

Evaluation of Cadmium, Vanadium, Nickel and Zinc Concentrations in Different Tissues of Beluga and Stellate Sturgeon and Risk Assessment Regarding Consuming Their Muscle Tissue in South Caspian Sea

Abdulreza Mashroofeh¹,
Alireza Riyahi Bakhtiari²,
Mohammad Pourkazemi³

¹ MSc Student in Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran

² Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Mazandaran, Noor, Iran

³ International Sturgeon Research Institute, Rasht, Iran

(Received July 29, 2012 ; Accepted December 4, 2012)

Abstract

Background and purpose: High concentrations of heavy metals have always been a major cause of contamination in aquatic ecosystem. Sturgeons are important sources of food and income throughout the world. In this study, concentrations of Cadmium, Vanadium, Nickel and Zinc (Cd, Ni, V and Zn) were examined in edible and inedible tissues of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) and beluga (*Huso huso*) collected from coastal waters of the South Caspian Sea in spring, 2011. Also, the human health risk due to consumption of muscle tissue of stellate sturgeon and beluga were evaluated.

Materials and methods: Two species of sturgeons, beluga ($n = 4$), stellate sturgeon ($n = 8$), were collected from two of the most important sturgeon fishery zones in Guilan and Golestan provinces and stored at -20°C before chemical analysis. Concentrations of Zn were measured by atomic absorption spectrophotometer using an air/acetylene flame (Shimadzu, AA-670, Kyoto, Japan). Concentrations of Cd, Ni and V were determined by graphite furnace atomic absorption spectrometer (Shimadzu, AA-670G, Kyoto, Japan).

Results: Stellate sturgeon liver showed the highest concentrations of Cd, Ni, V (1.70 ± 0.32 , 0.87 ± 0.23 and 2.71 ± 1.44 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively) and highest concentrations of Zinc (182.26 ± 51.87 $\mu\text{g/g}$ dry weight) in beluga heart ($P < 0.05$). The lowest concentrations of Zn and Cd (16.82 ± 4.90 and 0.006 ± 0.002 $\mu\text{g/g}$ dry weight, respectively) in stellate sturgeon and lowest concentrations of Ni and V (0.08 ± 0.02 and 0.17 ± 0.03 $\mu\text{g/g}$ dry weight) were observed in stellate sturgeon heart and beluga heart, respectively ($P < 0.05$).

Conclusion: The mean concentrations of Zn, Cd and V in caviar and muscle samples were lower than the permissible limits proposed by the United Kingdom's Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF 2000) and World Health Organization (WHO). The guidelines for Cd, V and Zn are 0.2, 0.5 and 50 $\mu\text{g/g}$ wet weight, respectively. The measured concentrations for these heavy metals are less than the published guidelines and do not constitute any threat to the human population that may consume these sturgeons obtained from the studied locations.

Keywords: Risk Assessment, Stellate sturgeon, Beluga, metals, Caspian Sea

بررسی میزان فلزات کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در بافت‌های مختلف فیله ماهی و ازون برون و ریسک ناشی از مصرف بافت عضلانی آن‌ها مربوط به حوضه جنوبی دریای خزر

عبدالرضا مشروفه^۱
علیرضا ریاحی بختیاری^۲
محمد پورکاظمی^۳

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی به فلزات یکی از مشکلات مهم زیست محیطی و یکی از نگرانی‌های مهم بهداشت مواد غذایی به شمار می‌آید. در سراسر جهان، ماهیان خاویاری یک منبع مهم تأمین غذا و ایجاد اشتغال و درآمد می‌باشند. در پژوهش حاضر، غلظت کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در بافت‌های خوراکی و غیر خوراکی دو گونه، فیله ماهی (*Huso huso*) و ازون برون (*Acipenser stellatus*) جمع‌آوری شده از حوضه جنوبی دریای خزر در بهار سال ۱۳۹۰ انجام شد. همچنین ریسک ناشی از مصرف عضله این ماهیان برای انسان نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: نمونه‌های دو گونه ماهیان خاویاری، فیله ماهی (n=۴)، ازون برون (n=۸) را از مراکز مهم صید ماهیان خاویاری بخش جنوبی دریای خزر واقع در استان‌های گیلان و گلستان جمع‌آوری گردیده و تا آنالیز شیمیایی در فریزر در دمای ۲۰°C- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. اندازه‌گیری میزان غلظت فلز روی با دستگاه طیف سنجی جذب اتمی با شعله مدل (Shimadzu, AA-670) و غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم با دستگاه طیف سنجی جذب اتمی مجهز به سیستم گرافیتی مدل (Shimadzu, AA-670G) تعیین گردید.

