵/۱۲، ۱۴/۱۸-۴۲/۲۸ و ۱۰/۹۸-۳۷/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). در رسوبات، ایستگاه ۶ با مجموع فلزات ۶۱/۶۵ و ایستگاه ۱ با مجموع فلزات ۶۰/۵۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و ایستگاه ۳ و ۷ به ترتیب با مقادیر ۵۲/۸۱ و ۵۳/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم به ترتیب بیشترین و کمترین غلظت را داشتند ($P < 0/05$). نیکل و سرب بیشترین و کمترین غلظت فلزات سنگین را در رسوبات داشتند ($P < 0/05$) (شکل ۲).

منتقل شدند پس از شستشو نمونه‌های گیاهی در آب مقطر توسط آون (Memert Unb400 C, Germany) در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک و آسیاب شدند. نمونه‌های آسیاب شده از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. یک گرم از نمونه در هر ایستگاه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد و توسط ۱۰ میلی‌لیتر از مخلوط اسید نیتریک و هیدروژن پروکسید به مدت ۲ ساعت و در زیر هود هضم و تا زمانی که رنگ نمونه‌ها تیره و بخار اسید از آن خارج شود، حرارت داده شد. سپس به نمونه، ۳ میلی‌لیتر اسید پرکلریک اضافه و پس از سرد شدن در دمای آزمایشگاه تا حجم ۵۰ میلی‌لیتر رقیق و توسط کاغذ صافی ۴۲ میکرون فیلتر شدند (MOOPAM, 1999).

۲-۵ نمونه‌برداری و اندازه‌گیری فلزات سنگین در ماهی بنی

ماهی بنی با استفاده از تور ماهیگیری نایلونی با چشمه ۵ سانتیمتری صید شد (رضایی و پاپهن، ۱۳۹۲). شناسایی ماهیان با استفاده از کلیدهای شناسایی کد (Coad, 2010) و عبدلی (Abdoli, 2000) صورت گرفت. نمونه‌های عضله از عمق پوست و از قسمت راست بدن ماهیان خارج شد. برای هضم شیمیایی نمونه‌های بافت در آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت نگهداری شدند (Berman, 1995). سپس ۱۰ گرم از نمونه برداشته شده، ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه و بر روی حمام بن ماری با درجه حرارت ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا نزدیک خشک شدن قرار داده شدند. بعد از سرد شدن به نمونه‌ها اسید نیتریک ۱۰ درصد اضافه و پس از عبور از کاغذ صافی با آب مقطر دوبار تقطیر به حجم نهایی ۵۰ میلی‌لیتر رسید (Massoudet al., 1996).

۲-۶ شاخص‌های زیست محیطی

برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی^۱ رسوبات تالاب از معادله‌های ۱ و ۲ استفاده شد (Hakanson, 1980):

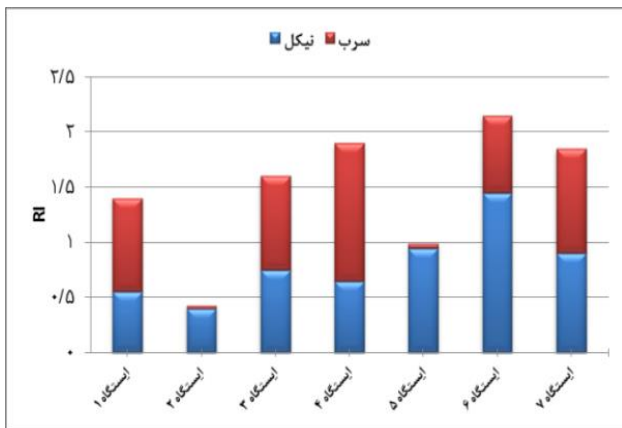
$$E_r = T_r \times C_f \quad \text{معادله ۱}$$

$$RI = \sum E_r \quad \text{معادله ۲}$$

^۱ Ecological Risk

۳-۲ ارزیابی ریسک اکولوژیک در رسوبات تالاب هورالعظیم

شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک نیکل و سرب کمترین مقدار خود را با ۰/۴ و ۰/۳ در ایستگاه ۲ و بیشترین مقدار خود را با مقدار ۱/۴۵ (نیکل) و ۱/۲۵ (سرب) در ایستگاه‌های ۶ و ۴ داشت. شاخص ارزیابی ریسک اکولوژیک در هر ۷ ایستگاه و در مورد دو عنصر نیکل و سرب، رده ریسک اکولوژیکی کم را نشان داد (شکل ۳).



شکل ۳: ارزیابی ریسک اکولوژیک در رسوبات تالاب هورالعظیم

۳-۳ فلزات سنگین در گیاه نی و عضله ماهی تالاب هورالعظیم

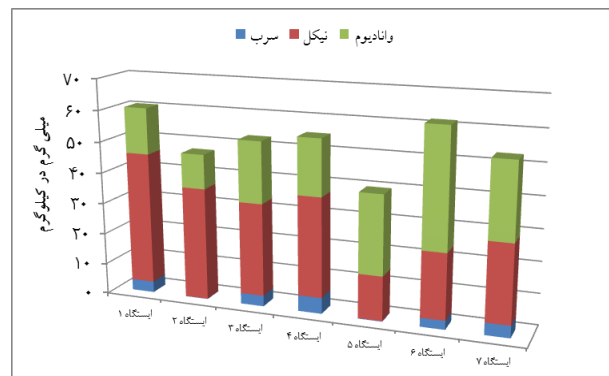
وانادیوم با میانگین غلظت ۱/۲۶ (محدوده ۰/۹۰-۲/۵۰) میلی-گرم بر کیلوگرم بالاترین غلظت را در گیاه نی تالاب هورالعظیم داشت ($P < 0.05$) (جدول ۴). سرب در گیاه نی ایستگاه‌های ۳ و ۷ بالاترین غلظت را داشت ($P > 0.05$).

نیکل اندازه‌گیری شده در گیاه نی، در ایستگاه‌های ۱ و ۳ با تمامی ایستگاه‌ها به جز ایستگاه ۷ اختلاف معنی‌دار نداشتند و میزان این فلز در ایستگاه ۷ با مقدار 1.38 ± 0.38 میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاترین غلظت را داشت.

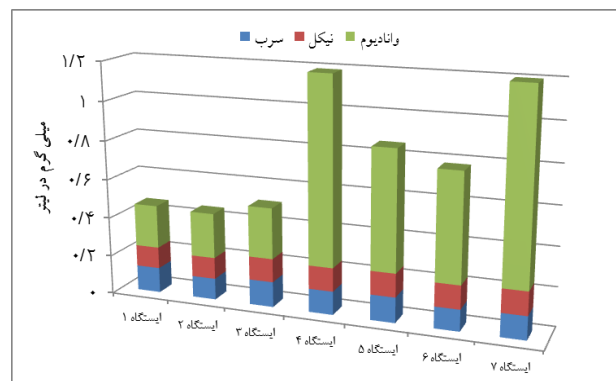
در ماهی فلز سرب و وانادیوم با مقادیر 1.52 ± 0.08 و 0.71 ± 0.07 میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۷ و نیکل با مقدار 0.54 ± 0.04 میلی‌گرم بر کیلوگرم در ایستگاه ۵ بالاترین مقدار را داشت ($P < 0.05$). سرب و وانادیوم در ایستگاه‌های ۱ و ۲ بدون اختلاف معنی‌دار کمترین میزان این فلزات ($P > 0.05$) و نیکل در ایستگاه ۳ بدون اختلاف معنی‌دار با ایستگاه‌های ۱، ۲، ۴ و ۶ کمترین مقدار را داشتند ($P > 0.05$).

