



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی غلظت سرب و کادمیوم در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ارزیابی خطر مصرف آن

هادی تحسینی^{۱*}، محسن احمدپور^۲، محمدحسین سینکاریمی^۳

۱- گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- مرکز پژوهشی حوضه اقلیمی خزر، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

۳- گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

اطلاعات مقاله: چکیده

زمینه و هدف: فلزات سنگین به‌عنوان یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌های محیط‌های آبی موجب ایجاد مسمومیت و نگرانی در مصرف ماهی شده‌اند. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت‌های سرب و کادمیوم در اندام‌های کبد و عضله، همچنین ارتباط آن با وزن و طول چنگالی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ارزیابی خطر مصرف غذایی آن انجام شد.

روش بررسی: ۳۰ قطعه قزل‌آلای رنگین‌کمان از یک حوضچه پرورش ماهی، واقع در شهرستان سنندج برداشت شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها به‌روش هم‌اسیدی، غلظت‌های فلزات سرب و کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت کادمیوم در اندام‌های کبد و عضله به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۱۶ $\mu\text{g/g}$ و وزن تر و سرب ۲۶/۳۱ و ۲۳/۶۵ $\mu\text{g/g}$ وزن تر به‌دست آمد. میزان سرب اندازه‌گیری شده از بسیاری از غلظت‌های مجاز بین‌المللی بیشتر بود. ارتباط معنی‌داری بین غلظت کادمیوم و سرب با طول چنگالی و وزن کل در کبد و نیز کادمیوم با طول چنگالی و وزن کل در عضله به‌دست آمد ($p < 0/01$). میزان نسبت خطر هدف و نیز میزان جذب روزانه و هفتگی سرب و کادمیوم پایین‌تر از میزان مجاز بود. حد مجاز مصرف از نظر کادمیوم و سرب برای افراد بالغ به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۰۱ kg/day و برای کودکان ۰/۰۹ و ۰/۰۲ kg/day به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج مطالعه حاضر نشان داد که میزان کادمیوم و سرب در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پایین‌تر از حدی است که با میزان مصرف کنونی، خطرات بهداشتی را در بلندمدت متوجه مصرف‌کنندگان آن کند.

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۲/۰۳
تاریخ ویرایش: ۹۷/۰۴/۲۷
تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۰۱
تاریخ انتشار: ۹۷/۰۶/۲۶

واژگان کلیدی: ماهی، کادمیوم، سرب، ارزیابی خطر

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

haditahsini@yahoo.com

مقدمه

ماهی بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد و یک منبع غنی از پروتئین، چربی، امگا ۳، اسیدها، ویتامین، سلنیوم و کلسیم است (۱). یکی از ماهی‌هایی که به‌طور گسترده در سطح ایران و جهان به مصرف می‌رسد، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) است. قزل‌آلای رنگین‌کمان یک ماهی سردآبی است که به‌دلیل قابلیت انطباق با شرایط مختلف در بسیاری از نقاط دنیا پرورش می‌یابد. این ماهی به‌دلیل کیفیت بالای گوشت آن، سهولت در تکثیر و پرورش به‌عنوان یک منبع مهم در تامین پروتئین از آب‌های شیرین، مورد توجه آبی‌پروران قرار گرفته است (۲). به‌طوری‌که در ایران حدود ۳۶/۵ درصد آبیان پرورشی تولیدی و عرضه شده را ماهی قزل‌آلا تشکیل می‌دهد (۳).

در حال حاضر، آلودگی محیط‌های آبی به‌وسیله فلزات سنگین خطر مصرف آبیان پرورشی را افزایش داده است. فلزات سنگین به‌دلیل خاصیت انباشتگی و پایداری زیستی، یکی از گروه‌های اصلی آلودگی آب‌ها محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که محیط‌های آبی در معرض غلظت‌های مختلف فلزات سنگین ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و استخراج معادن قرار دارند (۴). در میان فلزات سرب و کادمیوم به‌عنوان دو فلز سنگین، اختلالاتی در بدن انسان ایجاد می‌کنند که می‌توان به اختلالات عصبی، انواع سرطان‌ها، اختلال در تعادل هورمون‌ها، اختلالات تنفسی، قلبی و عروقی، آسیب به کبد، اختلال در عملکرد آنزیم‌ها، ناباروری، کم‌خونی و پوکی استخوان اشاره کرد (۵، ۶).