یافته‌ها: بالاترین غلظت فلزات کادمیوم، وانادیوم و نیکل (به ترتیب 0.32 ± 0.17 ، 0.23 ± 0.87 و 1.44 ± 2.71 میکروگرم بر گرم وزن خشک) در بافت کبد ماهی ازون برون و بیشترین غلظت فلز روی (51.87 ± 182.26 میکروگرم بر گرم وزن خشک) در قلب فیله ماهی است ($p < 0.05$). کمترین غلظت فلزات روی و کادمیوم (به ترتیب 4.90 ± 16.82 و 0.02 ± 0.06 میکروگرم بر گرم وزن خشک) در عضله ازون برون و کمترین غلظت فلزات نیکل و وانادیوم (0.02 ± 0.08 و 0.03 ± 0.17 میکروگرم بر گرم وزن خشک) به ترتیب در قلب ازون برون و قلب فیله ماهی مشاهده گردید ($p < 0.05$).

استنتاج: میانگین غلظت کادمیوم، وانادیوم و روی از حد استاندارد تعیین شده توسط سازمان کشاورزی، ماهیگیری و غذایی انگلستان (MAFF ۲۰۰۰) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) پایین‌تر می‌باشد. حد استاندارد فلزات کادمیوم، وانادیوم و روی به ترتیب ۰/۲، ۰/۵ و ۵۰ میکروگرم بر گرم می‌باشد. بنابراین به دلیل پایین بودن غلظت‌های به‌دست آمده از حد مجاز، مصرف عضله این ماهیان خطری جدی برای سلامتی مصرف‌کنندگان نخواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی ریسک، ازون برون، فیله ماهی، فلزات، دریای خزر

مقدمه

انتشار فلزات در محیط زیست ناشی از افزایش جمعیت، توسعه و صنعتی شدن و یکی از معضلات زیست محیطی عصر حاضر می‌باشد. این آلاینده‌ها به دلیل سمیت، پایداری و تجمع زیستی آن‌ها در محیط

E-mail: ariyahi@gmail.com

مؤلف مسئول: علیرضا ریاحی بختیاری - نور: دانشگاه تربیت مدرس دانشکده منابع طبیعی پردیس نور

۱. دانشجوی کارشناس ارشد محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی پردیس نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی پردیس نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳. انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری (شاهد دامن)، رشت، رشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۸ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۱/۷/۲۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۹/۱۴

زیست طبیعی از آلاینده‌های بسیار خطرناک محسوب می‌شوند. فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهری، شیمیایی زمین، معدن کاوی فلزات و ته نشست اتمسفری از منابع بالقوه آلودگی فلزات در دریای خزر به شمار می‌روند (۱، ۲). فلزات پس از ورود به اکوسیستم‌های آبی در بافت‌ها و اندام‌های آبزیان و از جمله ماهیان تجمع یافته، وارد زنجیره غذایی می‌شوند و در نهایت این فلزات می‌توانند از طریق تغذیه ماهیان آلوده وارد بدن انسان گردند (۳، ۴). فلزات نه تنها تهدیدی برای ماهی‌ها به شمار می‌روند، بلکه برای مصرف‌کنندگان از غذاهای دریایی آلوده به این فلزات نیز خطر بزرگی محسوب می‌شوند. به طوری که کادمیوم به عنوان فلز سمی و غیر ضروری در محیط زیست بوده، به مقدار زیادی از طریق غذا جذب و اثرات سوء خود از جمله مشکلات اسکلتی، برونشیت، آمفیوزم، کم خونی، اختلال و سنگ کلیه و بیماری‌های قلبی را در مصرف‌کنندگان ایجاد می‌کند. نیکل به طور گسترده‌ای در محیط زیست پراکنده است و غلظت آن تابعی از سوخت‌های فسیلی، استخراج آن از معادن و پالایشگاه‌ها و سوختن مواد زائد است. نیکل قادر به ایجاد چهار گروه سمیت در مصرف‌کنندگان که بسته به شدت آن عبارتند از آلرژی، سرطان، اختلالات تنفسی و مسمومیت‌های ایاتروژنیک. وانادیوم معمولاً از منابع طبیعی و انسانی وارد محیط می‌شود و در مقادیر ناچیز می‌تواند به عنوان مکمل غذایی مورد مصرف قرار گیرد اما افزایش مصرف آن می‌تواند عوارضی از جمله برونشیت، پنومونی، آنمی، التهاب و تورم چشم‌ها، التهاب ریه‌ها، آب مروارید، کاهش حافظه، اسهال، کاهش اشتها و در نهایت موجب مرگ در مصرف‌کنندگان گردد. یکی از مهم‌ترین منابع تأمین روی در بدن انسان ماهی می‌باشد، اگرچه روی یک عنصر ضروری و از اهمیت فوق العاده‌ای در تغذیه انسان برخوردار است و در مجموع در بیش از ۳۰۰ فعالیت آنزیمی و هورمونی شرکت دارد اما مصرف بیش از حد آن می‌تواند باعث اثرات حاد نامطلوب شود (۴).

