



مقایسه نرخ انباشتگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بی‌مهرگان کفزی و ماهی خیاطه (*Alburnoides eichwaldii*) در رودخانه تجن استان مازندران، ایران

مهدیه حسنی^۱، حسین رحمانی^{۱*}، خسرو جانی‌خلیلی^۱، داریوش مقدس^۲

^۱ گروه شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ اداره کل حفاظت محیط‌زیست مازندران

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۶/۰۴/۲۱

اصلاح: ۹۷/۰۲/۰۱

پذیرش: ۹۷/۰۲/۲۴

کلمات کلیدی:

بی‌مهرگان کفزی

رودخانه تجن

سرب

کادمیوم

ماهی خیاطه

این مطالعه به منظور بررسی روند انتقال فلزات سنگین (کادمیوم و سرب) از آب به بی‌مهرگان کفزی و ماهی خیاطه (*A. eichwaldii*) در فصول بهار و پاییز در ۵ ایستگاه در رودخانه تجن استان مازندران انجام شد. میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم در نمونه‌های آب، بی‌مهرگان کفزی و بافت‌های عضله و کبد ماهی خیاطه توسط دستگاه ICP-OES قرائت شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین غلظت این فلزات در فصول و ایستگاه‌های مختلف در آب و بی‌مهرگان کفزی دیده نشد ($p > 0.05$). در بی‌مهرگان کفزی میانگین غلظت فلز سرب در فصول بهار و پاییز به ترتیب $۶۴/۸۱۵ \pm ۵۸/۳۸۱$ و $۶۷/۷۴ \pm ۷۱/۴۸$ و فلز کادمیوم $۵/۲۴۹ \pm ۳/۳۲$ و $۷/۱۴۸ \pm ۴/۵۳$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بود. بیشترین و کمترین میزان فلز سرب در بافت عضله ماهی $۲/۰۴$ و $۰/۴۷۱$ میکروگرم بر گرم وزن خشک بوده که در ایستگاه اول دارای اختلاف معنی‌داری با ایستگاه پنجم بود ($p < 0.05$). بیشترین و کمترین غلظت فلز کادمیوم در عضله ماهی به ترتیب $۰/۰۰۶$ و $۰/۰۰۲$ میکروگرم بر گرم وزن خشک به دست آمد ($p < 0.05$). در مطالعه حاضر، میزان انباشتگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بی‌مهرگان کفزی بیشتر از عضله ماهی خیاطه است ($p < 0.05$). روند انتقال فلزات سنگین در طول زنجیره غذایی مشخص گردید که تجمع فلزات سنگین با افزایش سطح غذایی روند معکوسی نشان می‌دهند و میزان فلزات سنگین در بی‌مهرگان کفزی بیشتر از بافت‌های مورد بررسی ماهی خیاطه بوده است.

مقدمه

آب‌های سطحی، پتانسیل زیادی برای آلوده شدن دارند و از دیرباز به طور جدی از سوی جوامع شهری و مراکز صنعتی مورد تهدید بوده‌اند. با توجه به اینکه منابع آب‌های سطحی به عنوان عمده‌ترین منابع تأمین آب آشامیدنی مورد استفاده انسان قرار گرفته‌اند، حفاظت از آن‌ها سهم عمده‌ای در توسعه بهداشت ملی و منطقه‌ای دارد (Erfanmanesh and Afyuni, 2011). آلودگی اکوسیستم‌های آبی به آلاینده‌های مختلف همانند سایر اکوسیستم‌ها یکی از مشکلات جامعه جهانی محسوب می‌شود (Bagheri et al., 2011) و برای موجودات زنده آبری از جمله ماهیان تهدید اصلی به شمار می‌رود (Santos et al., 2005).

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: Shemaya1975@yahoo.com

پاسخ این موجودات زنده آبرزی به آلاینده‌ها متفاوت بوده و کیفیت و شکل عناصر در آب، رسوب یا غذا، درجه جذب این عناصر را تعیین می‌کند (Begum et al., 2009).

در سال‌های اخیر برای تأمین نیازهای غذایی، توجه بیشتری به منابع آبی معطوف گشته و آبزیان به عنوان یکی از منابع غذایی انسان‌ها، عناصر شیمیایی تخلیه شده به آب‌ها را در بدن خود تجمع نموده و این عناصر در جریان چرخه‌های زیستی به سطوح غذایی بالاتر و در نهایت انسان‌ها منتقل می‌شوند. ورود مواد آلوده کننده به آب‌ها و تجمع آن‌ها در بافت‌های مختلف آبزیان به واسطه خطراتی که برای انسان و دیگر موجودات ایجاد می‌کنند از دیدگاه بهداشتی، اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد (Kheyrvar and Dadollahi, 2010).

مطالعات متعدد نشان داده است که با ورود پساب‌ها، فاضلاب‌ها و روان‌آب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی به داخل رودخانه‌ها و تجاوز به حریم و بستر رودخانه‌ها و تغییر کاربری آن‌ها، غلظت برخی آلاینده‌ها و مواد سمی از جمله مواد مغذی، فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، کدورت، اکسیژن بیولوژیکی و اکسیژن شیمیایی مورد نیاز افزایش یافته و سبب کاهش اکسیژن محلول، افزایش مواد مغذی، افزایش غلظت و تجمع فلزات سنگین و کاهش زی‌توده آبزیان در رودخانه‌ها گردیده است (Hinck et al., 2001; Tajrishy, 2001; Kazemzadeh et al., 2002; Miserendino et al., 2008; 2009).