در آب، غلظت فلزات سرب و نیکل بین ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری نداشت و به ترتیب محدوده‌ای بین ۰/۱۱-۰/۱۳ و ۰/۱۱-۰/۱۲ میلی‌گرم بر لیتر داشت ($P > 0.05$). وانادیوم آب در ایستگاه ۷ با ۱/۰۸ میلی‌گرم بر لیتر بالاترین غلظت و در سه ایستگاه ۱، ۲ و ۳ با محدوده ۰/۲۲-۰/۲۶ میلی‌گرم بر لیتر اختلاف معنی‌داری نداشت ($P > 0.05$).

در رسوبات، عنصر سرب در ایستگاه‌های ۲ و ۵، عنصر وانادیوم در ایستگاه‌های ۱ و ۲ و عنصر نیکل در ایستگاه ۵ کمترین غلظت را داشتند ($P < 0.05$). در رسوبات نیکل با اختلاف معنی‌دار با دو فلز سنگین وانادیوم و سرب بالاترین غلظت را داشت ($P < 0.05$) (شکل ۲-الف). در آب (شکل ۲-ب)، غلظت وانادیوم به شکل مشخصی از غلظت نیکل و سرب بالاتر بود ($P < 0.05$). دو ایستگاه ۴ و ۷ بالاترین و ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ کمترین غلظت فلزات سنگین را در آب داشتند ($P < 0.05$).



الف- رسوب



ب- آب

شکل ۲: غلظت فلزات سنگین در الف- رسوب و ب- آب جمع‌آوری شده در تالاب هورالعظیم

جدول ۳: غلظت فلزات سنگین در رسوبات تالاب هورالعظیم (بهار، ۱۳۹۷)

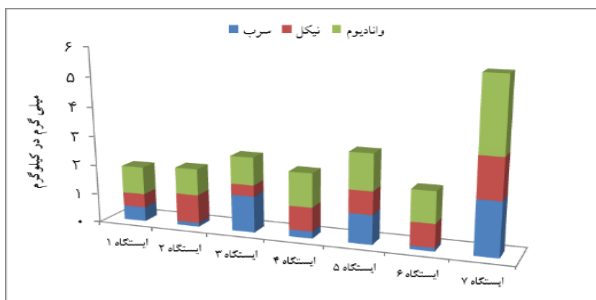
میانگین	ایستگاه							فلز سنگین
	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۲/۷۴±۱/۹۰	۳/۸۹±۰/۱۹ ^c	۲/۸۵±۰/۱۶ ^b	۰/۱۶±۰/۰۰۶ ^a	۵/۱۲±۰/۳۶ ^d	۳/۴۸±۰/۰۵ ^c	۰/۱۲±۰/۰۰۸ ^a	۳/۵۶±۰/۲۰ ^c	سرب
۲۸/۵۶±۹/۴۴	۲۴/۸۹±۰/۷۲ ^b	۲۰/۹۴±۰/۳۱ ^b	۱۴/۱۸±۰/۷۴ ^a	۳۱/۹۳±۲/۹۱ ^c	۲۹/۶۵±۰/۳۰ ^{cd}	۳۶/۰۷±۰/۰۹ ^d	۴۲/۲۸±۱/۷ ^e	نیکل
۲۱/۵۷±۸/۷۷	۲۴/۳۰±۰/۳۳ ^c	۳۷/۸۶±۰/۱۵ ^f	۲۵/۴۱±۰/۹۹ ^e	۱۸/۰۳±۰/۳۹ ^c	۱۹/۶۸±۰/۳۴ ^d	۱۰/۹۸±۰/۱۴ ^a	۱۴/۷۴±۰/۵ ^b	وانادیوم
۰/۱۲±۰/۰۰۸	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۱±۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۳±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۱±۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۳±۰/۰۰۱ ^a	سرب
۰/۱۱±۰/۰۰۴	۰/۱۲±۰/۰۰۶ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۱±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۱±۰/۰۰۶ ^a	نیکل
۰/۵۵±۰/۳۵	۱/۰۸±۰/۰۰۳ ^e	۰/۵۵±۰/۰۰۱ ^b	۰/۶۱±۰/۰۰۸ ^c	۰/۹۵±۰/۰۰۱ ^d	۰/۲۶±۰/۰۰۱ ^a	۰/۲۳±۰/۰۰۳ ^a	۰/۲۲±۰/۰۰۵ ^a	وانادیوم

حروف غیر مشابه به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵)

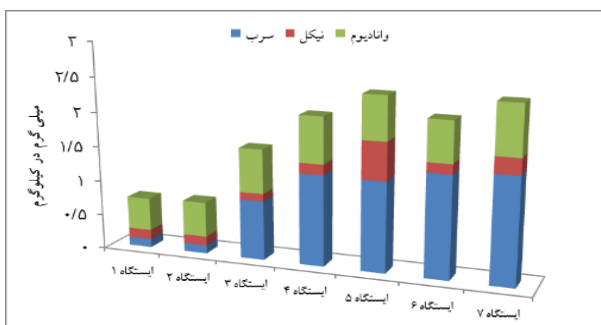
جدول ۴: غلظت فلزات سنگین در گیاه نیو ماهی بنی تالاب هورالعظیم (میلی گرم بر کیلوگرم)

میانگین	ایستگاه							فلز سنگین
	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۰/۷۱±۰/۵۳	۱/۸۲±۰/۰۲ ^d	۰/۱۲±۰/۰۰۶ ^a	۱±۰/۴۳ ^{bc}	۰/۲۴±۰/۰۰۴ ^{ab}	۱/۲۴±۰/۵ ^{cd}	۰/۱۳±۰/۰۰۴ ^a	۰/۴۹±۰/۱۵ ^{abc}	سرب
۰/۷۹±۰/۳۳	۱/۳۸±۰/۳۸ ^b	۰/۷۹±۰/۱۹ ^{ab}	۰/۷۸±۰/۲۸ ^{ab}	۰/۸۱±۰/۳۱ ^{ab}	۰/۳۸±۰/۰۵ ^a	۰/۹۷±۰/۳۷ ^{ab}	۰/۴۷±۰/۱۴ ^a	نیکل
۱/۲۶±۰/۲۵	۲/۵۰±۰/۱۳ ^b	۱/۰۶±۰/۱۷ ^a	۱/۲۳±۰/۲ ^a	۱/۱۵±۰/۲۳ ^a	۰/۹۴±۰/۱۳ ^a	۰/۹۰±۰/۱۳ ^a	۰/۹۴±۰/۲۰ ^a	وانادیوم
۰/۹۵±۰/۱۲	۱/۵۲±۰/۰۸ ^d	۱/۴۶±۰/۰۰۳ ^{cd}	۱/۲۹±۰/۰۰۵ ^c	۱/۳۰±۰/۱۱ ^c	۰/۸۵±۰/۰۰۸ ^b	۰/۱۲±۰/۰۰۶ ^a	۰/۱۲±۰/۰۰۸ ^a	سرب
۰/۲۰±۰/۱۵	۰/۲۳±۰/۰۰۱ ^b	۰/۱۴±۰/۰۰۳ ^a	۰/۵۴±۰/۰۰۴ ^c	۰/۱۵±۰/۰۰۱ ^a	۰/۱۱±۰/۰۰۵ ^a	۰/۱۳±۰/۰۰۳ ^a	۰/۱۴±۰/۰۰۱ ^a	نیکل
۰/۵۹±۰/۰۸	۰/۷۱±۰/۰۰۷ ^c	۰/۵۸±۰/۰۰۲ ^b	۰/۶۲±۰/۰۰۳ ^{bc}	۰/۶۶±۰/۰۰۲ ^{bc}	۰/۶۳±۰/۰۰۲ ^{bc}	۰/۵۰±۰/۰۰۱ ^a	۰/۴۷±۰/۰۰۶ ^a	وانادیوم