دریای خزر به لحاظ موقعیت ممتاز خود مأمّن و زیستگاه اصلی تاس ماهیان به شمار می‌رود، به طوری که بیش از ۹۰ درصد از گوشت و خاویار موجود در جهان از طریق این دریا تأمین می‌گردد (۵). کل صید سالانه ماهیان خاویاری در دریای خزر و آذوف تقریباً ۲۸/۵۰۰ تن در سال ۱۹۸۵ به کمتر از ۲۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۹ و حدود ۱۳۴۵ تن در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است (۶، ۷). دلیل کاهش چشمگیر جمعیت ذخائر ماهیان خاویاری عبارتند از: صید بی‌رویه و تخریب محیط زیست دریایی نظیر؛ بخش بندی رودخانه‌ها، ساختن سد بر روی رودخانه‌ها، آلودگی شیمیایی رسوبات و آب‌های رودخانه‌های ولگا، آرال و کورا می‌باشد (۶). در این میان، به نظر می‌رسد آلودگی‌های شیمیایی یکی از مهم‌ترین عوامل قابل توجه اثر گذار بر روی جمعیت ماهیان خاویاری در دریای خزر است (۸). به طور کلی می‌توان گفت، از آنجایی که دریای خزر یک حوضه بسته بدون هیچ خروجی است آلودگی‌های وارده از مناطق ساحلی در دریای خزر تجمع می‌یابند و به دلیل زمان ماند بالایی که دارند وارد بدن آبزیان می‌شوند (۸). بنابراین با وجود ارزش غذایی ماهی، امروزه به علت وجود آلاینده‌ها در اکوسیستم‌های آبی، مصرف آن با خطراتی مواجه است و این ریسک در گروه‌های آسیب پذیر به ویژه کودکان و زنان باردار بسیار حائز اهمیت است. بنابراین باید مصرف آن از طریق روش‌های علمی مورد ارزیابی ریسک قرار گیرد. مطالعات اندکی با هدف ارزیابی ریسک مصرف موجودات آبی از نظر وجود فلزات در دریای خزر انجام گرفته است و بیشتر آن‌ها صرفاً به بررسی فلزات در بافت‌های مختلف ماهی و ارتباط تجمع فلزات با پارامترهای بیومتری پرداخته‌اند (۱۰-۸). نظر به این که این ماهیان کفزی بوده، همچنین با داشتن طول عمر نسبتاً طولانی، میزان چربی بالا در بافت‌های مختلف، رژیم غذایی و از همه مهم‌تر جایگاهشان در زنجیره غذایی قادر به تجمع بالایی از آلاینده‌ها می‌باشند و بهترین شاخص جهت تعیین غلظت فلزات در

اکوسیستم‌های آبی می‌باشند. علاوه بر این، نظر به ارزش غذایی و همچنین اهمیت اقتصادی این دو گونه، بررسی میزان فلزات جهت ارزیابی خطر ناشی از مصرف این ماهیان ضروری به نظر می‌رسد.

در تحقیق حاضر علاوه بر سنجش و مقایسه سطوح فلزات روی، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در کبد، قلب و عضله فیل ماهی و ازون برون صیده شده از بخش جنوبی دریای خزر، خطرات احتمالی ناشی از مصرف بافت عضله فیل ماهی و ازون برون و پیشنهاد حد مجاز مصرف این ماهیان برای بزرگسالان و کودکان تعیین گردیده است.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری نمونه‌ها و جامعه آماری

نمونه‌های فیل ماهی ($n=4$) و ازون برون ($n=8$) از مراکز مهم صید ماهیان خاویاری بخش جنوبی دریای خزر واقع در استان‌های گلستان و گیلان، در بهار سال ۱۳۹۰ جمع‌آوری گردید. در فصول صید از طریق دام‌های گوشگیر، ماهیان خاویاری صید شده توسط صیادان جهت استحصال خاویار و گوشت به صیدگاه آورده می‌شوند. در صیدگاه‌های انتخاب شده پس از زیست‌سنجی ماهیان (طول استاندارد و وزن)، حدود ۵ گرم از عضله ناحیه جانبی، کبد و قلب به صورت تکه‌برداری جمع‌آوری گردید. نمونه‌های جمع‌آوری شده در کلمن‌های حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال داده، تا آنالیز شیمیایی در فریزر در دمای 20°C - نگهداری شدند.

آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز دستگاهی

نمونه‌های بافت عضله و کبد و قلب فیل ماهی و ازون برون با استفاده از دستگاه فریز درایر (مدل OPERON، کره جنوبی) به مدت ۹۲-۷۲ ساعت خشک شد سپس با هاون چینی یا میکسر به شکل پودر همگن در آمده، حدود یک گرم از هر نمونه خشک شده به دقت توزین گردید و در لوله‌های هضم PTFE (Polytetrafluoroethylene) ریخته شد. سپس با استفاده