ترکیبات سرب در محیط‌های دریایی بر حسب اندازه به صورت محلول، کلئید و جامد یافت می‌شوند به طوری که با افزایش اندازه آن از میزان محلول کاسته و بر میزان کلئید و جامد افزوده می‌شود. اولین نشانه مسمومیت با سرب، علائم عصبی، افزایش ناهنجاری عصبی در کودکان و افزایش فشار خون در بزرگسالان است. نیمه عمر بیولوژیکی سرب در بافت‌های نرم ۲۱ روز، در عضلات ۵ سال و در استخوان ۲۰ سال گزارش شده است (Esmaili Sari, 2003).

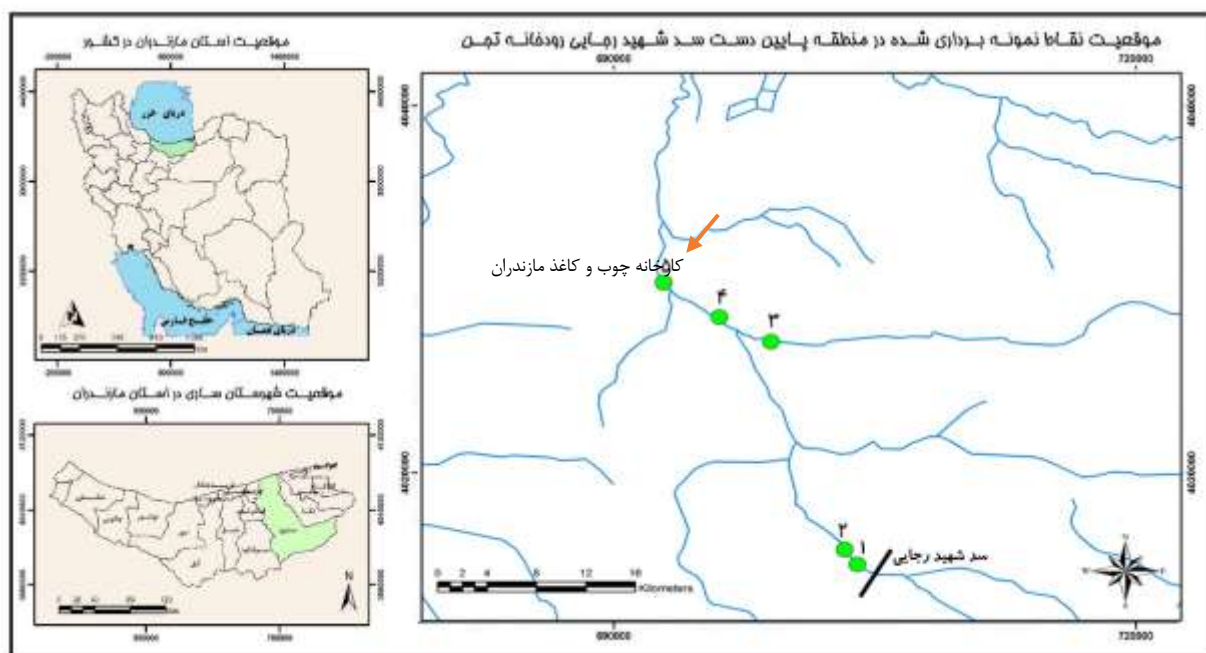
فلز کادمیوم در آب‌ها عموماً به صورت ترکیب آنیونی دیده می‌شود و حلالیت آن در آب تحت تأثیر عواملی نظیر نوع ترکیبات و pH آب است. جذب کادمیوم از طریق پوست بسیار محدود بوده و از طریق غذا بسته به رژیم غذایی جاندار متفاوت است ولی کلیه و کبد محل مناسبی جهت تجمع آن می‌باشد. نیمه عمر بیولوژیک کادمیوم در انسان در بافت‌های نرم و استخوان ده تا سی سال می‌باشد. مطالعات مرتبط نشان داده است که کادمیوم باعث سرطان کبد و بیضه در حیوانات شده و ازدیاد آن سبب بزرگ شدن قلب، افزایش فشار خون، تصلب شریانی و تخریب کلیه می‌گردد. سمیت حاد با کادمیوم ممکن است باعث مرگ حیوانات و پرندگان شده و مسمومیت شدید در آبزیان ایجاد کند (Esmaili Sari, 2003).

ماهی خیاطه با نام علمی *Alburnoides eichwaldii* از خانواده Cyprinidae، بنتوپلاژیک و از ماهیان رودرو، ساکن آب شیرین و لب شور بوده که پراکنش آن در اروپا و آسیا، حوضه دریای سیاه، دریای خزر، دریای آرال، دریای بالتیک، دریای شمال و خلیج بیسکای می‌باشد (Coad, 2005). این ماهی دارای ارزش زیبایی شناختی و ذخیره ژنی می‌باشد که به لحاظ تعداد، یکی از فراوان‌ترین ماهیان رودخانه‌های جنوب دریای خزر است (Abdoli and Naderi, 2009). حساسیت بالای این ماهی نسبت به فعالیت‌های انسانی و تحمل کم نسبت به آب‌های آلوده و فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی یا شهری این ماهی را به یک شاخص زیستی مطلوب در رابطه با کیفیت زیست‌محیطی مبدل ساخته است (Cihar, 1999).