حروف غیر مشابه به معنی اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ است (P<۰/۰۵)



الف



ب

شکل ۴: غلظت فلزات سنگین در الف- گیاه نی، ب- ماهی جمع‌آوری شده در تالاب هورالعظیم (بهار، ۱۳۹۷)

در گیاه نی به جز در دو ایستگاه ۲ و ۳ که به ترتیب نیکل و سرب غلظت بالاتری داشتند، در سایر ایستگاه‌ها وانادیوم بالاترین غلظت را داشت (شکل ۴-الف). میانگین ۳ فلز سنگین وانادیوم، نیکل و سرب عضله‌ماهی بنی نشان داد (شکل ۴-ب) که به جز در دو ایستگاه ۱ و ۲، در ۵ ایستگاه باقی مانده سرب بالاترین غلظت را در عضله ماهی داشت (P<۰/۰۵).

در ایستگاه ۱ و ۲ وانادیوم بالاترین غلظت را داشت. نیکل در مقایسه با دو فلز سنگین دیگر کمترین غلظت را داشت (P<۰/۰۵). در عضله ماهی نیز روند افزایشی به سمت ایستگاه‌های انتهایی در مورد هر سه فلز قابل مشاهده بود (P<۰/۰۵).

جهت بررسی ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در زنجیره غذایی از همبستگی استفاده شد. نکته قابل توجه در ماتریکس همبستگی (جدول ۵) همبستگی منفی بین غلظت فلزات موجود در بافت ماهی با غلظت این فلزات در رسوبات و همبستگی مثبت بین این فلزات در آب و گیاه با غلظت فلزات در بافت ماهی است. به این معنی که با افزایش غلظت فلزات در رسوب غلظت فلزات در بافت ماهی کاهش و با افزایش غلظت فلزات در آب و گیاه غلظت فلزات در بافت ماهی افزایش یافته است.

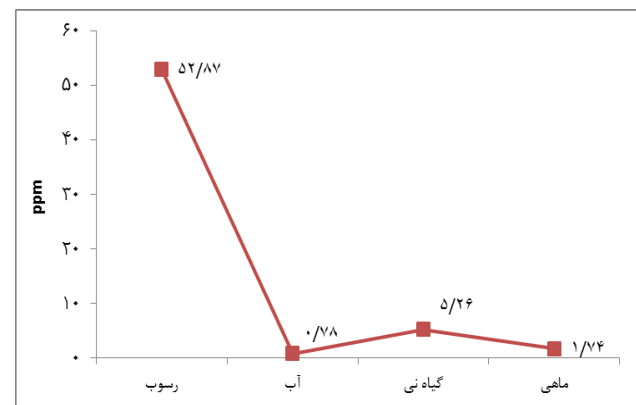
جدول ۵: ماتریکس همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در ماهی، گیاه، آب و رسوب جمع‌آوری شده از تالاب هورالعظیم (بهار، ۱۳۹۷)

ماتریکس	ماهی		گیاه		آب		رسوب	
	سرب	نیکل	سرب	نیکل	سرب	نیکل	سرب	نیکل
ماهی	سرب	۰/۳۵۲						
	نیکل	۰/۲۹۴*	۰/۲۱۳					
گیاه	سرب	۰/۲۰۸	۰/۴۵۰*					
	نیکل	۰/۵۲۸*	۰/۰۷۶	۰/۵۱۲*				
آب	سرب	۰/۴۷۲*	۰/۱۴۰	۰/۵۲۷*	۰/۶۵۸**			
	نیکل	۰/۰۲۶	۰/۱۵۸	۰/۰۶۱	۰/۰۱۸	۰/۲۱۳		
رسوب	سرب	۰/۴۹۹*	۰/۳۲۳	۰/۳۳۱	۰/۲۷۴	۰/۲۰۳	۰/۰۸۵	۰/۱۱۶
	نیکل	۰/۳۹۲	۰/۴۹۹*	۰/۳۲۳	۰/۳۳۱	۰/۲۷۴	۰/۲۰۳	۰/۰۸۵
	سرب	۰/۷۶۶**	۰/۶۷۳**	۰/۵۱۴*	۰/۳۲۹	۰/۲۵۳	۰/۰۲۳	۰/۳۱۷
	نیکل	۰/۷۶۶**	۰/۶۷۳**	۰/۵۱۴*	۰/۳۲۹	۰/۲۵۳	۰/۰۲۳	۰/۳۱۷

* همبستگی در سطح ۰/۰۵ درصد ** همبستگی در سطح ۰/۰۱ درصد

مطالعه صفاهیه و همکاران (۱۳۹۰)، در رسوبات بندر امام خمینی، غلام دخت‌بندری و رضائی (۱۳۹۴) در رسوبات ساحلی جزیره هرمز، Olakunle Moses و Olanrewaju (۲۰۱۸)، در سواحل نیجریه هم‌خوانی دارد. رسوبات منطقه هورالعظیم از نوع کواترنر (عبیات و همکاران، ۱۳۹۶) و دارای پهنه افیولیتی و سرشار از نیکل هستند (صدرمحمدی و همکاران، ۱۳۹۷) که این موضوع در کنار فعالیت نفتی در منطقه، غلظت بالاتر این فلز سنگین را در مقایسه با دو فلز دیگر تأیید می‌کند. غلظت بالای نیکل، وانادیوم تحت تأثیر زمین‌شناسی تالاب در مطالعه Antunes و همکاران (۲۰۱۸) نیز گزارش شده است. در مطالعه HosseiniAlhashemi و همکاران (۲۰۱۱)، در تالاب شادگان در استان خوزستان، میانگین نیکل موجود در رسوبات ۴۶/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در مطالعه صفاهیه و همکاران (۱۳۹۰) در رسوبات بندر امام خمینی ۷۹/۴-۵۹/۳ میکروگرم بر گرم بود (در تالاب هورالعظیم ۲۸/۵۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و حضور این فلز را با وجود آلودگی نفتی در محیط مرتبط دانستند. همچنین اندازه‌گیری‌ها نشان دادند که سرب در تالاب شادگان (۱۴/۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) از محدوده پوسته زمین عبور کرد و علت آن را مرتبط با منبع انسانی این عنصر دانستند (HosseiniAlhashemiet al., 2011). در مطالعه حاضر در تالاب هورالعظیم میانگین غلظت سرب ۲/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نشان دهنده آلودگی پایین‌تر تالاب هورالعظیم در مقایسه با تالاب شادگان است. در مورد وانادیوم نیز میانگین غلظت وانادیوم (۲۱/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تالاب هورالعظیم در مقایسه با ۳۲/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تالاب شادگان غلظت کمتری را نشان داد (HosseiniAlhashemiet al., 2011).