از روش هضم، به میزان ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵ درصد به نمونه اضافه گردید. ابتدا به مدت یک ساعت در دمای 40°C لوله‌های PTFE بر روی هیتر قرار داده سپس به آرامی دما را افزایش داده به مدت ۳ ساعت در دمای 140°C حرارت داده شد. محلول حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن شماره یک و کیف پلی اتیلنی صاف شده، در نهایت با آب دوبار تقطیر شده (دیونیزه) به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانیده شد (۱۱). جهت کنترل کیفیت آنالیزها، سه نمونه Blank نیز در کنار سایر نمونه‌ها همانند نمونه‌های مورد بررسی تهیه شد. همچنین دقت اندازه‌گیری میزان روی، کادمیوم، نیکل و وانادیوم با استفاده از آنالیز ماده استاندارد SRM1577b و DORM2 کنترل گردید. درصد بازیابی دارای دامنه بین ۱۰۴-۸۵/۳ درصد تعیین گردید. برای اندازه‌گیری میزان غلظت روی از دستگاه طیف سنجی جذب اتمی با شعله مدل (Shimadzu, AA-670) استفاده شد. غلظت کادمیوم، نیکل و وانادیوم با دستگاه طیف سنجی جذب اتمی مجهز به سیستم گرافیتی مدل (Shimadzu, AA-670G) تعیین گردید. در این مطالعه، مقادیر فلزات بر حسب میکرو گرم بر گرم وزن خشک بیان گردید.

در این تحقیق تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها به کمک نرم افزار SPSS17 و Excel انجام شد. برای آزمایش نرمال بودن داده‌ها از آزمون شاپیرو-ویلک استفاده گردید. برای مقایسه میانگین داده‌ها در بافت‌های مختلف فیل ماهی و ازون برون و تشخیص معنی‌دار بودن اختلاف میانگین‌ها پس از اثبات نرمال بودن داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه ANOVA و آزمون دانکن با سطح اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید و $p < 0/05$ معنی‌دار در نظر گرفته شد.

محاسبه حد مجاز مصرف ماهی

حد مجاز مصرف ماهی به منظور ایجاد تعادل بین فواید مصرف ماهی و حفظ سلامت عمومی ناشی از مصرف ماهی براساس تعریف آژانس حفاظت محیط

غلظت فلزات روی، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در عضله، کبد و قلب فیل ماهی و ازون برون در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است. با توجه به نتایج به دست آمده، مشخص گردید که بیشترین غلظت فلزات نیکل، وانادیوم و کادمیوم در بافت کبد ماهی ازون برون و بیشترین غلظت فلز روی در قلب فیل ماهی است ($p < 0/05$). همچنین کمترین غلظت فلزات روی، کادمیوم در عضله ازون برون و کمترین غلظت فلزات نیکل و وانادیوم به ترتیب در قلب ازون برون و قلب فیل ماهی مشاهده گردید ($p < 0/05$). حد مجاز مصرف عضله ازون برون و فیل ماهی برای افراد بزرگسال و کودکان و همچنین دوز مرجع (RfD) فلزات روی، کادمیوم، نیکل و وانادیوم در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱: زیست سنجی فیل ماهی و ازون برون صید شده از حوضه جنوبی دریای خزر

استان	گونه	وزن (کیلوگرم)	طول استاندارد (سانتی متر)
گلستان	فیل ماهی	$86/75 \pm 14/97$	$224 \pm 14/9$
	$n=4$	۷۱ - ۱۰۷	۲۱۰ - ۲۴۵
گیلان	ازون برون	$9/08 \pm 3/02$	134 ± 13
	$n=8$	۵ - ۱۳	۱۲۸ - ۱۴۰

بحث

با توجه به مقایسه میانگین غلظت فلزات روی و کادمیوم در عضله گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه مشخص شد که به رغم آن که این ماهیان خاویاری دارای ارتباط زیادی با بستر دریا هستند و از گروه‌های وسیعی از آبریان (از نرم‌تنان تا لارو سخت پوستان و حتی ماهی) از بستر دریا تغذیه می‌کنند، اما میزان تجمع زیستی فلزات روی و کادمیوم در عضله این دو گونه از مقادیر اعلام شده توسط MAFF که به ترتیب ۰/۲ و ۵۰ میکروگرم بر گرم وزن تر پایین تر می‌باشد (۱۳). همچنین با توجه به مقادیر به دست آمده از تجمع وانادیوم در گونه‌های مورد بررسی در این مطالعه و مقایسه آن با

زیست آمریکا، تعیین شده است (۱۲). یکی از مهم‌ترین روش‌های تعیین حد مجاز مصرف ماهی، روشی است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا EPA ارائه شده است (۱۲). در این روش بر پایه میزان فلزات در بافت‌های خوراکی ماهی و با استفاده از دوز مرجع (RfD) فرمولی ارائه شده که با استفاده از آن می‌توان حد قابل قبول مصرف ماهی و محصولات شیلاتی را بدون عوارض سرطانی زایی ناشی از مصرف فلزات در یک دوره زمانی خاص به دست آورد. این فرمول دارای دو بخش است که بخش نخست آن به شرح ذیل است:

$$CR_{lim} = \frac{RfD \times BW}{C_m} \quad \text{فرمول ۱:}$$

که در آن CR_{lim} = حد مجاز مصرف ماهی (کیلوگرم در روز)؛ RfD = دوز مرجع (میکروگرم بر گرم وزن بدن در روز)؛ BW = وزن بدن مصرف کننده (کیلوگرم) که معمولاً برای بزرگسالان ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود؛ C_m = غلظت ماده شیمیایی در بافت ماهی (میکروگرم بر گرم) می‌باشد. با استفاده از این رابطه، حد مجاز مصرف برحسب کیلوگرم در روز محاسبه می‌شود. جهت محاسبه تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی در هر ماه از فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$CR_{mm} = \frac{CR_{lim} \times T_{ap}}{MS} \quad \text{فرمول ۲:}$$