رودخانه تجن یکی از پرآب‌ترین رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر است که به صورت پراکنده و ناپیوسته در مناطق بی‌کربناته و سولفاته جریان دارد (Geographical Organization Of the armed forces, 2005). این رودخانه از گذشته نه چندان دور به دلیل دارا بودن زیستگاه مناسب تولیدمثلی برای مولدین ماهیان خاویاری و بسیاری از گونه‌های اقتصادی ماهیان استخوانی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. متأسفانه این رودخانه مانند سایر رودخانه‌های کشور به دلیل ورود پساب کشاورزی، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، برداشت شن و ماسه و احداث سازه‌های آبی نامناسب در عرض رودخانه، در معرض تهدیدات وسیعی قرار دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به تخریب بستر و زیستگاه موجودات آبرزی و جلوگیری از مهاجرت آبزیان به نواحی تولیدمثلی در بالادست رودخانه‌ها اشاره نمود (Saeedi et al., 2006; Mehrdadi et al., 2006; Ahmadi, 2010). لذا این تحقیق جهت بررسی و مقایسه میزان انباشتگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب، بی‌مهرگان کفزی و بافت‌های عضله و کبد ماهی خیاطه (*A. eichwaldii*) به عنوان دومین یا سومین مصرف‌کنندگان در زنجیره غذایی رودخانه تجن انجام گردید.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در رودخانه تجن با طول تقریبی ۱۶۰ کیلومتر، به عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های حوضه جنوبی دریای خزر در استان مازندران، که از ارتفاعات البرز مرکزی سرچشمه می‌گیرد، انجام شده است. نمونه‌برداری از آب، بزرگ بی‌مهرگان کفزی و ماهی خیاطه *A. eichwaldii* با توجه به عوارض طبیعی و انسانی شامل شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی منطقه، امکان دسترسی به رودخانه، امکان صید گونه خیاطه و منابع آلاینده (از جمله کارخانه چوب و کاغذ مازندران) در فصول بهار و پاییز ۱۳۹۳ انجام گردید (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در رودخانه تجن استان مازندران

نمونه آب از وسط رودخانه و از عمق ۵ تا ۱۰ سانتی‌متری لایه سطحی برداشت شد. این نمونه بلافاصله از کاغذ صافی ۲۰ میکرون عبور داده و در ظروف شیشه‌ای تیره ریخته است. سپس جهت تثبیت آن، ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ به آن اضافه شد و نمونه‌ها در شرایط دمایی ۴ درجه به آزمایشگاه منتقل و در یخچال نگهداری گردید. برای آنالیز نمونه‌ها به طور خالص از فیلتر سلولز استات ۲ میکرون عبور داده شدند (Hamilton et al., 2008).

نمونه‌برداری از بزرگ بی‌مهرگان کفزی به وسیله نمونه‌بردار سوربر به ابعاد $30/5 \times 30/5$ سانتی‌متر در سه نقطه از هر ایستگاه انجام شد و پس از جداسازی از گل و لای و رسوبات به صورت تازه درون کیسه‌های زیپ‌دار پلی‌اتیلنی و در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل و در دمای -20 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

در این پژوهش حدود ۷۰۰ قطعه ماهی خیاطه *A. eichwaldii* از ایستگاه‌های مختلف به وسیله دستگاه الکتروشوکر با شدت جریان ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت و فرکانس $1/5$ آمپر صید و به صورت تازه و در مجاورت یخ به آزمایشگاه منتقل شد. بلافاصله نمونه عضله ماهی از قسمت زیر باله پشتی و کبد به صورت جداگانه درون ظروف پلی‌اتیلنی قرار داده شد و تا زمان آزمایش در دمای -20 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. جهت آماده‌سازی نمونه‌های بیولوژیک، ابتدا نمونه‌های فریز شده به مدت ۴۸ ساعت در فریزدرایر با دمای -50 درجه سانتی‌گراد و فشار $0/002$ میلی‌بار تا خشک شدن کامل قرار گرفتند. سپس به $0/2$ گرم از وزن خشک، ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ اضافه شد. محلول به دست آمده پس از یک ساعت روی هات‌پلیت 120 درجه

سلسیوس قرار گرفت و پس از سرد شدن، ۲۵ میلی‌لیتر آب دیونیزه به آن اضافه و با فیلتر سلولز استات ۲ میکرون صاف شد (Tabatabai and Dastgoshadeh, 2009). سپس از نمونه‌های بافت هر ایستگاه در هر فصل سه نمونه جهت قرائت میزان فلزات سنگین سرب و کادمیوم، نمونه‌ها با صافی سلولز استات ۰/۲ میکرون صاف شده و سپس میزان غلظت فلزات سنگین توسط دستگاه (GBC- Integra XL- Australia) ICP-OES در حد ppb قرائت شد. برای اندازه‌گیری میزان انباشتگی زیستی (Bio Accumulation Factor) یا فاکتور انتقال فلز سنگین از فرمول زیر استفاده شد (McGeer *et al.*, 2003; Rashed,) (2001).

$$BAF = C_{SS} / C_w$$

C_{SS} = غلظت فلز سنگین در بافت زیستی ($\mu\text{g/g}$, dry weight)، C_w = غلظت فلز سنگین در آب ($\mu\text{g/ml}$)

قبل از تجزیه و تحلیل داده‌ها، تست نرمالیت با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk انجام شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، برای مقایسه پارامترهای فیزیکی‌شیمیایی و میزان غلظت فلزات سنگین در فصول پاییز و بهار، از تست t و برای مقایسه غلظت فلزات سنگین در آب و بافت‌های زیستی (بزرگ بی‌مهرگان کفزی، بافت عضله و کبد ماهی خیاطه) در ایستگاه‌های مختلف و همچنین انباشتگی آن‌ها در آب و بافت‌های زیستی از آنالیز واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن به وسیله نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ استفاده شد.

نتایج

در این مطالعه برخی فاکتورهای محیطی آب مثل هدایت الکتریکی، مواد جامد معلق، دما، اکسیژن محلول و شوری در فصول مختلف اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ آمده است. نتایج تست t در فصول مختلف تفاوت معنی‌داری در این پارامترها نشان نداد ($p > 0.05$) ولی در پارامترهای هدایت الکتریکی و مواد جامد معلق از ایستگاه ۱ تا ۵ روند افزایشی مشاهده گردید. روند تغییرات دما در فصول مختلف تا ایستگاه ۳ روند افزایشی داشت و بعد از آن مقدار آن‌ها کاهش یافته است. ولی مقدار اکسیژن محلول در هر دو فصل از ایستگاه اول تا پنجم روند کاهشی را نشان داده است.