جهت بررسی روند کلی غلظت فلزات سنگین در زنجیره اکوسیستم تالاب هورالعظیم در شکل ۵، غلظت فلزات سنگین در رسوب، آب، گیاه نی و ماهی بنی نشان داده شده است. براساس این نمودار فلزات سنگین در رسوب و گیاه نی بالاترین غلظت و آب کمترین غلظت فلزات سنگین را در زنجیره غذایی داشت. به این ترتیب رسوبات و گیاه نی محل اصلی ذخیره فلزات سنگین در زنجیره غذایی محسوب می‌شوند.



شکل ۵: بررسی تغییرات غلظت فلزات سنگین در زنجیره اکوسیستم تالاب هورالعظیم

۳-۴ فلزات سنگین در نمونه‌های رسوب

در تالاب هورالعظیم الگوی تجمع فلزات سنگین در رسوبات به صورت نیکل < وانادیوم < سرب بود که با توجه به فعالیت اکتشاف و استخراج نفت قابل توجیه است (Karbassi and Amirnezhad, 2004). چنین الگوی تجمعی در رسوبات مورد

در زنجیره آب، رسوب و بافت ماهی نیز گزارش شده است. در ماهی نیز بین وانادیوم و بین نیکل و سرب آب و ماهی ارتباط معنی‌دار بود. Maurya و همکاران (۲۰۱۸) در ارزیابی غلظت فلزات سنگین در آب و رسوبات، ارتباط مثبت معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین نیکل، سرب و کروم در آب و رسوب را گزارش کردند. در مطالعه‌ی رجایی و همکاران (۱۳۹۱)، همبستگی بین غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگانرود را گزارش کردند که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی ندارد که علت آن غلظت پایین فلزات سنگین در آب است چنین نتیجه‌ای در مطالعه‌ی Maurya و همکاران (۲۰۱۸) گزارش شده است. همچنین بعضی از فلزات در وضعیت اکسیداسیون مشابه واکنش‌های مشابهی در محیط آبی دارند یا اینکه فلزاتی ضریب همبستگی بالایی با مواد معدنی داشته و درون سیستم آبی شسته شده و به بستر وارد می‌شوند (Aiyesanmiet al., 2006). بر اساس استاندارد جهانی (جدول ۶)، غلظت فلزات نیکل و سرب در آب تالاب هورالعظیم در محدوده‌ی استاندارد قرار داشت.

۳-۶ فلزات سنگین در نمونه‌های گیاه نی

روند تجمع فلزات سنگین در گیاه نی وانادیوم < نیکل < سرب با روند تجمع فلزات سنگین در رسوب نیکل < وانادیوم < سرب متفاوت بود. این امر ممکن است ناشی از مکانیسم‌های بافت گیاه در اجازه ورود و یا حرکت در طول گیاه باشد (Elmorsiet al., 2019). عنصر نیکل در متابولیسم نیتروژن در گیاه نقش دارد و ریشه گیاهان این عنصر را از رسوبات جذب می‌کند و اما حدود ۹۰ درصد نیکل در رسوبات در فاز اتصالی باقی مانده و بخش کمی توسط ریشه جذب می‌شود که غلظت پایین‌ترین این عنصر در گیاه را در مقایسه با رسوب توجیه می‌کند. از سوی دیگر شبکه‌ی پیچیده‌ای از انتقال و فرآیندهای تجزیه‌ای در گیاهان وجود دارد که باعث می‌شود فلزات غیر ضروری را در حداقل مقدار نگه دارند و مانع ایجاد آسیب در سطح سلولی گردند (MadhavaRao et al., 2006). در مورد سرب به دلیل عدم کارکرد مشخص در گیاه، جذب این فلز توسط ریشه در حداقل قرار داد اما غلظت بالاتر آن در برگ و قرار گرفتن در رده دوم، ممکن است به سبب آلوده بودن هوای منطقه باشد. چنین نتیجه‌ای

براساس استاندارد USEPA نیکل در محدوده‌ی آلودگی کم قرار داشت اما براساس استاندارد marine sediment quality NOAA guideline (ERM) (NOAA, 1999) با حد استاندارد نیکل ۵۱/۶ و سرب ۲۱۸ میکروگرم بر گرم و بر اساس استاندارد RSA guideline با حد استاندارد نیکل ۸۰-۷۰ و سرب ۳۰-۱۵ میکروگرم بر گرم، غلظت فلزات در رسوبات مطالعه حاضر بسیار بالاتر است. میزان ذخیره فلزات در رسوب با مقادیر فلزات مشابه در رسوبات سایر نقاط ایران و جهان در جدول ۶ مقایسه شده است. شاخص‌های زیست محیطی اندازه‌گیری شده در مخازن تالاب هورالعظیم از نظر سطح سه فلز نیکل، سرب و وانادیوم درجه‌ی آلودگی اکولوژیکی پایین را نشان داد. در تالاب شادگان، شاخص آلودگی وضعیت آلودگی را متوسط تا بسیار زیاد نشان داد (HosseiniAlhashemiet al., 2011) که با توجه به غلظت فلزات سنگین در تالاب شادگان قابل توجیه است.

۳-۵ فلزات سنگین در نمونه‌های آب

براساس جدول ۶، غلظت فلزات سنگین در آب ۰/۷۸ میلی-گرم بر لیتر در مقایسه با بخش‌های دیگر زنجیره غذایی کمترین غلظت را به خود اختصاص داد. وجود آلودگی در بدنه‌ی آب موجب تاثیر منفی بر روی محیط زیست دریا می‌شود و غلظت-های بالاتر از حد مجاز می‌تواند بر روی بیوتای دریایی تاثیرات مخربی گذاشته و زنجیره‌غذایی تولیدات دریایی را تحت تاثیر بگذارد (Wang et al., 2020). در مطالعه‌ی حاضر غلظت فلزات سنگین در آب ترتیبی به صورت وانادیوم < سرب < نیکل نشان داد که مقادیر نیکل و سرب با یکدیگر اختلاف اندکی داشتند ($P > 0/05$). همچنین غلظت فلزات سنگین در آب در مقایسه با سایر اجزا زنجیره غذایی (رسوبات، گیاه نی و ماهی) کمتر بود. در مطالعه‌ی NejatkhahManavi (۲۰۱۳) غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، روی و مس در آب در مقایسه با رسوب و گیاهان آبی به شکل معنی‌داری کمتر بود.

همبستگی بین اجزای مختلف زنجیره غذایی نشان داد که فلزات سنگین آب با فلزات سنگین گیاه و رسوب همبستگی نداشتند که این عدم همبستگی علاوه بر اینکه ناشی از تغییرات کنترل شده در جریان آب است ناشی از جذب سریع آلودگی توسط رطوبت و عدم توانایی آب در نگه‌داری فلزات است که در مطالعه‌ی Weber و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی فلزات سنگین

قابل جذب توسط گیاه نبوده و از دسترسی خارج هستند که سبب شده است غلظت فلزات مورد بررسی در محدوده‌ی مجاز تعیین شده برای گیاهان باقی بماند (جدول ۶). همچنین یون‌های فلزی توسط اپیدرم ریشه جذب می‌شوند و وجود نوار کاسپارین در ریشه و عدم نفوذپذیری دیواره‌ی آوندهای چوبی در ریشه سبب می‌شود قسمتی از این یون‌های فلزی از دسترس سایر قسمتهای گیاه خارجی می‌شود. (Macfarlane et al., 2007).

