

بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت عضله کپور ماهیان پرورشی و ارزیابی ریسک غذایی ناشی از

مصرف آن‌ها

چکیده

این تحقیق به منظور اندازه‌گیری غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهی‌های کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*)، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) و کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) از ۳ استخر پرورش ماهیان گرمابی شهر ساری و ارزیابی ریسک خطر در اثر مصرف این ماهیان برای مصرف‌کنندگان در سال ۱۳۹۹ انجام شد. جهت بررسی غلظت فلزات در ماهیان، ۱۴۴ نمونه ماهی از استخرهای پرورش ماهیان گرمابی شهر ساری برداشت شد. جهت آماده‌سازی و هضم شیمیایی نمونه‌های ماهی از روش استاندارد MOOPAM استفاده شد. غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم موجود در بافت ماهیان به روش کوره گرافیتی توسط دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد بیشترین غلظت فلز در عضله ماهی‌های مورد مطالعه مربوط به فلز روی، در ماهی کپور علفخوار به میزان $7/45 \pm 0/86$ و کمترین غلظت مربوط به فلز جیوه در ماهی کپور معمولی به میزان $0/01 \pm 0/00$ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. بیشترین غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم در ماهی‌های مورد مطالعه به صورت: جیوه در ماهی‌های کپور سرگنده، علفخوار و نقره‌ای ($0/0 \pm 0/02$)، روی در ماهی کپور علفخوار ($7/0 \pm 45/86$)، سرب در ماهی کپور سرگنده ($0/0 \pm 97/45$) و کادمیوم در ماهی کپور سرگنده ($0/0 \pm 41/22$) مشاهده شد. رابطه جیوه > کادمیوم > سرب > روی بین فلزات در ماهی‌ها وجود داشت. میانگین مقدار پتانسیل خطر (THQ) برای فلزهای جیوه، سرب، روی و کادمیوم کمتر از یک به دست آمد. میزان شاخص خطر کل (HI) (Hazard Index) برای ماهی‌های کپور معمولی، کپور نقره‌ای، کپور علفخوار برابر $0/36$ و برای کپور سرگنده $0/42$ بود که نشان‌دهنده عدم وجود پتانسیل ریسک خطر برای مصرف‌کنندگان بود. غلظت پایین فلزات سنگین در ماهی‌های کپور معمولی، کپور سرگنده، کپور علفخوار و کپور نقره‌ای پرورشی استخرهای ماهیان گرمابی شهر ساری کمتر از مقدار مجاز مشخص شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) و وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (MAFF) بود؛ بنابراین مصرف این ماهیان خطری برای سلامتی مصرف‌کنندگان از نظر فلزهای جیوه، روی، سرب و کادمیوم ندارد.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، ماهیان گرمابی، پتانسیل خطر (THQ)، شاخص خطر کل (HI).

مقدمه

ورود مواد آلوده‌کننده به آب‌ها و تجمع آن‌ها در آبزیان به دلیل خطراتی که برای انسان ایجاد می‌کند بخش مهمی از آلودگی محیط‌زیست را شامل می‌شوند (Rahman et al., 2014). از جمله این آلاینده‌ها می‌توان به فلزات سنگین اشاره کرد. فلزات سنگین (به گروهی از فلزات اطلاق

محمدعلی حسین زاده اسکی^۱

شایان قبادی^{۲*}

ابوالفضل عسکری ساری^۳

رشید علیکانی اردشیر^۴

حامد منوچهری^۵

۱، ۲، ۵. گروه شیلات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بابل، بابل، ایران.

۳. گروه شیلات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، اهواز، ایران.

۴. گروه زیست‌فناوری، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل، آمل، ایران.

*مسئول مکاتبات:

shgh_Science@yahoo.com

کد مقاله: ۱۴۰۱۰۹۳۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۹

این مقاله پژوهشی و برگرفته از رساله دکتری است.

می‌گردد که دارای وزن مخصوص بیش از ۶ گرم بر سانتیمتر مکعب یا جرم اتمی بیشتر از ۵۰ می‌باشند) از آلاینده‌های پایدار و خطرناک هستند که خطر بالقوه برای سلامتی اکوسیستم‌ها و موجودات زنده محسوب می‌شوند (عسکری ساری و ولایت زاده، ۱۳۹۳). اکوسیستم‌های آبی غالباً دارای مقادیر متفاوتی از فلزات مانند روی، مس، کادمیوم، جیوه و سرب هستند (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰). فلزات سنگین جزء آلاینده‌های پایدار می‌باشند آلاینده‌های پایدار در معرض حمله باکتریایی نبوده و یا در مدت‌زمان طولانی این اتفاق خواهد افتاد که در عمل به‌صورت دائمی در محیط‌زیست حضور خواهند داشت (محمدی‌دشتکی و زاهد، ۱۳۸۰). در اکوسیستم‌های آبی برخی فلزات توانایی انباشت به‌وسیله موجودات مانند ماهی از روش‌های مختلف شامل تنفس، رسوب و هضم را دارند (Varol et al., 2017).

در پی انتقال آلاینده‌ها به محیط‌های آبی، این احتمال وجود دارد که ماهی، مقادیری از برخی فلزات سنگین را از راه زنجیره غذایی یا از طریق آب از محیط جذب نماید (Amini Ranjbar and Sotooodenia, 2005). اندام‌های ماهی در برابر مسمومیت با فلزات سنگین حساس‌اند و در این میان عضله به دلیل نقش مهمی که در تغذیه انسان دارد صدمات اصلی را متحمل شود (Stoskopf, 1993). ارزیابی سلامت مواد غذایی آبرزی نظیر ماهیان و فرآورده‌های آن‌ها که با توجه به برآورد مصرف جهانی ماهی حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد کل تغذیه انسان را تشکیل می‌دهد، بسیار ضروری است (Hauser-Davis et al., 2016).

فلزات سنگین می‌توانند به سه دسته به‌صورت بالقوه سمی مانند سرب، جیوه، کادمیوم و غیره (حتی در غلظت‌های پایین هم برای سلامتی مضر می‌باشند)، احتمالاً ضروری (وانادیم و کبالت) و ضروری (روی، مس و...) تقسیم‌بندی شوند (Makedonski et al., 2017). بدیهی است فلزات ضروری اگر هنگام مصرف غذا توسط انسان به مقدار بیشتر از حد مجاز استفاده شوند برای سلامتی مضر خواهد بود (Djedjibegovic et al., 2012).

جیوه فلزی است که به دلیل خاصیت بالای سرطان‌زایی که دارد بیشترین نگرانی در مورد اثرات زیست‌محیطی آن وجود دارد. جیوه از طریق شبکه غذایی موجودات آبرزی تمایل به انباشت زیستی دارد. فلز جیوه منجر به ضایعات مغزی و کبدی می‌شود (Crump and Trudeau, 2009). سرب می‌تواند باعث ضایعات مغزی، ازکارافتادن سیستم عصبی، لرزش عضلات و ایجاد کولیت در روده و معده شود (and Zhang, 2012). کادمیوم در رشد کبد، اسکلت، کلیه و فعالیت‌های مربوط به تولیدمثل نقش منفی دارد (Shaheen et al., 2016). مصرف زیاد روی باعث مشکلات در سلامتی مانند معده درد، خارش پوستی و استفراغ می‌شود (Oyaro, 2007). بعضی از سازمان‌های بین‌المللی مانند USEPA (آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده) و سازمان جهانی بهداشت دوز مناسب فلزات را در مواد غذایی را ارائه کرده‌اند.