مقادیر میزان فلزات سنگین روی و کادمیوم در آب در تمامی ایستگاه‌ها و هر دو فصل بهار و پاییز بسیار ناچیز بوده است. مقدار این فلزات سنگین تقریباً در تمامی ایستگاه‌ها و هر دو فصل در بافت بزرگ بی‌مهرگان کفزی بیشتر از بافت‌های عضله و کبد ماهی می‌باشد. بررسی غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب در فصل بهار بیشتر از فصل پاییز بوده ($p > 0.05$) و مقایسه مقادیر دو فلز مورد مطالعه در هر دو فصل نشان داده که مقدار غلظت فلز سرب بیشتر از فلز کادمیوم بوده است (شکل ۲) (جدول ۲).

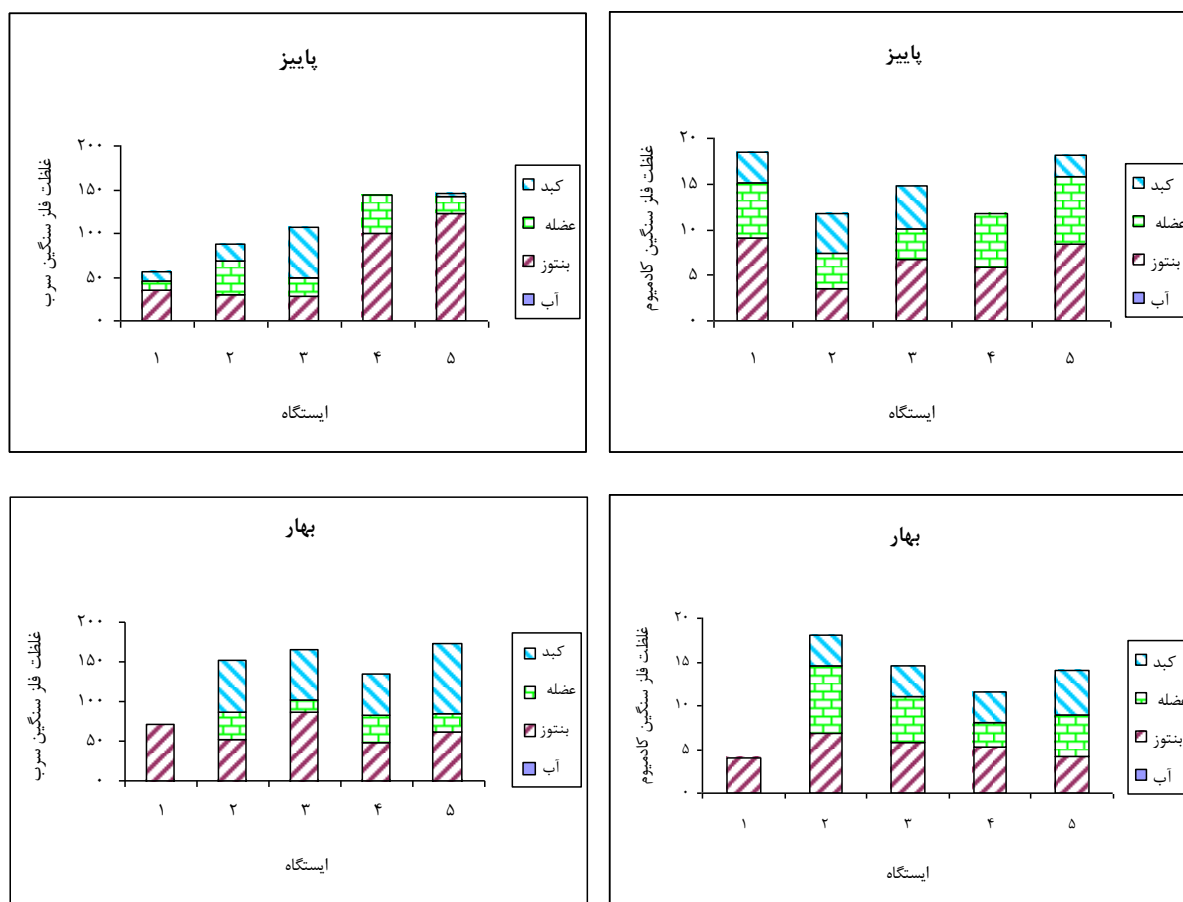
تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت‌های مختلف بزرگ بی‌مهرگان کفزی و کبد و عضله ماهی خیاطه در جدول ۲ آمده است. میزان غلظت فلز کادمیوم در بافت‌های عضله و کبد در هر دو فصل بهار و پاییز به طور قابل توجهی کمتر از فلز سرب بود. مقدار این فلزات در بزرگ بی‌مهرگان کفزی در فصل پاییز بیشتر از فصل بهار بود، اما این تفاوت معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0.05$). مقایسه مقادیر مختلف فلز سرب در بافت کبد ماهی خیاطه بر اساس تست t در فصول مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد ($p < 0.05$)؛ اما مقادیر فلز سرب در بافت عضله و مقادیر فلز کادمیوم در بافت‌های عضله و کبد در فصول مختلف تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید ($p > 0.05$) (جدول ۲).