که در آن CR_{mm} = نرخ مجاز مصرف ماهی (وعده در ماه)؛ CR_{lim} = حد مجاز مصرف ماهی (کیلوگرم در روز)؛ MS = مقدار هر وعده (۰/۲۲۷ کیلوگرم)؛ T_{ap} = متوسط دوره زمانی (۳۰/۴۴ روز در ماه) می‌باشد.

یافته‌ها

نتایج زیست سنجی مربوط به نمونه‌های مورد مطالعه به تفکیک مناطق نمونه‌برداری در جدول شماره ۱ ارائه گردیده است. میانگین، انحراف معیار و محدوده

جدول شماره ۲: غلظت فلزات در بافت های مختلف فیل ماهی و ازون برون صید شده از حوضه جنوبی دریای خزر

گونه	بافت	غلظت روی μg/g وزن خشک	غلظت نیکل μg/g وزن خشک	غلظت وانادیوم μg/g وزن خشک	غلظت کادمیوم μg/g وزن خشک
فیل ماهی n=۴	قلب	۱۸۲/۲۶ ± ۵۱/۸۷	۰/۲۴ ± ۰/۰۴	۰/۱۷ ± ۰/۰۳	۰/۰۲ ± ۰/۰۲
	کبد	۱۰۵/۷۲ - ۲۱۹/۲۲	۰/۱۹ - ۰/۲۸	۰/۱۳ - ۰/۲	۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۴
	عضله	۱۱۴/۸۲ ± ۱۲/۴۲	۲/۶۳ ± ۰/۵۷	۰/۴۳ ± ۰/۰۶	۱/۵۶ ± ۰/۱۳
	محدوده	۱۰۳/۵۶ - ۱۲۸/۶۱	۲/۱ - ۳/۱۴	۰/۳۹ - ۰/۵۱	۱/۴۶ - ۱/۷۴
ازون برون n=۸	قلب	۱۰۰/۸۷ ± ۱۸/۸۱	۰/۰۸ ± ۰/۰۲	۰/۱۸ ± ۰/۰۶	۰/۰۴۶ ± ۰/۰۲
	کبد	۸۲ - ۱۲۹/۷	۰/۱۲ - ۰/۲	۰/۱۳ - ۰/۲۷	۰/۰۲ - ۰/۰۶
	عضله	۱۰۶/۴۲ ± ۲۵/۳۸	۰/۸۹ - ۴/۷۱	۰/۱۹ ± ۰/۰۵	۰/۰۶ ± ۰/۰۴
	محدوده	۷۸/۳۲ - ۱۴۴/۸۱	۰/۱ - ۰/۰۴	۰/۱۲ - ۰/۲۵	۰/۰۱ - ۰/۱
فیل ماهی n=۸	قلب	۱۱/۱۷ - ۲۴/۵۲	۰/۰۶ - ۰/۱۵	۰/۲۱ - ۰/۳	۰/۰۰۴ - ۰/۰۰۹
	کبد	۱۰۶/۴۲ ± ۲۵/۳۸	۲/۷۱ ± ۱/۴۴	۰/۸۷ ± ۰/۲۳	۱/۷۰ ± ۰/۳۲
	عضله	۱۶/۸۲ ± ۴/۹	۰/۸۹ - ۴/۷۱	۰/۵۹ - ۱/۱۵	۱/۴۵ - ۲/۲۱
	محدوده	۱۱/۱۷ - ۲۴/۵۲	۰/۱ ± ۰/۰۴	۰/۲۷ ± ۰/۰۴	۰/۰۰۶ ± ۰/۰۰۲

جدول شماره ۳: تعیین حد مجاز مصرف ماهی (گرم در روز) برای افراد بزرگسال و کودکان با استفاده از میانگین غلظت ها