ماهیان گرمابی (کپور ماهیان) در ایران در سال ۱۳۹۷ به میزان ۱۹۰۲۳۸ تن پرورش داده شدند. مقدار تولید ماهیان گرمابی در مزارع پرورش ماهی استان مازندران در سال ۱۳۹۹ به میزان ۶۰۹۳۹ تن بود (قربان زاده و نظری، ۱۳۹۸). ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) دارای اهمیت اقتصادی و از ماهیان مهم خوراکی می‌باشد. تولید آن در سال ۲۰۱۹ به مقدار ۴۴۱۱۹۰۰ تن بود آن پنجمین گونه مهم ماهی پرورشی در دنیا می‌باشد (FAO, 2019). ماهی کپور معمولی همه‌چیزخوار بوده و از گیاهان، موجودات ریز بستر آب، کرم‌ها، سخت‌پوستان، نوزاد حشرات، لاشه حیوانات و تخم ماهیان تغذیه می‌کند (فرید پاک، ۱۳۸۹).

ماهی کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*) از گونه‌های پرورشی مهم می‌باشد. این ماهی در سال ۲۰۱۹ به میزان ۵۷۲۸۳۸۳ تن تولیدشده است (FAO, 2019). اولین گونه مهم پرورشی از نظر میزان تولید در دنیا می‌باشد که گونه غیربومی در ایران است. ماهی کپور علفخوار با توجه به رشد نسبتاً خوب و طعم و مزه مناسب، دارای ارزش است. این ماهی از گیاهان عالی، علف‌های شناور، حشرات و سایر بی‌مهرگان تغذیه می‌کند و برای مبارزه با گیاهان آبرزی مزاحم استفاده می‌شود (فرید پاک، ۱۳۸۹). ماهی کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*) از نظر شیلات و تکثیر و پرورش دارای اهمیت می‌باشد. ماهی کپور سرگنده در سال ۲۰۱۹ به میزان ۳۱۴۵۹۰۰ تن تولیدشده است (FAO, 2019).

2019). هشتمین آبرزی از نظر میزان تولید در جهان می‌باشد. از ژئوپلانکتون و نیز جلبک تغذیه می‌کند. این ماهی بومی آب‌های چین می‌باشد و به آب‌های ایران معرفی شده است. در زیستگاه طبیعی، در رودهای دارای جریان زندگی می‌کند (فرید پاک، ۱۳۸۹).

ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) دارای اهمیت اقتصادی و ماهی خوراکی مهمی است. این ماهی در سال ۲۰۱۹ به میزان ۴۸۲۷۷۲۰ تن تولید شد سومین گونه مهم پرورشی از نظر میزان تولید در دنیا می‌باشد (FAO, 2019). بومی کشور چین و روسیه می‌باشد به آب‌های ایران معرفی شده است. این ماهی از اولین حلقه زنجیره غذایی در اکوسیستم‌های آبی یعنی فیتوپلانکتون‌ها تغذیه می‌نماید (نمونه‌های ماهی بزرگ‌تر از ۱/۵ سانتیمتر فقط از فیتوپلانکتون و لاروهای کوچک از ژئوپلانکتون تغذیه می‌کنند) و رشد خوبی دارد (فرید پاک، ۱۳۸۹).

پژوهش‌های بسیاری در خصوص اندازه‌گیری و بررسی فلزات سنگین در ماهیان انجام شده است که از جمله آن‌ها می‌توان به بررسی فلزات سنگین در کپور ماهیان توسط عسکری ساری و محمدی (۱۳۹۴) اشاره کرد، همچنین دهقان طرز جانی و همکاران در سال ۱۳۹۸ به بررسی فلزات سنگین در سه گونه از کپور ماهیان در استخرهای پرورشی استان البرز پرداختند. عسکری ساری و کریمی ساری نیز غلظت فلز آهن در ماهی‌های کپور معمولی، کپور سرگنده، کپور نقره‌ای و کپور علفخوار در سال ۱۳۹۵ در استان خوزستان را بررسی کردند. سالمی و همکاران (۱۳۹۶) غلظت فلزات سنگین کادمیوم، کروم، نیکل، روی و سرب در ماهی کپور معمولی از شهر دزفول را بررسی کردند. سلگی و همکاران در سال ۱۳۹۷ غلظت فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس، منگنز و کبالت در عضله ماهی کپور معمولی در سواحل جنوبی دریای خزر به دست آوردند.

اطلاعات در زمینه شناسایی دقیق گونه‌ها، محل جمع‌آوری، سطوح مجاز آلاینده‌ها در ماهی‌های مناطق مختلف جهان می‌تواند به مردم اجازه دهد که تصمیمات آگاهانه بگیرند که با مصرف ماهیان مناسب کمترین مقدار فلزات را به بدن برسانند (Mac Donald et al., 2000). ارزیابی خطر فرایند علمی می‌باشد که به‌وسیله آن آلاینده‌های محیط روی سلامت انسان مورد بررسی قرار می‌گیرد (مشتاق زاده و همکاران، ۱۳۹۶). با در نظر گرفتن جایگاه ماهیان در شبکه غذایی، نقش بسیار مهم آن‌ها در تداوم اکوسیستم‌ها، قرار داشتن آن‌ها در سبب غذایی مردم منطقه جنوب دریای خزر و سایر ارزش‌های زیست‌محیطی، ارزیابی ریسک خطر آلودگی در آن‌ها بسیار ضروری است. هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی و جیوه در بافت عضله ماهی‌های کپور معمولی، کپور سرگنده، کپور علفخوار و کپور نقره‌ای در استخرهای پرورش ماهیان گرمابی شهرستان ساری و ارزیابی خطر مصرف این ماهیان و همچنین مقایسه مقادیر تعیین شده با استانداردهای وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (MAFF)، USEPA و تحقیق‌های مشابه انجام شده در دیگر مناطق دنیا می‌باشد.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از ماهی‌های کپور معمولی، کپور سرگنده، کپور نقره‌ای و کپور علفخوار از سه استخر شاخص در مرکز پرورش ماهیان گرمابی نوازنده در شهر ساری در سال ۱۳۹۹ و در ۴ فصل (بهار، تابستان، پاییز و زمستان) انجام شد از هر گونه ماهی در هر استخر، ۱۲ نمونه تهیه شد به عبارت دیگر در هر استخر به ازای هر فصل، ۳ نمونه ماهی برای هر گونه تهیه شد.