مقایسه میزان غلظت فلز سرب در بافت‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد ($P < 0.05$). با توجه به آزمون دانکن، مشخص گردید که کمترین میزان غلظت فلز سرب در بافت عضله ماهی خیاطه و بیشترین مقدار در بزرگ بی‌مهرگان کفزی است ($p < 0.05$). از طرفی غلظت فلز سرب در بافت کبد، اختلاف معنی‌داری با غلظت آن در عضله و بنتوز ندارد ($p > 0.05$). میزان

غلظت فلز كادميوم نيز در بزرگ بى مهرگان كفزى و بافت‌هاى عضله و كبدماهى اختلاف معنى‌دارى را نشان نداد ($p < 0.05$) (جدول ۲).

جدول ۱. نوسانات فاکتورهای فیزیوشیمیایی آب رودخانه تجن در ۵ ایستگاه در فصول بهار و پاییز

ایستگاه‌ها					فصل	فاکتور
۵	۴	۳	۲	۱		
۲۱	۲۰/۵	۲۳/۲۵	۱۲/۱۵	۱۱/۴۵	بهار	دما (°C)
۱۷/۶	۱۷/۷	۱۷/۷	۱۴/۲	۱۳/۴	پاییز	
۶۲۶	۴۲۶	۴۵۵	۴۲۱	۴۱۶	بهار	هدایت الکتریکی
۷۰۱	۵۲۷	۳۷۶	۴۷۰	۴۶۰	پاییز	(میکروموس بر سانتی‌متر)
۰/۳	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	بهار	شوری (ppm)
۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۳	پاییز	
۳۴۲	۲۹۰	۲۴۵	۲۸۳	۲۸۴	بهار	کل مواد جامد معلق
۴۱۰	۳۰۸	۲۲۲	۲۹۸	۲۹۷	پاییز	(میلی‌گرم در لیتر)
۷/۵	۸/۶	۸/۵	۱۰/۵	۱۱/۲۵	بهار	اکسیژن محلول
-	-	۷/۴	۷	۸/۵	پاییز	(میلی‌گرم در لیتر)



شکل ۲. مقادیر غلظت فلزات سنگین سرب و كادميوم در آب، بنتوز و بافت‌هاى كبد و عضله در ایستگاه‌ها و فصول مختلف

فاکتور انتقال (میزان انباشتگی زیستی) فلزات سنگین سرب و کادمیوم از آب به بزرگ بی‌مهرگان کفزی و بافت‌های کبد و عضله ماهی خیاطه نشان داد که بیشترین میزان نسبت بافت به آب در فلز سنگین سرب در فصل پاییز در بزرگ بی‌مهرگان کفزی و کمترین نسبت در مقدار فلز کادمیوم در فصل بهار در بافت کبد ماهی خیاطه بود. جدول آنالیز واریانس نیز تفاوت معنی‌داری را در شاخص انباشتگی فلزات سنگین مورد مطالعه در بافت‌های مختلف نشان نداد ($p > 0.05$) (جدول ۲).

جدول ۳. غلظت فصلی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب (میلی‌گرم در لیتر) و بافت‌های مختلف (میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک) و شاخص انباشتگی آن‌ها

کادمیوم	سرب	
آب		
۰/۰۳۲۷±۰/۰۱۸۶	۰/۲۲۳±۰/۳۲۲	بهار
۰/۰۲۴۶±۰/۰۰۵۲	۰/۱۱۷±۰/۰۴۷	پاییز
۰/۱۲۴	۰/۲۸۹	مقدار p
بزرگ بی‌مهرگان کفزی		
۵/۲۴۹±۳/۳۲	۶۴/۸۱۵±۵۸/۳۸۱	بهار
۷/۱۴۸±۴/۵۳	۶۷/۷۴±۷۱/۴۸	پاییز
۰/۲۰۷	۰/۹۰۴	مقدار p
۲۰۲/۵۴±۴۰/۴۰۶	۸۲۲/۱۱±۴۲۵/۸۷۷	شاخص انتقال از آب به بنتوزها (بهار)
۲۸۳/۲۴±۳۹/۸۶	۸۸۷/۰۵۴±۳۲۷/۰۷۶	شاخص انتقال از آب به بنتوزها (پاییز)
عضله ماهی خیاطه		
۵/۰۷۵±۲/۹۵۸	۲۶/۴۲±۱۶/۴۸	بهار
۵/۳۰۶±۳/۶۵۲	۲۷/۹۴±۳۴/۰۶	پاییز
۰/۸۶۲	۰/۸۸۹	مقدار p
۱۷۶/۰۶۶±۱۰۴/۸۷۲	۲۲۴/۶۵۳±۱۳۰/۲	شاخص انتقال از آب به ماهی (بهار)
۱۹۳/۲۴۶±۱۲۶/۶۹۶	۲۴۹/۲۶۵±۱۹۱/۵	شاخص انتقال از آب به ماهی (پاییز)
کبد ماهی خیاطه		
۴/۲۴±۱/۵۳۴	۶۹/۲۳±۴۸/۵۸	بهار
۵/۵۶۳±۲/۹۳	۲۷/۷۶±۳۰/۰۵	پاییز
۰/۲۱۷	۰/۰۳۱	مقدار p
۱۵۹/۶۴±۹۰/۵۵	۵۰۴/۴۳±۴۳۱/۲۷	شاخص انتقال از آب به ماهی (بهار)
۱۸۱/۷۴±۱۱۷/۶۸	۲۲۱/۸۶۹±۲۶۹/۹۳۶	شاخص انتقال از آب به ماهی (پاییز)

بحث

رودخانه تجن با آب‌دهی سالانه ۵۸۶۸ مترمکعب یکی از رودخانه‌های مهم حوضه جنوبی دریای خزر می‌باشد که در سال‌های اخیر، آلاینده‌های مختلف نظیر سموم و کودهای کشاورزی و آبی‌پروری و پساب مراکز صنعتی مانند کارخانه چوب و کاغذ مازندران و پساب مناطق شهری و روستایی به این رودخانه وارد شده‌اند (Ebadi and Zare, 2005; Kalantari and Ebadi, 2006). در این مطالعه غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در آب، بزرگ بی‌مهرگان کفزی و ماهی خیاطه بررسی گردید.