گونه	نمونه	فلزات	دوز مرجع (μg/g/day)	CR _{lim} برای بزرگسالان (گرم در روز)	CR _{lim} برای کودکان (گرم در روز)
فیل ماهی	عضله	روی	3×10^{-1}	۳۳۷۰۶۹	۱۱۰۴۷۷
		کادمیوم	1×10^{-3}	۷۲۲۰۶۰/۳	۱۴۹۵۶۹/۶
	قلب	نیکل	2×10^{-2}	۴۱۷۱۹۰۴	۸۶۴۱۸۰
		وانادیوم	9×10^{-3}	۱۶۸۹۶۲۱	۳۴۹۹۹۲/۹
ازون برون	عضله	روی	3×10^{-1}	۵۵۹۸۴۸	۱۱۵۹۶۸/۵
		کادمیوم	1×10^{-3}	۴۶۹۳۳۹۲	۹۷۲۲۰۲/۶
	قلب	نیکل	2×10^{-2}	۶۲۵۷۸۵۶	۱۲۹۶۲۷۰
		وانادیوم	9×10^{-3}	۱۰۴۲۹۷۶	۲۱۶۰۴۵

کادمیوم در بافت عضله از ۰/۰۸۸ میلی گرم بر کیلوگرم کمتر باشد، محدودیتی برای مصرف عموم ندارد و ماهیانی با غلظت بالاتر از ۵/۶ میلی گرم بر کیلوگرم را به هیچ وجه نباید مصرف کرد.

نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر بیانگر آن است که میزان غلظت کادمیوم در بافت عضله فیل ماهی (۰/۰۱۳ ± ۰/۰۱) میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر) و در بافت عضله ازون برون (۰/۰۰۲ ± ۰/۰۰۱) میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر) می باشد و مقایسه با جدول شماره ۴ نشان می دهد که محدودیتی از نظر مصرف بافت عضله فیل ماهی و ازون برون برای مردم حاشیه جنوبی دریای خزر وجود ندارد. در این تحقیق، کمترین میزان تجمع زیستی فلزات روی و کادمیوم در ماهی ازون برون در بافت عضله مشاهده شد که با نتایج به دست آمده در تحقیقات Karadede و همکاران (۲۰۰۴) و Jaric و

استاندارد جهانی WHO، (۵/۵ میکروگرم بر گرم وزن تر) غلظت وانادیوم در عضله فیل ماهی و ازون برون در حد خطرناک برای مصارف انسانی نیست اما سازمان بهداشت جهانی تاکنون مقدار جذب قابل تحمل نیکل را مشخص نکرده است (۱۴). از این رو نمی توان در مورد میزان تجمع این فلز قضاوتی را ارائه نمود. مقادیر مشخص شده توسط سازمان های مذکور مقادیری هستند که در حد بالاتر از آنها اثر ناشی از ورود فلزات به بدن انسانها بروز خواهد نمود.

همچنین با استفاده از جدول ارائه شده توسط EPA، می توان تعداد وعده مجاز مصرف ماهی در ماه برای فلز کادمیوم را نیز تعیین نمود (جدول شماره ۴). در این جدول براساس میزان کادمیوم در بافت عضله فیل ماهی و ازون برون، مقدار مجاز مصرف محاسبه شده است. جدول شماره ۴ نشان می دهد که اگر میزان

جدول شماره ۴: محدودیت مصرف ماهیانه عضله فیل ماهی و ازون برون برای جلوگیری از عوارض جانبی کادمیوم

غلظت کادمیوم در بافت (mg/kg wet weight)	تعداد وعده غذایی در ماه
۰-۰/۰۸۸	بدون محدودیت (>۱۶)
۰/۰۸۸-۰/۱۸	۱۶
۰/۱۸-۰/۲۳	۱۲
۰/۲۳-۰/۳۵	۸
۰/۳۵-۰/۷	۴
۰/۷-۰/۹۴	۳
۰/۹۴-۱/۴	۲
۱/۴-۲/۸	۱
۲/۸-۵/۶	۰/۵
> ۵/۶	عدم مصرف (<۰/۵)

همکاران (۲۰۱۱)، مبنی بر حداقل میزان جذب و تجمع فلزات روی و کادمیوم در اندام عضله همخوانی دارد (۱۵،۱۰). همچنین کمترین میزان تجمع زیستی غلظت فلزات نیکل و وانادیوم به ترتیب در قلب ازون برون و قلب فیل ماهی مشاهده شد که با نتایج به دست آمده در تحقیق Jaric و همکاران (۲۰۱۱) همخوانی ندارد (۱۰).

در تحقیق حاضر بیشترین غلظت فلز روی از میان بافت‌های مورد مطالعه ماهی ازون برون در بافت کبد مشاهده گردید که با نتایج تحقیق Jaric و همکاران (۲۰۱۱) که بیشترین میزان تراکم را در روده یافته‌اند مغایرت دارد (۱۰). میزان غلظت فلز روی اندازه‌گیری شده در بافت عضله در این تحقیق از نتایج به دست آمده توسط Pourang و همکاران (۲۰۰۵) و Agusa و همکاران (۲۰۰۴) و Jaric و همکاران (۲۰۱۱) کمتر تعیین گردید (۸-۱۰). همچنین غلظت کادمیوم در بافت عضله ازون برون در این تحقیق از نتایج به دست آمده در تحقیق Agusa و همکاران (۲۰۰۴) بیشتر، در حالی که از نتایج به دست آمده در تحقیق Jaric و همکاران (۲۰۱۱) کمتر تعیین گردید (۱۰،۸). بیشترین غلظت فلز روی از میان بافت‌های مورد مطالعه فیل ماهی در بافت قلب مشاهده گردید که با نتایج به دست آمده در تحقیقات Jaric و همکاران (۲۰۱۱) و Watanabe و همکاران (۲۰۰۲) همخوانی ندارد (۱۶،۱۱). غلظت فلز