منبع آب تأمین‌کننده مزارع پرورش ماهی مورد بررسی آب چاه بود. نوع کشت توأم و میزان تراکم ۴۰۰۰ قطعه ماهی بچه ماهی در هر هکتار بود. از کود گاوی برای باروری استخرها استفاده شد. میزان مصرف آن در مرحله آماده‌سازی و دو هفته قبل از انتقال ماهی به استخر، ۲ تن کود در هکتار بود که در کل استخر پخش شده و سپس آبیگری انجام گرفت. پس از ماهی دار کردن استخر با توجه به وضعیت آب استخر و عناصر مورد نیاز روزانه ۵۰-۶۰ کیلوگرم کود گاوی جامد را به صورت محلول درآمده و به‌وسیله پمپ در سطح یک هکتار پخش گردید. نمونه‌های ماهی به‌وسیله سالیک با چشمه ۱ (اندازه سوراخ‌های تور ۲ cm) به صورت تصادفی صید شدند. نمونه‌های ماهی در داخل کلمن یخ گذاشته شده و در دمای ۴

درجه سانتی‌گراد نگهداری و سپس به آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل برای بررسی و آنالیز فرستاده شد و در دمای ۲۰- سانتی‌گراد برای آنالیزهای بعدی منجمد شدند.

در تمامی نمونه‌ها برای برداشت بافت عضله به میزان ۲۰ الی ۳۰ گرم از قسمت بالای بدن ماهی (زیر باله پشتی) استفاده گردید. نمونه‌های ماهی در آزمایشگاه دانشگاه آزاد اسلامی واحد بابل در داخل آون در دمای ۷۵ سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت نگهداری شدند. پس از رسیدن به وزن ثابت نمونه‌ها در هاون چینی به‌طور کامل پودر شدند (Eaton *et al.*, 2017). جهت آماده‌سازی و هضم شیمیایی نمونه‌های ماهی از روش استاندارد MOOPAM (ROPME, 1999) استفاده شد. روی، سرب و کادمیوم موجود در بافت ماهیان به روش کوره گرافیتی توسط دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer مدل ۴۱۰۰ atomic ZL اندازه‌گیری شدند. غلظت جیوه با دستگاه جذب اتمی Perkin-Elmer MHS-FIAS جذب اتمی که به طیف‌سنج Perkin-Elmer ۴۱۰۰ متصل شده بود تعیین شد.

مقدار جذب روزانه فلزات (EDI) به‌وسیله رابطه زیر محاسبه گردید (Giri and Singh, 2013):

$$EDI = \frac{(C \times IRd)}{Bw} \quad \text{رابطه ۱:}$$

که در آن C غلظت فلز موردنظر در بافت ماهی (میکروگرم بر گرم)، IRd میانگین نرخ مصرف روزانه ماهی (۲۹ گرم در روز) و BW وزن بدن فرد (۷۰ کیلوگرم برای شخص بالغ) می‌باشد.

پتانسیل خطر یا THQ برای ترکیبات غیر سرطان‌زا (non carcinogenic) به‌صورت زیر محاسبه شد (USEPA, 2000):

$$THQ = \left(\frac{EF \times ED \times FIR \times C}{RFD \times WAB \times TA} \right) \times 10^{-3} \quad \text{رابطه ۲:}$$

که در آن EF بسامد در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز در سال)، ED میزان در معرض قرارگیری (۷۰ سال)، FIR نرخ خوردن غذا (۲۹ گرم در روز)، C غلظت فلز در ماهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، RFD جذب مجاز روزانه (برای جیوه ۰/۰۰۱، برای سرب ۰/۰۰۴، برای کادمیوم ۰/۰۰۱ و برای روی ۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم بر روز)، WAB میانگین وزن بدن (۷۰ کیلوگرم برای افراد بالغ و ۳۵ کیلوگرم برای کودکان)، TA زمان در معرض قرارگیری (روز \times تعداد سال) می‌باشد (Malvandi *et al.*, 2014). در این مطالعه، شاخص خطر کل (HI) (Hazard Index) به‌صورت مجموع پتانسیل خطر برای تمام فلزات انتخاب‌شده تعریف می‌شود (Song *et al.*, 2019):

$$HI = THQ_1 + THQ_2 + \dots + THQ_n \quad \text{رابطه ۳:}$$

که THQ_n شاخص خطر برای فلز انتخاب‌شده n می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی‌های آماری با نرم‌افزارهای Excel ۲۰۱۹ و SPSS-۲۶ انجام شد. برای ارزیابی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده گردید.

نتایج

مقادیر فلزات سنگین جیوه، روی، سرب و کادمیوم در عضله ماهیان مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. بیشترین غلظت فلزات در بین تمام ماهی‌ها مربوط به فلز روی در ماهی کپور علفخوار به میزان $7/45 \pm 0/186$ و کمترین میزان مربوط به جیوه در ماهی کپور معمولی به میزان $0/01 \pm 0/00$ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک بود (جدول ۱). سرب در ماهی‌های کپور علفخوار و سرگنده از ماهی‌های کپور معمولی و نقره‌ای به‌صورت معنی‌دار

بیشتر بود ($P < 0/05$). کادمیوم در ماهی کپور سرگنده به صورت معنی‌دار بیش از ماهی‌های کپور معمولی و نقره‌ای بوده ($P < 0/05$) همچنین در ماهیان کپور نقره‌ای و معمولی بیش از ماهی کپور سرگنده بود ($P < 0/05$). فلزهای روی و جیوه در ماهیان گرمابی مورد بررسی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0/05$).

میانگین وزن ماهی‌های کپور معمولی، کپور سرگنده، کپور نقره‌ای و کپور علفخوار نمونه‌گیری شده به ترتیب $11/98 \pm 535/00$ ، $17/98 \pm 532/50$ ، $11/98 \pm 535/00$ و $35/35 \pm 0/78$ و $40/28 \pm 1212/50$ گرم بود.

مقادیر مربوط به میزان جذب فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم در جدول ۲ آمده است. بیشترین و کمترین مقدار جذب روزانه در میان فلزهای مورد بررسی از طریق مصرف ۴ گونه ماهیان گرمابی برای افراد بزرگسال، مربوط به فلز روی و جیوه به ترتیب با $3/08$ و $0/01$ در روز بود.

جدول ۱: میانگین غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم (میانگین \pm انحراف معیار) در ماهی‌های کپور علفخوار *Hypophthalmichthy*، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys nobilis*) (میلی گرم/کیلوگرم وزن خشک) در استخرهای پرورشی ماهیان گرمابی ساری (سال ۱۳۹۹).