در مطالعات چراغی و همکاران (۱۳۹۱) در استان خوزستان و در مورد درخت حرا نیز گزارش شده است. براساس نتایج این مطالعه میزان تجمع فلزات در رسوب بیشتر از بافت‌های گیاه نی بود. اکوسیستم‌های تالابی به دلیل شرایط اکسیداسیون - احیا، سیلاب‌های دوره‌ای حاصل از جزر و مد، بالا بودن میزان مواد آلی و سولفید، محل مناسبی برای ذخیره فلزات سنگین بخصوص در فازهای نامحلول و به ویژه فازهای آلی و باقی مانده هستند که

جدول ۶: مقایسه مقادیر فلزات سنگین در بخش‌های مختلف تالاب هورالعظیم با مقادیر این ترکیبات در سایر نقاط جهان

منطقه فلز	تالاب هورالعظیم (mg/kg)	رسوبات جزیره هرمز، ایران (mg/kg)	رودخانه بهمنشیر، ایران (mg/kg)	رودخانه Monfortinho پرتغال (mg/kg)	تالاب Huixian, چین (mg/kg)	استاندارد
نیکل	۲۸/۵۶	۳۷/۱۱	-	۲۴	۴۳/۰۴	غیر آلوده <۲۰
سرب	۲/۷۴	۱۴/۴۴	۰/۱۰-۱/۸۹	۱۴	۴۶/۵۹	آلودگی کم ۲۰-۵۰
وانادیوم	۲۱/۵۷	۳۱/۱۲	۰/۰۱۱-۰/۰۳۷۳	۰/۸	-	آلودگی شدید >۵۰
منبع	مطالعه‌ی حاضر	غلام دخت بندری و رضائی، ۱۳۹۴	کوشافر و همکاران، ۱۳۹۷	Antuneae et al., 2018	Huang et al (2020)	USEPA, 1993
منطقه فلز	تالاب هورالعظیم (mg/kg)	شمال الجزیره (µg/L)	خور زنگی، ایران (mg/kg)	دریاچه مانزلا، مصر (µg/L)	رودخانه براهماپورا، بنگلادش	غلظت در آب‌های جهان (mg/L)
نیکل	-	۰/۱۱	۳/۶۳	۱۳/۹۹-۵۱/۵۴	۰/۴۴	۱۰/۳۹-۱۵
سرب	-	۰/۱۲	-	-	۰/۱۱	۰/۰۴-۵/۸۰
وانادیوم	-	۰/۵۵	-	۶/۴۵-۷۲/۶۴	-	-
منبع	مطالعه‌ی حاضر	مطالعه‌ی حاضر	Mohammed Bela et al., 2019	Elmorsiet et al., 2019	Bhuyan et al., 2019	Kabatta-Pendias et al., 2010
منطقه فلز	تالاب هورالعظیم، گیاه نی (mg/kg)	بندر امام خمینی، ایران	جزیره قشم، ایران، حرا	تالاب نصری، ایران	رودخانه و دریاچه تایهو، چین (mg/kg)	استاندارد سطح طبیعی فلزات در گیاهان (mg/kg)
نیکل	-	۰/۷۱	۶/۱۸	-	۶-۱۲/۶	۰/۱-۵
سرب	-	۰/۷۹	۱۰/۷۱	۰/۳۹۹۵-۰/۴۹۲۵	۳/۱-۱۱/۳	۵-۱۰
وانادیوم	-	۱/۲۶	-	-	۲۴/۲-۳۰	۰/۲-۱/۵
منبع	مطالعه‌ی حاضر	مطالعه‌ی حاضر	چراغی و همکاران، ۱۳۹۱	پاینده و همکاران، ۱۳۹۷	Bai و همکاران (۲۰۱۸)	Kabata-Pendias, 2010
منطقه فلز	تالاب هورالعظیم، ماهی بنی (mg/kg)	خلیج فارس، ایران (ماهی حلوا سفید)	دریای خزر، تاس ماهی (Acipenser persicus) (µg/kg)	سواحل Lagos, نیجریه Sarotherodon melanocheilus (µg/kg)	سواحل الجزیره (Sardinia pilchardus) (mg/kg)	مصرف انسانی (mg/kg)
نیکل	-	۰/۲۰	۱/۶۵	۰/۶۹-۰/۸۵	-	۴
سرب	-	۰/۹۵	۰/۳۹	۰/۶۲-۳/۶۱	۲/۱۳	۰/۵-۱/۵
وانادیوم	-	۰/۵۹	۱/۳۸	-	-	۰/۵
منبع	مطالعه‌ی حاضر	مطالعه‌ی حاضر	عربیان و همکاران، ۱۳۸۹	مشروفه و همکاران، ۱۳۹۲	Mehouelet et al., 2019	WHO, 1985

۳-۷ فلزات سنگین در نمونه‌های ماهی بنی

همکاران (۱۳۹۶)، میانگین غلظت فلزات سنگین در عضله هشت گونه ماهی حلوا سفید (*Pampus argenteus*)، شانک زردباله (*Acanthopagrus latus*)، هامور معمولی (*Epinephelus coioides*)، بیا (*Liza macrolepis*)، مید (*Liza klunzingeri*)،

میانگین فلزات سنگین مورد مطالعه در عضله ماهی بنی به صورت سرب < وانادیوم < نیکل بود. در مطالعه امیدپور و

استخراجی به ایستگاه‌های ۱ و ۲ که فعالیت نفتی در آنها وجود ندارد است که با توجه به جریان آب، این انتقال آلودگی باید مد نظر قرار گیرد. رجایی و همکاران (۱۳۹۱) بر روی همبستگی فلزات روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب روخانه گرگانرود، همبستگی قوی بین غلظت فلزات سنگین آب و رسوب گزارش کردند که با توجه اینکه در این خلیج بر خلاف هورالعظیم که سطح جریان آب کنترل شده است و خود تالاب به دلیل فعالیت‌های نفتی به حوضچه‌های مجزایی تبدیل شده است قابل توجه است.