روی اندازه‌گیری شده در بافت عضله در این تحقیق از نتایج به دست آمده در تحقیقات Agusa و همکاران (۲۰۰۴)، Pourang و همکاران (۲۰۰۵) و Jaric و همکاران (۲۰۱۱) کمتر تعیین گردید (۸-۱۰). بیشترین غلظت فلز کادمیوم در بافت کبد مشاهده گردید که با نتایج به دست آمده در تحقیقات Jaric و همکاران (۲۰۱۱) و Abtahi و همکاران (۲۰۰۷) همخوانی دارد در حالی که با نتایج به دست آمده در تحقیق Watanabe و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت ندارد (۱۷،۱۶،۱۰). همچنین غلظت کادمیوم در بافت عضله فیل ماهی در این تحقیق از نتایج به دست آمده در تحقیقات Agusa و همکاران (۲۰۰۴) و Pourang و همکاران (۲۰۰۵) بیشتر می‌باشد (۹،۸).

به‌طور کلی می‌توان گفت، تفاوت غلظت در بافت‌های مختلف ماهیان می‌تواند ناشی از متغیر بودن فلزات در زمینه غلبه بر پیوندهای فلزی پروتئین نظیر متالوتیونین‌ها باشد. همچنین تفاوت نیازهای اکولوژیک، فعالیت‌های متابولیک ماهیان و نوسانات در آلودگی آب، غذا و رسوبات می‌تواند از دیگر عوامل مهم دیگر تلقی شوند. معمولاً بافت عضله دارای پایین‌ترین مقادیر فلزات در ماهیان می‌باشد. توانایی موجودات برای جذب، تجمع، برداشت یا سم زدایی فلزات به‌طور اساسی با هم فرق می‌کند. گونه‌هایی که دارای مقادیر مشخصی از متالوتیونین‌ها باشند می‌توانند سمیت این فلزات را از بین ببرند. براساس نتایج به دست آمده یکی از دلایل احتمالی نوسانات تجمع این فلزات در گونه‌های مختلف ماهیان خاویاری را می‌توان به این امر نسبت داد (۱۸). با این حال، اگر مقادیر فلزات زیاد باشد، سمیت آن‌ها افزایش می‌یابد زیرا توانایی متالوتیونین‌ها برای از بین بردن اثر سمی آن‌ها محدود بوده، به‌عنوان بازدارنده‌های آنزیمی عمل می‌کنند. همچنین میزان جذب و تجمع فلزات در ماهی می‌تواند تحت تأثیر شرایط فیزیوشیمیایی آب، غلظت فلزات در آب و رسوب، عادات تغذیه‌ای و عوامل دیگر باشد.

شاه ماهی، ماهی شاد (*Alosa spp.*) تغذیه می کند و دارای دوره بلوغ طولانی (سن بلوغ ماده‌ها معمولاً ۲۰-۱۵ سال) می‌باشد. از طرف دیگر، ازون برون به طور عمده از کرم‌ها و سخت پوستان تغذیه می‌کند و دوره بلوغ کوتاه‌تری (سن بلوغ ماده‌ها ۱۴-۸ سال) نسبت به فیل ماهی دارد (۲۲،۶).

سپاسگزاری

در پایان نگارندگان از همکاری صمیمانه آقایان مهندس ضابطی، حسن یوسفی معصوم آباد، میثم محمد بیگی و سید قاسم هاشمی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند. این تحقیق در آزمایشگاه گروه محیط زیست و با حمایت مالی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس صورت پذیرفته است.

لذا با توجه به گوشتخوار بودن این ماهی احتمال انتقال این فلزات در زنجیره غذایی و از طریق تغذیه نیز وجود دارد (۱۹). سن، طول، وزن، جنسیت، زیستگاه تغذیه‌ای، نیازهای اکولوژیکی، غلظت فلزات در آب و رسوب، مدت زمان ماندگاری ماهی در محیط آبی آلوده، فصل صید و خواص شیمیایی و فیزیکی آب از عوامل مؤثر در تجمع فلزات در اندام‌های مختلف ماهی می‌باشند (۲۱،۲۰). بین تجمع فلزات در بافت‌های مختلف با گونه ماهی نیز رابطه وجود دارد که ممکن است مرتبط با عادات غذایی و ظرفیت تجمع زیستی هر گونه باشد. اگرچه بیشتر گونه‌های ماهیان خاویاری از موجودات بنتوز تغذیه می‌کنند اما ترکیب غذایی میان این گونه‌ها متفاوت می‌باشد. برای مثال، فیل ماهی از ماهیان بتتیک و پلاژتیک از جمله کیلکای معمولی (*Clupeonella spp.*),