فلز (میلی‌گرم/کیلوگرم وزن خشک)				
سرب	کادمیوم	جیوه	روی	
$0/0 \pm 98/23^a$	$0/0 \pm 41/22^a$	$0/0 \pm 0/2/00^a$	$7/0 \pm 45/86^a$	کپور علفخوار
$0/0 \pm 84/17^b$	$0/0 \pm 43/22^b$	$0/0 \pm 0/1/00^a$	$6/1 \pm 19/78^a$	ساری کپور معمولی
$0/0 \pm 84/39^b$	$0/0 \pm 42/25^b$	$0/0 \pm 0/2/00^a$	$6/2 \pm 60/38^a$	کپور نقره‌ای
$0/0 \pm 97/45^a$	$0/0 \pm 55/46^c$	$0/0 \pm 0/2/00^a$	$7/0 \pm 0/1/22^a$	کپور سرگنده
۸	۵	۱/۲	۲۰۰	(MAFF, ۱۹۹۸)
۱۶	۸	۰/۳	۴۸۰	(USEPA, ۲۰۰۰)

حروف غیرهمنام اختلاف معنی‌دار را نشان می‌دهد ($P < 0/05$)

مقادیر THQ و HI برای فلزهای جیوه، روی، سرب و کادمیوم در ماهی‌های کپور معمولی، کپور نقره‌ای، کپور سرگنده و کپور علفخوار در بزرگسالان و کودکان کمتر از ۱ بود (جدول ۲). در ماهی کپور علفخوار بیشترین و کمترین مقدار THQ در فلزهای کادمیوم و روی به ترتیب $0/25$ و 0 بود. در ماهی کپور معمولی بیشترین و کمترین مقدار THQ در فلزهای کادمیوم و روی به ترتیب $0/34$ و 0 بود. در ماهی کپور نقره‌ای بیشترین و کمترین مقدار THQ در فلزهای کادمیوم و روی به ترتیب $0/31$ و $0/01$ بود. در ماهی کپور سرگنده بیشترین و کمترین مقدار THQ در فلزهای کادمیوم و روی به ترتیب $0/43$ و 0 بود.

جدول ۲: شاخص خطر (THQ) و برآورد جذب روزانه (EDI) فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم ناشی از مصرف ماهی‌های کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*)، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*)، کپور سرگنده (*Hypophthalmichthys nobilis*) استخرهای پرورشی ماهیان گرمابی شهر ساری (سال ۱۳۹۹).

ماهی	فلز	EDI			THQ		
		بزرگسالان	کودکان	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین
کپور علفخوار	سرب	۰/۴۰	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۸۰	۱/۲۸	۰/۸۲
	کادمیوم	۰/۰۷	۰/۴۶	۰/۱۷	۰/۱۴	۰/۹۲	۰/۳۴
	جیوه	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۲
	روی	۱/۹۷	۴/۸۴	۳/۰۸	۳/۹۴	۹/۶۸	۶/۱۶
شاخص خطر کل		۰/۳۶	۰/۵۵	۰/۳۶	۰/۵۶	۱/۱۰	۰/۷۲
کپور معمولی	سرب	۰/۲۸	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۲۴	۰/۳۶
	کادمیوم	۰/۱۲	۰/۰۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۱/۰۰	۰/۳۶
	جیوه	۰/۰۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۲
	روی	۱/۷۵	۳/۵۶	۲/۵۶	۳/۰۵	۷/۱۲	۵/۱۲
شاخص خطر کل		۰/۳۶	۰/۶۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۷۰	۰/۷۰
کپور نقره‌ای	سرب	۰/۳۱	۰/۴۹	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۶۲	۰/۹۸
	کادمیوم	۰/۰۹	۰/۲۵	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۵۰	۰/۳۴
	جیوه	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲
	روی	۱/۶۹	۳/۱۳	۲/۷۳	۳/۳۸	۶/۳۲	۵/۴۶
شاخص خطر کل		۰/۳۶	۰/۵۸	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۷۰	۰/۷۰
کپور سرگنده	سرب	۰/۳۵	۰/۶۰	۰/۴۰	۰/۴۰	۱/۲۰	۰/۸۰
	کادمیوم	۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۲۳	۰/۶۶	۰/۴۶
	جیوه	۰/۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲
	روی	۱/۸۵	۴/۰۶	۲/۹۰	۳/۷۰	۸/۱۲	۵/۸۰
شاخص خطر کل		۰/۴۲	۰/۷۳	۰/۲۱	۰/۲۱	۰/۷۰	۰/۷۰

TDI: جذب روزانه قابل تحمل؛ HI: شاخص خطر کل؛ مقادیر TDI از گزارش USEPA به دست آمد.

بحث و نتیجه‌گیری

بیشترین میزان سرب در ماهی‌های مورد مطالعه در ماهی کپور علفخوار مشاهده شد ($P < 0.05$) که با میزان سرب در ماهی کپور سرگنده اختلاف معنی‌داری نداشت اما از ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای به‌صورت معنی‌دار بیشتر بود ($P < 0.05$). مقدار کادمیوم در ماهی کپور سرگنده از ماهی‌های کپور معمولی و نقره‌ای به‌صورت معنی‌دار بیشتر بود ($P < 0.05$). کادمیوم در ماهی کپور علفخوار به‌صورت معنی‌دار از سایر ماهیان کمتر بود ($P < 0.05$). غلظت فلزات جیوه و روی در ماهیان گرمابی مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند ($P > 0.05$) (جدول ۱). رستمی یار و همکاران (۱۳۹۳) غلظت فلز سنگین مس را در ماهیان گرمابی کپور پرورشی در استان خوزستان را بررسی کردند غلظت فلز مس در ماهی کپور

سرگنده به‌طور معنی‌داری از کپور معمولی و نقره‌ای بیشتر بود. به‌طور کلی تفاوت در غلظت فلزات در ماهی‌ها ممکن است به فاکتورهای زیادی از قبیل تغذیه، زیستگاه، فعالیت متابولیکی و رفتار گونه‌ها مربوط باشد (Erdogral and Ates, 2006). مطالعات مختلفی در زمینه غلظت فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان در ایران و سایر نقاط گزارش شده است در تحقیق سلگی و همکاران (۱۳۹۷) مقدار فلزات کادمیوم و سرب در عضله ماهی کپور معمولی در سواحل جنوبی دریای خزر مورد بررسی قرار گرفت. میانگین غلظت فلزهای کادمیوم و سرب به ترتیب به مقدار ۲/۵۵ و ۳/۸۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود؛ که مشابه نتایج به‌دست‌آمده این مطالعه می‌باشد. غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم در ماهی‌های کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سرگنده در ایستگاه‌های ساری کمتر از مقدار مجاز مشخص شده توسط آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده (USEPA, 2000) و وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (MAFF, 1998) بود (جدول ۲). کمتر بودن غلظت فلز سرب نسبت به استانداردهای USEPA و MAFF به معنی بی‌خطر بودن آن‌ها نیست فلز سرب معمولاً در آبزیان کمتر تجمع می‌یابد ولی میزان ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند تأثیر منفی بر روی آبزیان داشته باشد سمیت سرب برای ماهی و سایر موجودات آبی تحت تأثیر کیفیت آب بوده و به قابلیت انحلال ترکیبات سرب و به غلظت‌های کلسیم و منیزیم در آب بستگی دارد (ابراهیم پور، ۱۳۹۰). در تحقیق سالمی و همکاران (۱۳۹۶) مقدار فلزات کادمیوم، روی و سرب در عضله ماهی کپور در شهر دزفول مورد بررسی قرار گرفت. مقدار میانگین فلزهای روی، کادمیوم و سرب به ترتیب ۳۹/۹۵، ۲/۰۸ و ۳۴/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. مقدار فلز روی و کادمیوم پایین‌تر از حد مجاز استانداردهای مجاز USEPA و MAFF بود اما میانگین غلظت فلز سرب بیش از حد مجاز بود که با نتایج این تحقیق متفاوت می‌باشد. کادمیوم عنصری غیر ضروری و به‌شدت سمی برای ماهی است کادمیوم یونی محلول است که معمولاً از طریق آب‌شش‌ها در بدن تجمع می‌یابد. کادمیوم گرفته‌شده از آب در آب‌شش‌ها و کلیه‌ها تجمع می‌یابد در صورتی کادمیوم موجود در منابع غذایی در کلیه، کبد و روده تجمع می‌یابد (ابراهیم پور، ۱۳۹۰).