عليرغم اين كه اين گونه ماهى به طور بالقوه مى تواند يك شاخص زيستى آب هاى تميز باشد (Cihar, 1999)، ولى به دليل نبود اطلاعات كافى در مورد آلودگى فلزات سنگين در اين گونه، مقايسه هاى انجام شده با گونه هاى ديگر از خانواده كپور ماهيان در اين حوضه يا حوضه هاى ديگر انجام گرديد.

بررسى تغييرات خصوصيات فيزيكوشيميايى آب تا حدود زيادى نشان داد كه در ايستگاه هاى نواحى پايين دست به دليل عمق كم، عرض زياد و گل آلودگى زياد آب، پارامترهاى مثل هدايت الكترىكى افزايش قابل توجهى داشته، خصوصاً در ايستگاه پنجم عليرغم موارد ذكر شده، ورود پساب كارخانه چوب و كاغذ مازندران كه حاوى مقادير زيادى از يون هاى كلردار و مواد رنگى زيادى هستند نيز روى هدايت الكترىكى، كدورت و شورى تأثيرگذار بوده و سبب افزايش آن ها شده است (Mortazavi, Asadi, 2010; Shirin, 2013). علاوه بر اين استفاده از آفت كش ها در زمين هاى كشاورزى حاشيه رودخانه مى تواند به آلودگى فلزات سنگين كمك نمايد (Santoro et al., 2009).

بر اساس نظريه Abel (1996)، فلزات سنگين نه تنها تهديدى براى ماهى ها به شمار مى روند، بلكه براى مصرف كنندگان از غذاهاى آلوده به اين فلزات نيز خطر بزرگى محسوب مى شوند. فلزات سنگين مورد مطالعه از عناصر سمى بوده و اثرات سوئى را بر مصرف كنندگان بر جاى مى گذارند، به طورى كه سرب از نظر انتشار، گسترده ترين عنصر سنگين و سمى در محيط زيست است و به ميزان زياد در محيط هاى آبى يافت مى شود. اين فلز سنگين در صورت جذب از طريق غذا براى مصرف كنندگان بسيار سمى بوده و موجب اختلالات سيستم اعصاب و مشكلات رفتارى در آن ها مى شود. كادميوم به عنوان فلز سمى ديگر به مقدار زيادى از طريق غذا جذب شده و اثرات سوء خود از جمله مشكلات اسكلتى، برونشيت، آمفيم، كم خونى و سنگ كليه را در مصرف كنندگان انساني موجب مى شود (Esmaili Sari, 2003).

مقادير فلز سنگين كادميوم در ايستگاه هاى مختلف در فصول بهار و پاييز در رودخانه تجن در محدوده مجاز بوده (كمتر از ۰/۱ ميلي گرم در ليتر)، همچنين مقدار سرب در اين رودخانه كمتر از محدوده طبيعى آن در رودخانه هاى جهان (۱ تا ۱۰ ميلي گرم در ليتر) بود (Esmaili Sari, 2003). البته در ايستگاه ۱ در فصل بهار مقدار سرب آب به بيشترين مقدار خود در اين مطالعه رسيد (۰/۶۷ ميلي گرم در ليتر)، به اين دليل كه اين ايستگاه بلافاصله پس از خروجى دهانه سد شهيد رجائى قرار دارد و از آب ذخيره شده پشت سد براى فعاليتهاى كشاورزى زمين هاى پايين دست در نيمه اول سال استفاده مى شود. باز شدن دريچه خروجى سد، احتمال مى رود رسوبات ته نشين شده كه حاوى مقادير بيشتر تركيبات سرب بوده و منشأ معدنى دارند، سبب افزايش فلز سرب شده است.

مقدار غلظت فلزات سنگين سرب و كادميوم در تركيب بدنى بزرگ بى مهرگان كفى در ايستگاه ها و فصول مختلف نوساناتى داشت كه معمولاً در فصل پاييز در ايستگاه هاى پايين دست و در فصل بهار در ايستگاه هاى بالادست مقادير اين فلزات بيشتر بود. دليل اين امر را مى توان به متفاوت بودن غلظت اين فلزات در فصول مختلف در آب رودخانه و همچنين تركيب گونه هاى بزرگ بى مهرگان كفى رودخانه تجن از نظر گروه هاى تغذيه اى نسبت داد. بر اساس مطالعات Shokri Saravi و همكاران (2011) در مناطق مختلف رودخانه تجن گروه هاى تغذيه اى جمع كننده و فيلتر كننده، بيشترين فراوانى را دارا بودند. زيرا گروه هاى از كفزيان كه در گروه هاى تغذيه اى جمع كننده طبقه بندى مى شوند نسبت به گروه هاى شكارچى و فيلتر كننده مى توانند مقادير بيشترى از فلزات سنگين را جذب نمايند (Santoro et al., 2009).

بر اساس نتايج اين تحقيق، تجمع فلزات سنگين سرب و كادميوم در بافت عضله در مقايسه با بافت كبد كمتر بود، زيرا غلظت فلزات سنگين معمولاً در ماهيچه كمترين و در بافت كبد به علت نقش فيزيولوژيكي در متابوليسم ماهى، بالاترين هستند، جايى كه اندام هدف فلزات سنگين فعاليت متابوليكي آن ها است (Bensalem et al., 2014; Visnjic-Feftic et al., 2010). نرخ انباشتنى بالاي فلزات در كبد مى تواند به علت بالاتر بودن تمايل عناصر براى واكنش با اكسيژن كربوكسيلات، گروه آمينو، نيترژن و يا سولفور گروه مركاپتو در پروتئين متالوتيونين در اين بافت باشد (Al-Yousuf et al., 2000; Usero et al., 2005).