References

1. Karpinsky MG. Aspects of the Caspian Sea benthic ecosystem. *Mar Pollut Bull* 1992; 24: 384-389.
2. Dumont HJ. The Caspian Lake: history, biota, structure, and function. *Limnol Oceanogr* 1998; 43(1):44-52.
3. de Mora S, Sheikholeslami MR, Wyse E, Azemard S, Cassi R. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Mar Pollut Bull* 2004; 48(1-2): 61-77.
4. Esmaili-sari A. Pollution, health and environmental standards. Tehran: Trabiati Modarres University; 2002. p. 176-355 (Persian).
5. Moghim M, Kor D, Tavakolieshkalak M, Khoshghalb MB. Stock status of Persian Sturgeon (*Acipenser persicus* Borodin, 1897) along the Iranian coast of the Caspian Sea. *J Appl Ichthyol* 2006; 22: 99-107.
6. Billard R, Lecointre G. Biology and conservation of sturgeon and paddle fish. *Rev Fish Biol Fish* 2000; 10(4): 355-392.
7. Pikitch EK, Doukakis P, Lauck L, Chakrabarty P, Erickson DL. Status, trends and management of sturgeon and paddlefish fisheries. *Fish and Fisheries* 2005; 6: 233-265.
8. Agusa T, Kunito T, Tanabe S, Pourkazemi M, Aubrey DG. Concentrations of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. *Mar Pollut Bull* 2004; 49(9-10): 789-800.
9. Pourang N, Tanabe S, Rezvani S, Dennis JH. Trace elements accumulation in edible tissues of five sturgeon species from the Caspian Sea. *Environ Monit Assess* 2005; 100(1-3): 89-108.
10. Jaric I, Jeftic ZV, Cvijanovic G, Gacic Z, Jovanovic L, Skoric S, et al. Determination of differential heavy metal and trace element accumulation in liver, gills, intestine and

- muscle of sterlet (*Acipenser ruthenus*) from the Danube River in Serbia by ICP-OES. *Microchem J* 2011; 98(1): 77-81.
11. Yap CK, Hisyam MND, Edward FB, Cheng WH, Tan SG. Concentrations of heavy metal in different parts of the gastropod, *Faunus aster* (Linnaeus), collected from intertidal areas of Peninsular Malaysia. *Pertanika J Trop Agric Sci* 2010; 33(1): 45-60.
 12. U.S. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories, volume 2: Risk assessment and fish consumption limites. 3th ed. Washington, D.C: U.S. Environmental Protection Agency. 2000. Available from: <http://www.epa.gov/waterscience/fish/guidance.html>.
 13. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (MAFF). Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1997. Aquatic Environment Monitoring Report No. 52. Center for Environment, Fisheries and Aquaculture Science, Lowestoft, UK. 2000.
 14. Madany IM, Wahab AA, Al-Alawi Z. Trace metals concentration in marine organisms from the coastal areas of Bahrain, Persian Gulf. *Water Air Soil Pollut* 1996; 91(3-4): 233-248.
 15. Karadede H, Oymak SA, Unlu E. Heavy metals in mullet, *Liza abu*, and catfish, *Silurus triostegus*, from the Ataturk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Environ Int* 2004; 30(2): 183-188.
 16. Watanabe I, Kunito T, Tanabe S, Amano M, Koyama Y, Miyazaki N. Accumulation of heavy metals in Caspian seals (*Phoca caspica*). *Arch Environ Contam Toxicol* 2002; 43: 109-120.
 17. Abtahi B, Ghodrati Shojaii M, Esmaili-Sari A, Rahnama M, Sharif Pour I, Bahmni M, et al. Concentration of some heavy metals in tissues of stellate sturgeon (*Acipenser stellatus*) in the South Caspian Sea. *Environ Sci* 2007; 4(3): 77-84.
 18. Viarengo A. Heavy metals in marine invertebrates: Mechanisms of regulation and toxicity at the cellular level. *Rev Aquat Sci* 1989; 1: 295-317.
 19. Roesijadi G. Behaviour of metallothionein-bound metals in a natural population of an estuarine mollusk. *Mar Environ Res* 1994; 38: 147-152.
 20. Al- Yousuf MH, El-Shahawi, Al-Ghais SM. Trace elements in liver, skin and muscle of *Lethrinus lentjan* fish species in relation to body length and sex. *Sci Total Environ* 2000; 256(2-3): 87-94.
 21. Wang W, Batterman S, Chernyak S, Nriagu J. Concentrations and risks of organic and metal contaminants in Eurasian caviar. *Ecotox Environ Safe* 2008; 71(1): 138-148.
 22. Hosseini SV, Behrooz RD, Esmaili-Sari A, Bahramifar N, Hosseini SM, Tahergorabi R, et al. Contamination by organochlorine compounds in the edible tissue of four sturgeon species from the Caspian Sea (Iran). *Chemosphere* 2008; 73(6): 972-979.