سلگی و همکاران (۱۳۹۴) غلظت فلزات سرب، کادمیوم و روی را در عضله ماهی کپور تالاب زریوار به ترتیب ۰/۳۳ و ۰/۴ و ۱۲۷/۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک اندازه‌گیری کردند. مقدار فلزهای سرب و کادمیوم نسبت به مطالعه حاضر کمتر اما غلظت فلز روی در عضله کپور ماهیان تالاب زریوار نسبت به ماهیان مورد بررسی این تحقیق بیشتر بود. روی جز عناصر ضروری برای ماهیان می‌باشد ولی غلظت‌های بالای روی سبب مسمومیت ماهیان می‌شود. مسمومیت با روی منجر به کاهش PH عروق سرخرگی، کاهش جذب O_2 ، افزایش ضربان قلب، افزایش حجم جابجایی، نقص در تعادل و کاهش میزان تغذیه در ماهیان می‌گردد (Sparks et al., 1972).

ملوندی و همکاران (۱۳۹۹) غلظت فلز جیوه را در عضله ماهی‌های کپور معمولی و کاراس در تالاب انزلی به ترتیب به مقدار ۰/۰۲۶ و ۰/۰۳۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش دادند و همچنین Malvandi و Alahabadi (۲۰۱۹) غلظت فلز جیوه را در شگ ماهی (Alosa spp.) بخش جنوبی دریای خزر را ۰/۱۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش کردند مشابه مقدار غلظت جیوه در ماهی‌های مورد بررسی تحقیق حاضر می‌باشد و کمتر از میزان مجاز تعیین شده توسط USEPA و MAFF بوده اما خوشناموند و همکاران (۱۳۸۹) در دریاچه سد قشلاق مقدار فلز جیوه را در عضله سفید و قرمز ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) به ترتیب به مقدار ۰/۳۶ و ۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش دادند و بیشتر از مقدار مجاز استانداردهای USEPA و MAFF و متفاوت و بیشتر از مقدار فلز جیوه در ماهی‌های مورد بررسی در تحقیق حاضر می‌باشد. مسمومیت با جیوه در ماهیان اثرات مخربی را بر کلیه که اصلی‌ترین اندام برای حفظ تعادل اسمزی است، باقی می‌گذارد. تغییرات در توپول‌های کلیوی ناشی از تجمع میزان‌های مسمومیت‌زای جیوه، باعث اغتشاش در اتصال گروه‌های H-S پروتئین‌ها در غشای سلولی می‌گردد و به‌این ترتیب به‌عنوان یک سیستم بازدارنده آنزیمی مطرح است (Roberts, 2001).

جدول ۳: میانگین غلظت جیوه، روی، سرب و کادمیوم (میلی گرم/کیلوگرم وزن خشک) در کپور ماهیان استخرهای گرمابی پرورشی ساری و مقایسه با دیگر مطالعات انجام شده.

فلز	منطقه مورد مطالعه	سرب	کادمیوم	جیوه	روی
	Central and eastern north China (Zhong <i>et al.</i> , 2018)	۰/۱۵	۰/۰۱	-	۸/۷۵
	Keban dam reservoir Turkey (Varol and Sunbul, 2018)	۰/۰۲۰/۱۴۷	۰/۰۰	-	۴۹/۰±۰۰/۰۵
	Liuzhou China (Miao <i>et al.</i> , 2019)	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۴	۱۲۶/۵۶
	Pearl river delta China (Leung <i>et al.</i> , 2014)	۱۷/۳	۰/۱۶	-	۸۹/۳
	Vaal Dam South Africa (Plessl <i>et al.</i> , 2019)	۰/۰±۰۴/۰۷	۰/۰±۰۳/۰۱	۰/۰±۴۶/۰۸	۱۹/۱±۹۲/۳۰
	مطالعه حاضر	۰/۰±۹۱/۳۱	۰/۰±۴۵/۲۲	۰/۰±۰۲/۰۰	۶/۱±۸۱/۳۱

غلظت فلزات در ماهیان گرمابی این تحقیق به صورت روی<سرب<کادمیوم<جیوه بود که با مطالعات انجام شده توسط Zhong و همکاران (۲۰۱۸) و Varol و Sunbul (۲۰۱۸) و Plessl و همکاران (۲۰۱۹) همخوانی دارد (جدول ۳). در حالی که با نتایج به دست آمده توسط Anan و همکاران (۲۰۰۵) (ترتیب غلظت فلزات را در ماهی سفید *Rutilus kutum frisii* به صورت روی<جیوه<سرب<کادمیوم در بخش جنوبی سواحل دریای خزر بود) و نصراله زاده ساروی و همکاران (۱۳۹۲) (ترتیب غلظت فلزات در ماهی کپور معمولی به صورت روی<جیوه<کادمیوم<سرب در بخش جنوب شرقی دریای خزر بود) متفاوت می باشد. متفاوت بودن غلظت فلزات سنگین در میان ماهی‌ها می تواند به دلیل شکل‌های شیمیایی فلزات مختلف و غلظتشان در محیط پرورش و فعالیت‌های میکروبیولوژی آن‌ها و تفاوت در اندازه ماهی‌ها باشد (Adhikari *et al.*, 2009).

Canli و Atli (۲۰۰۳) نشان دادند در گونه‌های مختلف و حتی در گونه‌های مختلف یک ماهی میزان تجمع و نرخ تجمع عناصر فلزی متفاوت است. روی در بین ۴ فلز مورد بررسی در این تحقیق بیشترین غلظت را داشت. روی همچنین جز فلزات ضروری برای انسان می باشد و عملکردهای مختلفی در بدن انسان دارد و نقش کوفاکتور را در بسیاری از سیستم‌های آنزیمی بدن از جمله کربنیک انهیدراز در گلبول‌های قرمز خون دارد و کمبود روی باعث آسیب پوستی و اختلال در رشد می شود (Kaim *et al.*, 2013).