یکی از منابع اصلی قرار گرفتن انسان در معرض فلزات سنگین، رژیم غذایی روزانه است و ماهی نیز بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد. این فلزات از طریق تغذیه ماهیان آلوده وارد بدن انسان می‌شوند. نگرانی حاصل از این مورد، این است که مصرف ماهی آلوده ممکن است به اثرات سوء بهداشتی در انسان منجر شود. حتی فلزات انباشته شده در اندام‌های ماهی ممکن است خطرهای بهداشتی بیشتری نسبت به فواید ماهی برای سلامتی انسان به‌ویژه برای جمعیت‌های با میزان سرانه بالای مصرف ماهی داشته باشد (۷).

ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان مهمترین گونه سرد آبی پرورشی

در ایران است که بالاترین میزان پرورش ماهی سالانه در کشور را دارد. از این‌رو، ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین در این گونه‌ی ماهی برای تنظیم استانداردها و ایجاد مبنای علمی درک خطرها در برابر فواید مصرف ماهی بسیار مهم است (۸). روش‌های فراوانی برای ارزیابی خطر بالقوه سلامتی انسان در اثر قرارگیری در معرض مواد شیمیایی ارائه شده است. روش‌های کنونی، از ارزیابی ریسک غیرسرطانی که نسبت بین خطر دوز برآورد شده از یک آلاینده و دوز مرجع (دوزی که برای مصرف کننده خطر قابل ملاحظه‌ای در طول عمر ندارد) استفاده کرده‌اند (۹). بنابراین با توجه به موارد بیان شده، هدف از این مطالعه، تعیین تجمع کادمیوم و سرب در عضله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌منظور مطالعه ارزیابی خطر مصرف این گونه ماهی در مجتمع پرورش ماهی روستای نله در استان کردستان است تا از این رهگذر اطلاعات لازم برای مدیریتی آگاهانه در راستای کنترل این آلاینده‌ها اعمال و سطح ملاحظات بهداشتی مربوط به آنها تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

- منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه شامل حوضچه پرورش ماهی در روستای نله در $35^{\circ} 22' 32''$ عرض شرقی و $47^{\circ} 1' 59''$ طول شرقی و شمالی در شهرستان سنندج قرار دارد. حوضچه نله از رودخانه یا سد قشلاق سنندج تامین می‌گردد.

- نمونه‌برداری و آنالیزهای شیمیایی:

روش نمونه‌برداری به‌صورت نمونه‌گیری در دسترس بود. تعداد ۳۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان از شش حوضچه (از هر حوضچه ۵ قطعه ماهی به صورت تصادفی برداشت شد) در مزرعه پرورش ماهی روستای نله شهرستان سنندج برداشت شد (۱۰). کلیه حوضچه‌ها دارای شرایط یکسانی از لحاظ منشا ورود آب، خروجی، نوع تغذیه و سن ماهی بودند. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا با آب دیونیزه شستشو و سپس طول چنگالی و وزن ماهی‌ها به ترتیب به‌وسیله تخته بیومتری با دقت ۱ و ترازوی دیجیتال با دقت ۱ g اندازه‌گیری شدند. مقدار ۲ و ۱/۵g به ترتیب از بافت‌های عضله دمی، کبد و نمونه‌های ماهی جمع‌آوری شده، جدا و در آون با دمای $150^{\circ}C$ به‌مدت ۱ h

گرفته شد (۱۷، ۱۸). مدل بکار رفته برای تخمین THQ به شرح زیر است (۱۵).

$$THQ = (EF \times ED \times MS \times C_m) / (R_f D_o \times BW \times AT) \times 10^{-3} \quad (1)$$

طبق معادله ۱: THQ نسبت خطر هدف، EF بسامد در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز در سال)، ED میزان در معرض قرارگیری (۷۰ سال)، MS نرخ خوردن غذا (گرم در روز)، C_m میزان فلز در ماده غذایی مورد مطالعه (میلی گرم بر کیلوگرم)، $R_f D_o$ دوز مرجع از راه دهان (به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴ mg/kg/day برای کادمیوم و سرب) (۱۴)، BW میانگین وزن افراد بالغ (۷۰ kg) (۱۶، ۱۷)، AT زمان در معرض قرارگیری (۳۶۵ روز در سال × تعداد سال‌های در معرض قرارگیری (۷۰ سال)) است.