به طور کلی، انباشتگی فلزات در بافت‌های مختلف ماهی، به عملکرد هر بافت، مسیر جذب و فیزیولوژی رفتار گونه‌های ماهی از قبیل زیستگاه، تغذیه و درجه آلودگی بستگی دارد (Alam et al., 2002; Kalantzi et al., 2013). بر اساس نظریه Viarengo (1989) توانایی موجودات برای جذب، تجمع، برداشت یا سم‌زدایی فلزات سنگین به‌طور اساسی با هم فرق می‌کند. گونه‌هایی که دارای مقادیر مشخصی از متالوتیونین‌ها و لیزوزوم‌ها باشند می‌توانند سمیت این فلزات را از بین ببرند. با این حال بنا به نظر Roesijadi (1994)، اگر مقادیر فلزات سنگین زیاد باشد، سمیت آن‌ها افزایش می‌یابد، زیرا توانایی متالوتیونین‌ها و لیزوزوم‌ها برای از بین بردن اثر سمی آن‌ها محدود است؛ از سویی با توجه به نظریه Cappuzzo و همکاران (1985)، هنگامی که فلزات سنگین بیش از حد در محیط وجود داشته باشند به عنوان بازدارنده‌های آنزیمی عمل می‌کنند.

با توجه به نتایج حاصل، میزان انباشتگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بی‌مهرگان کفزی بیشتر از انباشتگی این فلزات در ماهی خیاطه است. Mora و همکاران (2004) به این نکته اشاره کرده‌اند که معمولاً انباشتگی زیستی فلزات در بی‌مهرگان کفزی به طور قابل توجهی بیشتر از ماهی می‌باشد. Tao و همکاران (2012) نیز مقایسه‌ای را بین میزان انباشتگی فلزات سرب و کادمیوم در طول زنجیره غذایی انجام دادند. آن‌ها نیز به این نتیجه رسیدند که انباشتگی زیستی فلزات سنگین در بی‌مهرگان کفزی بیشتر از میزان انباشتگی در ماهی‌های مورد مطالعه آن‌ها بود. ایشان نتیجه گرفتند که تولیدکننده اولیه، مقادیر فلز سنگین بیشتری را نسبت به سطوح غذایی بالاتر انباشته می‌کنند. اما ماهیان به علت توانایی حرکت در فواصل طولانی‌تر، قادرند در پاسخ به آلودگی‌های وارد شده به منبع آبی، به مکان جدیدی مهاجرت کنند و میزان کمتری از فلزات را انباشته کنند.

یافته‌های این بررسی نشان داد که غلظت‌های کم فلزات کادمیوم و کروم در محیط، مسیری را برای افزایش انباشتگی زیستی مقدار استعمال شده در ماهی پیدا می‌کنند که به موجب آن، سلامت مصرف‌کننده را شدیداً مورد تهدید قرار می‌دهند. بنابراین، نظارت زیستی منظم آبزیان به منظور پایش سلامت آن‌ها امری ضروری است.

منابع

- Abel, P.D. 1996. Water Pollution Biology. Ellis Horwood, Chichester, England. 286 p.
- Abdoli, A., Naderi, M. 2009. Biodiversity of fishes of the southern basin of the Caspian Sea. Abzian Scientific Publication. 242 p. (in Persian)
- Ahmadi Mamaghani, Y.A., Khorasani, N., Rafiei, G. 2010. Investigation of pollution sources water quality of Tajan River. Journal of Natural Environment. 63(4): 317-327. (in Persian)
- Alam, M.G., Allinson, G., Stagnitti, F., Tanaka, A. Westbrooke, M. 2002. Arsenic contamination in Bangladesh groundwater: a major environmental and social disaster. International Journal of Environmental Health Research. 12: 235-253.
- Al-Yousuf, M.H., El-Shahawi, M.S., Al-Ghais, S.M. 2000. Trace metals in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. The Science of the Total Environment. 256: 87-94.
- Bagheri, H., Sharmad, T., Kheyabadi, V., Drvish Bastami, K., Bagheri, Z. 2011. Measurement and evaluation of heavy metals contamination in the Gorganroud River sediments. Journal of Oceanography. 2(5): 29-34. (in Persian)
- Bensalem, Z., Capelli, N., Laffray, X., Elise, G., Ayadi, H., Aleya, L. 2014. Seasonal variation of heavy metals in water, sediment and roach tissues in a landfill draining system pond (Etueffont, France). Ecological Engineering. 69: 25-37.
- Begum, A., Harikrishna, S., Khan, I. 2009. Analysis of heavy metals in water, sediments and fish samples of Madivala lakes of Bangalore, Karnataka. International Journal of Chemtech Research. 1: 245-249.
- Cappuzzo, J.M., Burt, W.V., Duedall, I.W., Park, P.K. Kester, D.R. 1985. The impact of waste disposal in near shore environment, in wastes in the ocean. John Wiley & Sons, New York.
- Cihar, J. 1999. A field guide in colour to fresh water fish. Blitz edition. Leicester.
- Coad, B. 2005. Iranian freshwater fishes. Available from <http://www.briancoad.com>.