در این مطالعه مقدار جذب روزانه (EDI) فلزهای جیوه، روی، سرب و کادمیوم چندین برابر از میزان جذب روزانه قابل تحمل (tolerable daily intake(TDI) متناظر آن کمتر می باشد چنین استنباط می شود مصرف این ماهی‌ها از نظر فلزات سنگین جیوه، روی، سرب و کادمیوم اثرات منفی برای سلامتی انسان ندارد. مطالعات مختلفی مقدار جذب روزانه (EDI) فلزات در انسان به واسطه مصرف ماهی از جمله Zhong و همکاران در سال ۲۰۱۸ (۹ گونه ماهی‌های آب‌های شیرین در مرکز و شمال شرقی چین مقدار فلزهای روی، کروم، مس، سرب، آرسنیک، کلسیم، منیزیم و نیکل)، سلگی و همکاران در سال ۱۳۹۷ (فلزهای کادمیوم، سرب، مس، منگنز و کبالت را در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در سواحل جنوبی دریای خزر)، مرتضوی و حاتمی منش در سال ۱۳۹۸ (فلزهای سرب، کروم، مس و روی را در دو گونه ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و ماهی آمور (*Ctenopharyngodon idella*) در رودخانه بشار یاسوج مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد مقدار EDI فلزات انتخاب شده کمتر از میزان جذب روزانه قابل تحمل می باشد. مشابه نتایج به دست آمده در این مطالعه می باشد. همچنین Liu و همکاران (۲۰۱۹) فلزات آرسنیک، روی، سدیم، سرب، کادمیوم، کروم، مس و نیکل را در ۷ گونه از ماهی‌های خلیج Xiangshan چین بررسی کردند مقدار EDI برای تمام فلزات (به غیر از آرسنیک) کمتر از میزان جذب روزانه قابل تحمل بود؛ اما با نتایج به دست آمده توسط Gorjian و همکاران (۲۰۲۱) در ماهی *Clupeonella cultriventris caspia* در جنوب دریای خزر در فلزات آرسنیک، جیوه، کبالت، وانادیم و آنتیموان (که مقدار EDI آن‌ها بیشتر از TDI بود) متفاوت می باشد.

شاخص خطر (THQ)، نسبت غلظت عناصر به حداکثر غلظتی از آن عنصر است که در بدن ایجاد مشکل نمی‌کند. مقدار THQ برای هر یک از فلزهای جیوه، روی، سرب و کادمیوم برای ماهی‌های کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سر گنده به‌صورت جداگانه کمتر از یک بود. روند کاهش مقادیر THQ برای کپور ماهیان موردبررسی به‌صورت روی > جیوه > سرب > کادمیوم است.

با توجه به اینکه در ارزیابی خطر، میزان پتانسیل خطر کمتر از ۱ بیانگر عدم عوارض نامطلوب بهداشتی برای مصرف‌کننده است، بنابراین مصرف ماهیان کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سر گنده در منطقه ساری تهدیدی جدی برای بومیان مصرف‌کننده محسوب نمی‌شود. شاخص خطر کل (HI)، در کپور ماهیان مطالعه حاضر نیز کمتر از ۱ به دست آمد که نشان می‌دهد مصرف ماهی‌های کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سر گنده اثر مضر بر سلامت مصرف‌کننده ندارد. در این راستا مطالعات مختلفی به ارزیابی ریسک بالقوه سلامتی (HI و THQ) ناشی از مصرف ماهیان اکوسیستم‌های آبی پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات مروتی و پناهنده (۱۳۹۶) در ماهی‌های *carpio* *Cyprinus*، *Abramis brama*، *Esox Lucius*، *Alburnus chalcoides* و *Carassius carassius* در مورد فلزهای سرب، کادمیوم و کروم در تالاب انزلی، فرحبخش و همکاران (۱۳۹۸) در ماهی‌های *Vimba vimba* و *Rutilus frisii kutum* در ارتباط با فلزهای روی، مس و نیکل در تالاب انزلی و Yin و همکاران (۲۰۲۰) در ماهی‌های *Cyprinus carpio*، *Ctenopharyngodon idella*، *Hypophthalmichthys molitrix* و *Hypophthalmichthys nobilis* در ۹ دریاچه استان Anhui چین اشاره کرد. همچنین Korkmaz و همکاران (۲۰۱۹) فلزهای آرسنیک، آهن، روی، سرب، کادمیوم، قلع، منگنز و سدیم را در ۱۶ گونه ماهی‌های شمال شرقی دریای مدیترانه تعیین کرده و مقدار THQ و HI را محاسبه کردند. مقدار HI برای تحقیق موردنظر بدون در نظر گرفتن THQ فلز آرسنیک، به میزان ۰/۱۶ گزارش شد که کمتر از ۱ بود. نتایج این تحقیقات نشان داد که مقادیر THQ و HI برای فلزات موردبررسی در افراد بالغ کمتر از ۱ بود مشابه با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد اما با نتایج به‌دست‌آمده توسط مطالعه سالمی و همکاران (۱۳۹۶) که شاخص خطر کل فلزات کادمیوم، کروم، نیکل، روی و سرب در ماهی *Cyprinus carpio* شهر دزفول بیشتر از ۱ بود و همکاران (۲۰۲۰) مقدار HI فلزات سنگین افراد بزرگ‌سال در ماهی‌های روهو (*Labeo rohita*) و تیلایپا (*Oreochromis niloticus*) در رودخانه Thamarabarani هند به ترتیب ۲۷/۸۶ و ۲۶/۵۹ به دست آوردند متفاوت می‌باشد. این ارزیابی فقط در مورد مصرف محصولات آبی می‌باشد و THQ سایر اقلام مصرفی مانند آب، سبزی‌ها و برنج محاسبه نشده است؛ بنابراین HI واقعی برای مردم این منطقه از مقدار بیان شده بیشتر است.

در این مطالعه فلزات سنگین در ماهیان کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سرگنده استخرهای پرورش ماهیان گرمابی در ساری موردبررسی قرار گرفتند. مقایسه غلظت فلزات در بافت‌های عضله ماهیان گرمابی با استانداردهای USEPA و MAFF نشان داد میزان غلظت فلزات جیوه، روی، سرب و کادمیوم در بافت‌های مذکور پایین‌تر از حد استاندارد بوده است. بر اساس یافته‌های به‌دست‌آمده می‌توان بیان نمود میانگین کلی تغییرات غلظت فلزات در چهار گونه ماهی کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سرگنده به‌صورت: جیوه > کادمیوم > سرب > روی بوده است. مقدار جذب روزانه (EDI) در مورد فلزهای جیوه، روی، سرب و کادمیوم به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای از جذب روزانه قابل‌تحمل (TDI) کمتر بود. همچنین بر اساس نتایج شاخص خطر (THQ) فلزات سنگین ناشی از مصرف کپور ماهیان مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت در هر چهار گونه بیشترین ریسک بالقوه سلامتی مربوط به فلز کادمیوم و بعد از آن به ترتیب مربوط به فلزات سرب، جیوه و روی می‌باشد. مقدار شاخص خطر کل (HI) در هر چهار گونه کپور ماهیان مورد مطالعه به مقدار کمتر از یک می‌باشد. نشان می‌دهد مصرف ماهی کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور نقره‌ای و کپور سرگنده اثر مضر بر سلامت مصرف‌کنندگان ندارد.