میرزایی و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی روند تغییرات آلودگی‌های نفتی در آب و رسوبات حوزه جنوبی دریای خزر نیز غلظت مواد آلاینده در رسوب را بیشتر از آب گزارش کردند اما همبستگی بین این آلاینده‌ها را مشخص نکردند. در مورد گیاه نی، نتایج همبستگی ارتباطی بین غلظت فلزات در آب و رسوب با غلظت آنها در گیاه نشان نداد. Bai و همکاران (۲۰۱۸) کارآمدی گیاهان در جذب تعدادی از فلزات سنگین از محیط اطراف را عامل ارتباط و همبستگی بین غلظت فلزات سنگین با رسوبات دانستند که در مطالعه‌ی Bai و همکاران (۲۰۱۹) در چهار گیاه آبری *Potamogetonmalaianus*، *Nymphaeapeltata*، *Eichhorniacrassipes* و *Hydrillaverticillata* نیز عدم همبستگی بین رسوب و گیاه نیز گزارش شده است. از طرفی عدم همبستگی بین جذب فلزاتی نظیر نیکل و مس با غلظت این فلزات در رسوب را به دلیل مکانیسم عدم جذب این فلزات توسط گیاه گزارش کردند که به نظر می‌رسد در مطالعه‌ی حاضر با توجه به اختلاف زیاد بین غلظت فلزات رسوب و گیاه نیز این موضوع برقرار باشد و همچنین علت پایین‌تر بودن غلظت فلزات سنگین در گیاه در مقایسه با استاندارد را تایید می‌کند. علاوه بر رسوب و آب، ارتباط رگرسیون بین فلزات سنگین ماهی و گیاه معنی‌دار بود که نشان دهنده انتقال آلاینده‌ها در طول زنجیره‌ی غذایی است. علاوه بر این غلظت کم فلزات سنگین در آب، نشان دهنده‌ی این موضوع است که انتقال آلودگی به ماهی ناشی از غذا (گیاه نی) و پوده خواری از رسوبات است. خطر انتقال آلودگی فلزات سنگین در طول زنجیره غذایی در مطالعه‌ی Sharaf و Shehata (۲۰۱۵) در بررسی غلظت و انتقال فلزات سنگین در آب، رسوبات و بافت *Cyclopeneritea* در سواحل مصر نیز گزارش شده است. Elmorsi و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که غنی‌سازی بیوتا با فلزات سنگین تحت تاثیر غلظت فلزات سنگین

صبور (*Tenualosa ilisha*)، کفشک زبان گاوی (*Cynoglossus arel*) و زمین کن دم نواری (*Platycephalus indicus*) در منطقه‌ی بحرکان به صورت نیکل-وانادیوم، در مطالعه‌ی عریان و همکاران (۱۳۸۹) ترتیب فلزات به صورت نیکل-وانادیوم-سرب هم‌خوانی ندارد اما در مطالعه دادالهی سهراب و خیرور (۱۳۸۹) در ماهی شیربت (*Barbusgrypus*) سواحل هرمزگان غلظت سرب با ۱۶/۴۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم بالاتر از غلظت نیکل (۰/۷۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد. بالا بودن غلظت فلز سرب در عضله علاوه بر غلظت بالای آن در محیط زیست اطراف می‌تواند ناشی از تمایل این فلز به تجمع در بافت‌های پرتحرک آب‌زیان باشد. در مقایسه با استاندارد مصرفی WHO مقدار نیکل بافت عضله ماهی کمی بالاتر از حد مجاز تعیین شده است که زنگ خطری برای افزایش آلودگی محسوب می‌شود. براساس EPA (۲۰۰۵) حتی مقادیر ناچیز نیکل در افرادی که دارای حساسیت نسبت به این فلز سنگین هستند می‌تواند منجر به التهاب شدید پوستی شود. در مورد سرب و وانادیوم مقایسه میانگین غلظت فلزات در عضله ماهی بنی با استانداردها WHO و NHMRC، ناسالم بودن عضله ماهی را از نظر تغذیه نشان داد.

۳-۱ تحلیل ارتباط بین میزان فلزات سنگین در حلقه‌های زنجیره زیستی تالاب هورالعظیم

همبستگی بین غلظت فلزات سنگین در رسوبات و آب نشان داد که بین غلظت فلزات نیکل، سرب و وانادیوم موجود در رسوب و آب هیچ گونه همبستگی وجود نداشت که این موضوع را می‌توان به دلیل تغییر شرایط محیط‌های آبی نظیر جریان آب، تغییر غلظت آلودگی در آب با نوسانات دبی و غلظت ورودی توجیه کرد. مخازن تالاب هورالعظیم از طریق آبیگری از مناطق بالا دست پر شده و آب مدت زمان طولانی در تالاب باقی نمی‌ماند و این موضوع سبب شده است که غلظت آلودگی درون آب، نشان دهنده واقعیت آلودگی تالاب هورالعظیم نباشد و ارتباط چندانی بین غلظت فلزات سنگین در آب و رسوب نباشد. محبوبی صوفیانی و همکاران (۱۳۹۴) سرعت رفت و برگشت آب‌های آلوده به مواد نفتی و زمان تماس آب آلوده با رسوبات را جز عوامل موثر در انتقال آلودگی به رسوبات و گیاهان ذکر کرد. نکته قابل توجه دیگر، انتقال آلودگی از ایستگاه‌های دارای فعالیت

ماهی *Paetodeserumei* در استان بوشهر. خلیج فارس، مجله پژوهش‌های جانوری، جلد ۲۸، صفحات ۴۴۹-۴۴۱.

دادالهی سهراب، ع.؛ ثقیلی، م.؛ خیرور، ن.، ۱۳۸۹. غلظت فلزات سنگین نیکل، کادمیوم، سرب و مس در جلبک‌ها و رسوبات مناطق ساحلی استان هرمزگان (بندر عباس و بندر لنگه). مجله علمی شیلات ایران، جلد ۲۰، صفحات ۴۲-۳۱.

رجایی، ق.؛ حسن پور، م.؛ مهدی نژاد، م.م.، ۱۳۹۱. عنوان بررسی غلظت فلزات سنگین روی، سرب، کروم و کادمیوم در آب و رسوب خلیج گرگان و مصب رودخانه گرگانرود. مجله تحقیقات نظام سلامت، ۸، ۷۵۶-۷۴۸.

رضایی، م.؛ پاپهن، ف.، ۱۳۹۲. بررسی فون ماهیان تالاب هورالعظیم. نشریه پژوهش‌های ماهی‌شناسی کاربردی، جلد ۲، صفحات ۶۰-۵۳.

صدرمحمدی، ن.؛ قربانی، ع.، ۱۳۹۷. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات آبرفتی کواترنری با بهره‌گیری از RS و GIS در منطقه نصرت آباد. باختر زاهدان، فصلنامه کواترنری ایران، جلد ۴، صفحات ۲۱-۱.

صفاهیه، ع.؛ فرهاد، م.؛ نبوی، م.ب.؛ غانمی، ک.؛ موحدی‌نیا، ع.؛ داراب-پور، م.، ۱۳۹۰. تجمع فلزات سنگین Ni، V، Cu و Pb در رسوب و دو کفهای *Crassostrea gigas* در بندر امام خمینی. اقیانوس‌شناسی، جلد ۲، صفحات ۵۹-۴۹.

عبیات، ا.؛ اژدری، ع.؛ جودکی، م.؛ درویشی‌خاتونی، ج.، ۱۳۹۶. بررسی و تفکیک محیط‌های رسوبی کواترنری در دشت خوزستان. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، جلد ۲۵، صفحات ۶۴-۲۹.

عریان، ش.؛ تاتینا، م.؛ قریب‌خانی، م.، ۱۳۸۹. بررسی اثرات آلودگی نفتی در حوزه شمالی خلیج فارس بر میزان تجمع فلزات سنگین (نیکل، سرب، وانادیوم و کادمیوم) در بافت عضله ماهی حلوا سفید (*Pampus gasteus*). مجله اقیانوس‌شناسی، جلد ۱، صفحات ۶۸-۶۱.

غلام‌دخت بندری، م.؛ رضائی، پ.، ۱۳۹۴. مطالعه آلودگی فلزات سنگین رسوبات ساحلی جزیره هرمز و منشا آن‌ها. اقیانوس‌شناسی، جلد ۶، صفحات ۱۰۶-۹۷.