- Ebadi, A.G., Zare, S. 2005. Measurement of organophosphorus pesticide in fish from the Tajan River. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 8(10): 1463-1465.
- Erfanmanesh, A., Afyouni, M. 2011. Environmental pollution: Water, soil and air. *Arkane Danesh*. 330 p. (in Persian)
- Esmaili Sari, A. 2003. Pollution, Health and Environmental. *Naghshe Mehr*. 767 p. (in Persian)
- Geographical Organization of the Armed Forces. 2005. *Geography Culture Country Rivers, Basin Persian Gulf and Oman Sea*. 4: 328 p. (in Persian)
- Hamilton, M.A., Rode, P.W., Merchant, M.E., Sneddon, J. 2008. Determination and comparison of heavy metals in selected seafood, water, vegetation and sediments by inductively coupled plasma optical emission spectrometry from an industrialized and pristine waterway in southwest Louisiana. *Microchemical Journal*. 88: 52-55.
- Hinck, J.E., Norstrom, R.J., Orazio, C.E., Schmitt, C.J., Tillitt, D.E. 2009. Persistence of organochlorine chemical residues in fish from the Tombigbee River (Alabama, USA): Continuing risk to wildlife from a former D.D.T manufacturing facility. *Environmental Pollution*. 157: 582-591.
- Kalantari, M.R., Ebadi, A.G. 2006. Measurement of some heavy metals in sediments from two great rivers (Tajan and Neka) of Iran. *Journal of Applied Sciences*. 6(5): 1028-1032. (in Persian)
- Kalantzi, I., Shimmield, T.M., Pergantis, S.A., Papageorgiou, N., Black, K.D., Karakassis, I. 2013. Heavy metals, trace elements and sediment geochemistry at four Mediterranean fish farms. *Science Total Environmental*. 444: 128-37.
- Kazemzadeh, E., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S.M. 2002. Investigation of fish farms pollution in the Haraz River. *Marine Sciences*. 3(2): 27-34. (in Persian)
- Kheyrvar, N., Dadollahi, S.A. 2010. Heavy metals (Ni, Pb, Cd and Cu) concentrations in *Barbus grypus* and sediments from Arvand River. *Journal of Sciences and Environmental Technology*. 12(2): 123-131. (in Persian)
- McGeer, J.C., Brix, K.V., Skeaff, J.M., Deforest, D.K., Brigham, S.I., Adams, W.J., Green, A. 2003. Inverse relationship between bioconcentration factor and exposure concentration for metals: implications for hazard assessment of metals in the aquatic environment. *Environmental Toxicology & Chemistry*. 22: 1017-1037.
- Mehrdadi, N., Ghobadi, M., Nasrabadi, T., Hoveidi, H. 2006. Evaluation of the quality and self-purification potential of Tajan River using equal model. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 3: 199-204.
- Miserendino, M.L., Brand, C., Di Prinzio, C.Y. 2008. Assessing Urban Impacts on Water Quality, Benthic Communities and Fish in Streams of the Andes Mountains, Patagonia (Argentina). *Water, Air and Soil Pollution*. 194: 91-110.
- Mohammadloo, A.R. 2010. The process of water and waste water treatment of Mazandaran Wood and Paper Industry. The 4th conference and exhibition on environmental Engineering. Tehran. Tehran University. https://www.civilica.com/Paper-CEE04-CEE04_505.html. (in Persian)
- Mora, D.S., Fowler, S.W., Wyse, E., Azemard, S. 2004. Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and costal sediments in the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin*. 49: 410-424.
- Mortazavi, S., Asadi Shirin, G. 2013. Review production processes and qualitative characteristics of pulp and paper wastewater (Case study: Mazandaran Wood and Paper industry). National Conference on Environmental Hazards of Zagros. Khorramabad. <https://www.civilica.com/Calendar-CEZ01>. (in Persian)
- Rashed, M.N. 2001. Monitoring of environmental heavy metals in fish from Nasser Lake. *Environmental International Journal*. 27: 27-33.
- Roesijadi, G. 1994. Behavior of metallothionein-bound metals in a natural population of an estuarine mollusk. *Marine Environmental Research*. 38(3):147-168.
- Saeedi, M., Karbassi, A.R., Nabi Bidhendi, Gh.R. Mehrdadi, N. 2006. Impact of anthropogenic activities on heavy metals pollution in Tajan River water, Mazandaran province. *Journal of Environmental Studies*. 32(40): 41-50. (in Persian)
- Santoro, A., Bio, G., Mastrolitti, S., Fagioli, F. 2009. Bioaccumulation of heavy metals by aquatic macroinvertebrates along the Basento River in the south of Italy. *Water, Air and Soil Pollution*. 201: 19-31.

- Santos, I.R., Silva-Filho, E.V., Schaefer, C.E., Albuquerque-Filho, M.R. Campos, L.S. 2005. Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic station, king George Island. *Marine Pollution Bulletin*. 50: 185- 194.
- Shokri Saravi, M., Rahmani, H., Ahmadi, M.R. 2015. An assessment of macroinvertebrate functional feeding groups as water quality indicators in the Tajan River. *Journal of Animal Researches*. 28(1): 52-61. (in Persian)
- Tabatabai, A., Dastgoshadeh, F. 2009. Measurement of Heavy Metal in Biological Samples, Plant and Fish. Environmental Protection Agency. 2 p. (in Persian)
- Tajrishy, M. 2001. A review of water quality problems facing the country. 2nd Asian conferences on water and wastewater management proceeding, Ministry of Energy, Tehran. pp. 1-10.
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., Wei, M. 2012. Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu Lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 81: 55-64.
- Usero, J., Marilla, J., Graccia, I. 2005. Heavy metal concentration in mollusk from the Atlantic Coast of Sothern Spain. *Chemosphere*. 59: 1175-1181.
- Viarengo, A. 1989. Heavy metals in marine invertebrates: mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Reviews in Aquatic Science*. 1: 295-317.
- Visnjic-Jeftic, Z., Jaric, I., Jovanovic, L., Skoric, S., Smederevac-Lalic, M., Nikcevic, M., Lenhardt, M. 2010. Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennet 1835) from the Danube River (Serbia). *Microchemical*. 95: 341-344.