منابع

- ابراهیم پور کاسمانی، م.، ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر آلودگی دریاها. انتشارات نوین اندیشه. تهران. ۲۳۲ ص.
- حسن پور، م.، پورخباز، ع.، ابراهیم پور کاسمانی، م. و قربانی، ر.، ۱۳۹۰. بررسی فلزات سنگین در رسوب، آب و پرندگان آبی جنوب شرقی دریای خزر در استان گلستان (مطالعه موردی تالاب بین‌المللی گمیشان و خلیج گرگان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، ۱۰۰ ص.
- خوشناموند، م.، کبودوندپور، ش. و غیائی، ف.، ۱۳۸۹. پایش جیوه تجمع یافته در بافت‌های مختلف ماهی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) دریاچه سد قشلاق سمنج، مجله سلامت و محیط زیست، ۳(۳): صفحات ۹۸-۹۱.
- دهقان طرزجانی، م. ح.، فراهانی، ف. و اسماعیل زاده، ع.، ۱۳۹۸. بررسی تجمع سرب، کادمیوم و مس در بافت خوراکی ماهیان گرمابی استان البرز. نشریه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی البرز، ۹(۱): صفحات ۶۶-۶۰.
- رستمی یار، ا. و عسکری ساری، ا.، ۱۳۹۳. تعیین شاخص خطر (HQ) مس در عضله چهار گونه ماهی کپور پرورشی در استان خوزستان. فصلنامه علوم تکتیر و آبی‌پروری، ۲(۳): صفحات ۲۴-۱۱.
- سالمی، م. و حسینی الهاشمی، ا.، ۱۳۹۶. تجمع زیستی فلزات سنگین (کادمیوم، کروم، نیکل، روی و سرب) در عضله ماهی کپور معمولی (*Cyprinus Carpio*). فصلنامه زیست‌شناسی جانوری، ۹(۴): صفحات ۴۵-۳۵.
- سلگی، ع.، علیپور، ح. و مجنونی، ف.، ۱۳۹۷. ارزیابی غلظت فلزات سنگین در عضله کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) در سواحل جنوبی دریای خزر و خطر بالقوه برای سلامتی انسان. مجله علمی شیلات ایران، ۲۷(۱): صفحات ۱۲۹-۱۱۹.
- سلگی، ع. و خاتونی، ص.، ۱۳۹۴. بررسی سطوح برخی از فلزات سنگین در تالاب بین‌المللی زریوار توسط پایش ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*). مجله محیط‌زیست جانوری، ۷(۳): صفحات ۱۱۸-۱۰۹.
- عسکری ساری، ا. و کریمی ساری، و.، ۱۳۹۵. مقایسه میزان آهن و ارزیابی خطر (HQ) در عضله ماهیان دریایی و ماهیان پرورشی در استان خوزستان. مجله علمی شیلات ایران، ۲۵(۵): صفحات ۱۱-۱.
- عسکری ساری، ا. و محمدی، م.، ۱۳۹۴. بررسی و مقایسه فلز آرسنیک در عضله و کبد ماهیان پرورشی کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*). کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، کپور علفخوار (*Ctenopharyngodon idella*)، کپور سرگنده (*Aristichthys nobilis*) و قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در ایران. مجله اکو بیولوژی تالاب، ۷(۲۳): صفحات ۶۹-۷۶.
- عسکری ساری، ا. و ولایت زاده، م.، ۱۳۹۳. فلزات سنگین در آبزیان. چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ۳۸۰ ص.
- فرح‌بخش، ز.، اکبر زاده، ا. و ناجی، ا.، ۱۳۹۸. ارزیابی خطر فلزات سنگین (Cu, Zn, Ni) برای سلامت انسان، ناشی از مصرف عضله ماهی سیاه کولی (*Vimba vimba persa* (Linnaeus, 1754) و ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum* (kamansky, 1901) در تالاب انزلی، دریای خزر. مجله علمی شیلات ایران، ۲۸(۳): صفحات ۸۸-۷۷.
- محمدی دشتکی، ز. و زاهد، م. ع.، ۱۳۸۰. آلودگی دریا (ترجمه). انتشارات نقش مهر. چاپ اول. تهران. ۲۴۸ ص.
- مرتضوی، ث.، حاتمی منش، م.، ۱۳۹۸. انباشت و ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین (سرب، کروم، مس و روی) در ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و ماهی آمور (*Ctenopharyngodon idella*) رودخانه بشار یاسوج، مجله بوم‌شناسی آبزیان، ۹(۳): صفحات ۱۳-۱.
- مروتی، م. و پناهنده، م.، ۱۳۹۶. بررسی اثر فلزات سنگین بر سلامت بالغین، زنان و کودکان مصرف‌کننده ماهی (مطالعه موردی تالاب انزلی). مجله زیست‌شناسی دریا، ۹(۳۳): صفحات ۹۸-۸۳.
- مشتاق زاده، گ.، ناجی، ا. و کوسج، ن.، ۱۳۹۶. ارزیابی خطر بعضی از عناصر با پتانسیل آلاینده‌ی بالا در عضله و کبد ماهی هوور (*Thunnus tonggol*) و بیاح (*Liza abu*) برای مصارف انسانی در استان هرمزگان. مجله علمی شیلات ایران، ۲۶(۶): صفحات ۴۷-۳۳.
- مولوندی، ح.، سروری کروژده، م.، عظیم، س.، ۱۳۹۹. سنجش غلظت جیوه در ماهی کپور معمولی و کاراس ساکن در تالاب انزلی و ارزیابی خطر سلامت انسان، مجله بهداشت و توسعه، ۹(۲): صفحات ۱۵۱-۱۳۷.
- نصراله زاده ساروی، ح.، پورغلام، ر.، پورنگ، ن.، رضایی، م.، مخلوق، آ. و یونسی پور، ح.، ۱۳۹۲. مطالعه تجمع برخی از فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهی کپور (*Cyprinus Carpio*) و برآورد میزان سیبل خطر در حوزه ایرانی دریای خزر (سال ۱۳۸۹). مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۲۳(۱۰۳): صفحات ۴۴-۳۳.