کوشافر، آ.؛ سواری، ا.؛ سخایی، ن.؛ ارچنگی، ب.؛ کریمی اورگانی، ف.، ۱۳۹۷. تعیین سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین در آب و رسوبات رودخانه بهمن‌شیر. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، جلد ۱۰، صفحات ۶۴-۵۳.

محبوبی‌صوفیانی، ن.؛ مرادی، ح.؛ رضوی، ز.؛ حیدری خسرو،

در آب، رسوبات و گیاهان گزارش کردند که با یافته‌های مطالعه‌ی حاضر هم‌خوانی دارد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه وجود ارتباط و انتقال فلزات سنگین (نیکل، سرب و وانادیوم) در طول زنجیره غذایی (رسوب، آب، گیاهی نی و ماهی بنی) را تایید کرده و نشان می‌دهد غلظت فلزات سنگین با حرکت از رسوب به گیاه به ماهی کاهش یافت و آب کمترین غلظت فلزات سنگین را داشت. از نظر استانداردهای مورد بررسی رسوبات تالاب هورالعظیم در وضعیت آلودگی کم قرار داشتند اما ماهی بنی در وضعیت غذایی ناسالم قرار داشت. شاخص‌های آلودگی رسوبات افزایش سطح آلودگی را با افزایش فعالیت انسانی (ایستگاه‌های ۶ و ۷) نشان می‌دهد که زنگ خطری برای افزایش و گسترش آلودگی در تالاب هورالعظیم است. همچنین به دلیل شرایط تقریباً انسان ساخت که شامل حوضچه بندی و راهسازی کنترل شده‌ی آب به درون تالاب است همبستگی‌های مورد انتظار بین اجزای زنجیره در تالاب هورالعظیم دست‌خوش تغییر شده است.

منابع

امیدپور، آ.؛ عسکری‌ساری، ا.؛ جوادزاده پورشالکوهی، ن.، ۱۳۹۶. تجمع فلزات نیکل و وانادیوم در عضله هشت گونه ماهی منطقه بحرکان بندر هندیجان (خلیج فارس). مجله علمی شیلات ایران، جلد ۴، صفحات ۱۷۲-۱۶۱.

پاینده، خ.؛ رومیانی، ل.؛ ولایت‌زاده، م.، ۱۳۹۷. بررسی تغییرات برخی عناصر در گیاه آبی نی (*Phragmites australis*) تالاب ناصری در فصول بهار و پاییز. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب، جلد ۳۵، صفحات ۹۴-۷۶.

چراغی، م.؛ دادالهی سهراب، ع.؛ صفاهیه، ع.؛ غانمی، ک.؛ دروقی، ع.، ۱۳۹۱. بررسی تجمع فلزات سنگین در بستر، برگ و ریشه گیاه حرا (*Avicennia marina*) در استان خوزستان. مجله علوم و فنون دریایی، جلد ۴، صفحات ۵۶-۴۶.

حسینی، م.؛ باقرنبوی، س.م.؛ گلشنی، ر.؛ نرگس‌نبوی، ن.؛ رئیس‌سرایب، ع.، ۱۳۹۴. آلودگی فلزات سنگین (نیکل، مس، سرب، کبالت و کادمیوم) در رسوب و بافت‌های کبد و ماهیچه کفشک

2017. Comparative Assessment of Total Hydrocarbon Content and Bioaccumulation of Heavy Metals in Sarotherodon Melanotheron at Atlas Cove Area and Okobaba of Lagos Lagoon. *Iranian Journal of Energy and Environment*, 8: 152-159.
- Bai, L.; Liu, X.; Hu, J.; Li, J.; Wang, Z.; Han, G.; Li, S.; Liu, C., 2018. Heavy Metal Accumulation in Common Aquatic Plants in Rivers and Lakes in the Taihu Basin. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15: 1-12.
- Berman, S., 1995. Fourth Round Intercom Parison for trace Metal in Marin sediments and Biological tissues NOVAL BTA. National Research council Canada. Ottawa.
- Bhuyan, S.; Bakar, M.; Nabi, R.; Senapathi, V., 2019. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment of the Old Brahmaputra River, Bangladesh. *Applied Water Science*, 9: 125-138.
- Bhuyan, S.; Baker, M.; Nabi, R.; Senapathi, V.; Chung, S.; Islam, S., 2019. Monitoring and assessment of heavy metal contamination in surface water and sediment of the Old Brahmaputra River, Bangladesh, 9: 125-138.
- Coad, B.W., 2006. Endemicity in the freshwater fishes of Iran. *Iranian Journal of Animal Biosystematics*, 1(1): 1-13.
- Dudhagara, D.R., Rajpara, R.K., Bhatt, J.K., Gosai, H.B. Sachaniya, B.K. and Dave, B.P.m 2016. Distribution, sources and ecological risk assessment of PAHs in historically contaminated surface sediments at Bhavnagar coast, Gujarat, India. *Environmental Pollution*, 213: 338-346.
- Dadollahi Sohrab, A., Saghily, M., Khivar, N., 2011. Heavy metals (Ni, Cd, Pb, Cu) concentrations in seaweed and sediments along the coastal areas of Hormuzgan province (Bandar Abbas and Bandar Lengeh). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 20: 31-36.
- ع.؛ میرغفاری، ن.، ۱۳۹۴. اثر برخی خواص فیزیکوشیمیایی رسوب بر غلظت فلزات سنگین نیکل و وانادیوم در رسوبات رویشگاه، ریشه و برگ درختان مانگرو. محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، جلد ۶۶۸، صفحات ۲۹۲-۲۷۷.
- مشروفه، ع.؛ ریاحی بختیاری، ع.؛ پورکاظمی، م.، ۱۳۹۱. بررسی میزان فلزات سنگین کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در بافت‌های مختلف فیل ماهی و ازون برون و ریسک ناشی از مصرف بافت عضلانی آن‌ها مربوط به حوضه جنوبی دریایی خزر. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، جلد ۲۲، صفحات ۹۷-۹۰.
- میرزایی، م.؛ معتضدی، م.ر.؛ نیکبختی، آ.، ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات آلودگی‌های هیدرکربورهای نفتی در آب و رسوبات حوضه جنوبی دریای خزر. نشریه محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، جلد ۶۷، صفحات ۲۳۲-۲۲۳.
- Abdoli, A., 2000. The Inland Water Fishes of Iran. *Iranian Museum of Nature and Wildlife*, Tehran. 280P.
- Adesina, G.; Adelasoye, K., 2014. Effect of crude oil pollution on heavy metal contents, microbial population in soil and maize and cowpea growth. *Journal of Agricultural Science*, 5: 43-50.
- Aiyesanmi, A.F., 2006. Baseline concentration of heavy metals in water samples from rivers within okitipupa southeast belt of the Nigerian bitumen field. *Journal of Chemical Society of Nigeria*, 31: 30-37.
- Akan, J.C.; Abdulrahman, F.I.; Sodipo, O.A.; Akandu, P.I., 2009. Bioaccumulation of some heavy metals of six fresh water fishes caught from Lake Chad in DoronBuhari, Maiduguri, Borno State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Sanitation*, 4(2): 103-114.
- Antunes, M.; Albuquerque, M.; Roque, N., 2018. Spatial environmental risk evaluation of potential toxic elements in stream sediments. *Environmental Geochemistry and Health*, 40: 1-4.
- APHA, AWWA, WPCF., 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 ed. Washington DC, USA: American Public Health Association.
- Ayoola, S.O.; Olorunsanmi, G.T.; Oke, A.O.,

- Southeast Coast of India. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 1(1): 63-65.
- Lucke, K., Clement, D., Todd, V., Williamson, L., Johnston, O., Floerl, L., Cox, S., Todd, I. and McPherson, C.R., 2019. Potential Impacts of Petroleum and Mineral Exploration and Production on Hector's and Māui Dolphins. Document 01725, Version 1.0. Technical report by JASCO Applied Sciences, Cawthron Institute, and Ocean Science Consulting Ltd. for the Department of Conservation, New Zealand.
- MacFarlane, G.R., Koller, C.E. and Blomberg, S.P., 2007. Accumulation and partitioning of heavy metals in mangroves: a synthesis of field-based studies. *Chemosphere*, 69(9): 1454-64.
- Madhava Rao, K.V.; Raghavendra, A.S.; Janardhan Reddy, K. 2006. *Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants*. Springer press, 351P.
- Massoud, M. S.; Al-Abdali, F.; Al-Ghadban, A. N.; Al-Sarawi, M., 1996. Bottom sediments of the Arabian Gulf—II. TPH and TOC contents as indicators of oil pollution and implications for the effect and fate of the Kuwait oil slick. *Environmental Pollution*, 93: 271-284
- Maurya, A.; Negim T.; Negi, R., 2018. Seasonal Assessment of Heavy Metal Pollution in Water and Sediment of Fish Pond at Bhagwanpur, Roorkee (U.K.), India. *Asian Journal of Animal Sciences*, 12: 16-22.
- Maurya, A.; Negi, T.; Negi, R., 2018. Seasonal Assessment of Heavy Metal Pollution in Water and Sediment of Fish Pond at Bhagwanpur, Roorkee (U.K.), India. *Asian Journal of Animal Sciences*, 12 (1): 16-22.
- Mehouel, F.; Bouayad, L.; Hammoudi, A.H.; Ayadi, O.; Regad, F., 2019. Evaluation of the heavy metals (mercury, lead, and cadmium) contamination of sardine (*Sardinapilchardus*) and swordfish (*Xiphiasgladius*) fished in three Algerian coasts. *Veterinary World*, 12(1): 7-11.
- 42.
- Eaton, A.D.; Franson, M.A., 2005. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association.
- Elmorsi, R.; Abou-el-sherbini, K.; Mostafa, G.; Hahamed, M., 2019. Distribution of essential heavy metals in the aquatic ecosystem of Lake Manzala, Egypt. *Heliyon*, 5: 2276-2287.
- EPA, 2005. Risk-Based Concentration Table, April, 2005. U.S. EPA, Region 3, Philadelphia, EPA.
- Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach, *Water Research*, 14: 975-1001.
- Hosseini Alhashemi, A.; Reza Karbassi, A.; Hassanzadeh Kiabi, B.; Monavar, S.M.; Nabav, M.B., 2011. Accumulation and bioaccessibility of trace elements in wetland sediments. *African Journal of Biotechnology*, 10 (9): 1625-1636.
- Huang, L.; Rad, S.; Xu, L.; Gui, L.; Song, X.; Li, Y.; Wu, Z.; Chen, Z., 2020. Heavy Metals Distribution, Sources, and Ecological Risk Assessment in Huixian Wetland, South China. *Water*, 12: 1-14.
- International Energy Outlook, 2014. Prepared by the Energy Information Agency, US Department of Energy. www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html.
- Kabata-Pendias, A., 2010. *Trace Elements in Soils and Plants*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA.
- Karbassi, A.R.; Amirnezhad, R., 2004. Geochemistry of heavy metals and sedimentation rate in a bay adjacent to the Caspian Sea. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(3): 199-206.
- Krika, A.; Krika, F., 2018. Assessment of Heavy Metals Pollution in Water and Sediments of Djendjen River, North Eastern Algeria. *Pollution*, 4(3): 495-502
- Lakshmanan, R.; Kesavan, K.; Vijayanan, P.; Rajaram, V.; Rajagopal, S., 2019. Heavy metals accumulation in five commercially important fishes of Parangipettai,

- Osun river basin, Oke-Odan, Yewa South local government area of Ogun State, Nigeria. *Journal of Scientific and Innovative Research*, 7(4): 88-91.
- Sharaf, H.M.;Shehata, A.M., 2015.Heavy metals and hydrocarbon concentrations in water, sediments and tissue of Cyclopeneritea from two sites in Suez Canal, Egypt andhistopathological effects.Sharaf and Shehata *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13: 14- 22.
- USEPA, 1993.Provisional guidance for quantitative risk assessment of PAH, EPA/600/R-93/089.United states Environmenta Protection Agency.
- Wang, L.; Li, H.; Dang, J.; Zhao, Y.; Zhu, Y.;Qiao, P., 2020.Effects of Urbanization on Water Quality and the Macrobenthos Community Structure in the Fenhe River, Shanxi Province, China.*Hindawi Journal of Chemistry*, 486: 1-9.
- Weber, P.; Behr, E.; Knorr, C.;Vendruscolo, D.; Flores, E.; Dressler, V.;Baldisserotto, B. 2013.Metals in the water, sediment, and tissues of two fish species from different trophic levels in a subtropical Brazilian river.*Microchemical Journal*, 106: 61-66.
- World Health Organisation (WHO), 1985.Guidelines for Drinking Water Quality, Recommendation, WHO, Geneva, P 130.
- Yang, S.; He, M.;Zhi, Y.; Chang, S.;Gu, B.; Liu, X.;Xu, J., 2019. An integrated analysis on source-exposure risk of heavy metals in agricultural soils near intense electronic waste recycling activities.*Environment International*, 133: 105239-105249.
- Mhadhbi, L.;Boumaiza, M., 2012. Toxic Effects of Acute Exposure of Diazinon in turbot (*Psetta maxima*) early Life Stage (ELS). *International Journal of Environmental Research*, 6 (1): 139-144
- Mohammed Bela, A.A.;Belal, M.;Mahi, A.;Fattah, A., 2019.Macro-benthic invertebrates as a bio-indicator for water and sediment quality in Suez Bay, Red Sea. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 45: 123-130.
- Monroy, M.;Maceda-Veiga, A.;Sostoa, A., 2014. Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*, 487: 233–244.
- MOOPAM, 1999. The Regional Organization for the Protection of the Marine Environment (ROPME), theirdedition.Kuwait.State of Kuwait.
- NejatkhahManavi, P.N., 2013. Heavy Metals in Water, Sediment and Macrobenthos in the Intertidal Zone of Hormozgan Province, Iran. *Marine Science*, 3: 39-47.
- NOAA, 1999. Sediment quality guideline developed for the national status and trendsprogram. National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Ohiozebau, E.;Tendler, B.; Codling, G.; Kelly, E.;Giesy, J.P.;Jones, P.D., 2017. Potential health risks posed by polycyclic aromatic hydrocarbons in muscle tissues of fishes from the Athabasca and Slave Rivers, Canada.*Environmental Geochemistry and Health*, 39: 139-160.
- Olakunle Moses, M.;Olanrewaju, M.J., 2018. An assessment of heavy metals in the sediments of Ogun-