- Adhikari, S., Ghosh, L., Giri, B. S. and Ayyanppan, S., 2009.** Distributions of metals in the food web of fishponds of Kolleru Lake, India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72: 1242–1248.
- Amini Ranjbar, A. and Sotoodena, F., 2005.** Accumulation heavy metals in muscle tissue of *Mugil auratus* and its relationship with some biometrical characteristics (standard length, weight, age and sex). *Iranian Fisheries Scientific Journal*, 14 (3): 1-18.
- Arisekar, U., Shakila, R. J., Shalini, R. and Jeyasekaran, G., 2020.** Human health risk assessment of heavy metals in aquatic sediments and freshwater fish caught from Thamirabarani River, the Western Ghats of South Tamil Nadu. *Marine pollution bulletin*, 159: 111496.
- Canli, M. and Atli, G., 2003.** The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*. 121: 129–136.
- Crump, K. L. and Trudeau, V. L., 2009.** Mercury-induced reproductive impairment in fish. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 28: 895–907.
- Djedjibegovic, J., Larssen, T., Skrbo, A., Marjanovic, A. and Sober, M., 2012.** Contents of cadmium, copper, mercury and lead in fish from the Neretva river (Bosnia and Herzegovina) determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICPMS). *Food Chemistry*. 131 (2): 469–476.
- Eaton, A. D., Rice, E. W. and Baird, R. B., 2017.** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, 1545p.
- Erdogrul, O. and Ateş, D. A., 2006.** Determination of cadmium and copper in fish samples from Sir and Menzelet Dam Lake Kahramanmaraş, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 117(1-3): 281–290.
- Giri, S. and Singh, A. K., 2013.** Assessment of human health risk for heavy metals in fish and shrimp collected from Subarnarekha river, India. *International Journal of Environmental Health Research*. 24(5): 429–449.
- Gorjian Arabi, M. H., Sinkakarimi, M. H., Ahmadpour, M., Islami, I. and Hapeman, P., 2021.** Trace element concentrations in water and *Clupeonella cultriventris caspia* in the Southern Caspian Sea and Assessment of Potential Risk to Human Health. *Biological Trace Element Research*. 200 (2): 822-831.
- Hauser-Davis, R. A., Bordon, I. C., Oliveira, T. F. and Ziolli, R. L., 2016.** Metal bioaccumulation in edible target tissues of mullet (*Mugil liza*) from a tropical bay in Southeastern Brazil. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 36: 38-43.
- Kaim, W., Schwedersk, B. and Klein, A., 2013.** Bioinorganic Chemistry Inorganic Elements in the Chemistry of Life: An Introduction and Guide (2th ed). Wiley, New York.
- Korkmaz, C., Ay, O., Ersoysal, Y., Koroglu, M. A. and Erdem, C., 2019.** Heavy metal levels in muscle tissues of some fish species caught from north-east Mediterranean: Evaluation of their effects on human health. *Journal of Food Composition and Analysis*, 81:1-9.
- Leung, H. M., Leung, A. O. W., Wang, H. S., Ma, K. K., Liang, Y., Ho, K. C., Cheung, K. C., Tohidi, F. and Yung, K. K. L., 2014.** Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl River Delta (PRD), China. *Marine Pollution Bulletin*. 78: 235-245.
- Liu, Q., Xu, X., Zeng, J., Shi, X., Liao, Y., Du, P., Tang, Y., Huang, W., Chen, Q. and Shou, L., 2019.** Heavy metal concentrations in commercial marine organisms from Xiangshan Bay, China, and the potential health risks. *Marine Pollution Bulletin*, 141: 215–226.
- Mac Donald, D. D., Ingersoll, C. G. and Berger, T. A., 2000.** Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental and Contamination Toxicology*. 39: 20-31.
- MAFF., 1998.** Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1995 and 1996. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food. Aquatic Environmental Monitoring Report 51. Lowestoft, UK.
- Makedonski, L., Psycheva, K. and Stancheva, M., 2017.** Determination of some heavy metal of selected black sea fish species. *Food Control*, 72: 313–318.

- Malvandi, H. and Alahabadi, A., 2019.** Evaluation of potential human health risk due to the exposure to mercury via fish consumption of *Alosa* spp. from the southern Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 143: 66–71.
- Malvandi, H., Esmaili-Sari, A. and Aliabadian, M., 2014.** Mercury contamination in Khrumulia (*Capoeta capoeta*) from the Cheshme Kile and Zarrin Gol Rivers in Iran and human health risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 93: 472–477.
- Miao, X., Hao, Y., Tang, X., Xie, Z., Liu, L., Luo, S., Huang, Q., Zou, Z., Zhang, C. and Li, J., 2019.** Analysis and health risk assessment of toxic and essential elements of the wild fish caught by anglers in Liuzhou as a large industrial city of China. *Chemosphere*, 2020: (243) 125337.
- Oyaro, N., Juddy, O., Murago, E. and Gitonga, E., 2007.** The contents of Pb, Cu, Zn and Cd in meat in Nairobi, Kenya. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 5 (3&4): 119-121.
- Plessl, C., Gilbert, B., Sigmund, M. F., Theiner, S., Avenant-Oldewage, A., Keppler, B. and Jirsa, F., 2019.** Mercury, silver, selenium and other trace elements in three cyprinid fish species from the Vaal Dam, South Africa, including implications for fish consumers. *Science of the Total Environment*, 659: 1158–1167.
- Rahman, M.S., Saha, N., Molla, A. H. and Al-Reza, S. H., 2014.** Assessment of anthropogenic influence on heavy metals contamination in the aquatic ecosystem components: water, sediment, and fish. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 23(4): 353-373.
- Roberts, R. J., 2001.** *Fish Pathology* (3d ed). W.B Saunders, London, 472 P.
- ROPME, 1999.** *Manual of Oceanographic observation and pollutant analyses methods (MOOPAM)*. Regional Organization For the Protection of the Marine Environment., Kuwait.
- Shaheen, N., Ahmed, M. K., Islam, M. S., Habibullah-Al-Mamun, M., Tukun, A. B., Islam, S. and Rahim, A. T. M. A., 2016.** Health risk assessment of trace elements via dietary intake of non-piscine protein source foodstuffs (meat, milk and egg) in Bangladesh. *Environmental Science and Pollution Research*, 23: 7794–7806.
- Song, C., Zheng, Y., Zhou, Q., Li, D., Liang, G. and Gao, Y., 2019.** Effects of water impoundment and water-level manipulation on the bioaccumulation pattern, trophic transfer and health risk of heavy metals in the food web of Three Gorges Reservoir (China). *Chemosphere*, 232:403-414.
- Sparks, R. E., Cairns, Jr. and Heath, A. G., 1972.** The use of bluegill breathing rates of detect zinc. *Water Research*. 6: 895-911.
- Stoskopf, M. K., 1993.** *Fish medicine*. WB Saunders Co, London, England, 882p.
- USEPA., 2000.** *Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories, Volume 2. Risk Assessment and Fish Consumption Limits*. EPA 823-B-00-008. United States Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC., <https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/guidance-assess-chemical-contaminant-vol2-third-edition.pdf>
- Varol, M. and Sunbul, M. R., 2018.** Multiple approaches to assess human health risks from carcinogenic and non-carcinogenic metals via consumption of five fish species from a large reservoir in Turkey. *Science of the Total Environment*, 633: 684-694.
- Varol, M., Kaya, G. K. and Alp, A., 2017.** Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Firat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. *Science of the Total Environment*, 599–600: 1288–1296.
- Yi, Y. J. and Zhang, S. H., 2012.** The relationships between fish heavy metal concentrations and fish size in the upper and middle reach of Yangtze River. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1699–1707.
- Yin, J., Wang, L., Liu, Q., Li, S., Li, J. and Zhang, X., 2020.** Metal concentrations in fish from nine lakes of Anhui Province and the health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 20117–20124.
- Zhong, W., Zhang, Y., Wu, Z., Rongyan, Y., Chen, X., Yang, J. and Zhu, L., 2018.** Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 154: 343-349.