- تخمین جذب روزانه (EDI) و هفتگی (EWI) فلزات توسط افراد مصرف کننده:

با استفاده از معادلات ۲ و ۳ میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات کادمیوم و سرب در اثر مصرف ماهی قزل آلاي رنگین کمان توسط افراد مصرف کننده به دست آمد. سرانه مصرف ماهی در ایران ۲۱/۹۱ g/day در نظر گرفته شد (۱۸).

$$EDI = C \times MS_D / BW \quad (2)$$

$$EWI = C \times MS_W / BW \quad (3)$$

در این معادلات، EDI میزان جذب روزانه فلزات توسط بدن، EWI میزان جذب هفتگی فلزات توسط بدن، C غلظت به دست آمده فلزات سرب و کادمیوم در ماهی، MS_D میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در روز، MS_W میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در هفته و BW وزن بدن افراد مصرف کننده (۷۰ kg) برای افراد بزرگسال است (۱۷، ۱۸).

- تعیین حد مجاز مصرف ماهی قزل آلاي رنگین کمان: حد مجاز مصرف ماهی قزل آلاي رنگین کمان بر حسب گرم در روز براساس روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست

۲۴ خشک گردید. سپس نمونه‌ها به دسیکاتور منتقل شدند و پس از رسیدن به وزن ثابت با استفاده از هاون چینی به خوبی ساییده و پودر شدند. سپس نمونه‌های کاملاً پودر شده با افزودن ۵ mL اسید نیتریک غلیظ (HNO_3) در دمای $140^\circ C$ در حمام اولتراسونیک حرارت داده شدند تا محلولی کاملاً شفاف به دست آید (۱۱). محلول‌های به دست آمده با استفاده از کاغذ صافی واتمن $42 \mu m$ صاف و به بالن مدرج منتقل و به حجم ۵۰ mL رسانده شدند. اندازه‌گیری غلظت فلزات سرب و کادمیوم با استفاده از دستگاه جذب اتمی به روش کوره گرافیتی انجام شد. بدین منظور محلول‌های استاندارد برای فلزات سرب و کادمیوم، از استاندارد مادر با غلظت ۱۰۰۰ ppm با سه تکرار تهیه شدند. میزان بازیابی بین ۹۶ الی ۱۰۳ درصد به دست آمد. حد تشخیص دستگاه برای فلزات سرب و کادمیوم به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۴ $\mu g/g$ وزن تر به دست آمد. کلیه آزمایشات روی گونه‌ی مورد مطالعه، از جمله چگونگی نمونه‌برداری و برداشت بافت، براساس راهنمای اخلاقی آزمایشگاه گروه زیست‌شناسی سلولی و مولکولی دانشگاه مازندران انجام شد.

- تجزیه و تحلیل آماری:

تجزیه و تحلیل آماری داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ۲۰ انجام پذیرفت. در ابتدا تبعیت داده‌ها نسبت به توزیع نرمال توسط آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov test) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه داده‌ها نرمال بودند، به منظور مقایسه غلظت فلزات در اندام‌های کبد و عضله از تی تست (T-test) استفاده گردید (۱۲). جهت تعیین همبستگی غلظت فلزات سنگین در هر اندام با طول چنگالی و وزن کل از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد (۱۳).

- برآورد نسبت خطر هدف (Target Hazard Quotients (THQ)):

برای محاسبه THQ از روش پیشنهادی آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا استفاده شد (۱۴). برای این منظور مواردی که در ادامه آورده شده است به عنوان پیش فرض در نظر گرفته شد: میزان سرب وارد شده برابر با میزان جذب شده آن در بدن است (۱۵)؛ پخت و پز اثری روی آلاینده‌ها ندارد (۱۶)؛ متوسط عمر ایرانیان ۷۲ سال و متوسط وزن افراد بالغ ۷۰ kg در نظر

آمریکا و مطابق معادله ۴ تعیین شد (۹).

(۱۲/۵ g) (۳) و T تعداد روزهای هر ماه (۳۰/۴۴ روز در ماه) است (۱۹).

$$CR_{lim} = R_f D_o \times BW / C_m \quad (4)$$

یافته‌ها

غلظت و الگوی تجمع فلزات در اندام‌های کبد و عضله به ترتیب ۰/۶۲ و ۲۶/۳۱ $\mu\text{g/g}$ و وزن تر برای کادمیوم و به ترتیب ۲۳/۶۵ و ۰/۱۶ $\mu\text{g/g}$ وزن تر برای سرب بود (جدول ۱). نتایج حاصل از تی تست نشان داد اختلاف معنی‌داری بین غلظت فلزات کادمیوم و سرب در بافت‌های کبد و عضله وجود دارد ($p < 0.05$).

نتایج آزمون همبستگی غلظت سرب و کادمیوم در هر اندام با طول چنگالی و وزن کل نشان داد، بین طول چنگالی و غلظت کادمیوم، در کبد و عضله؛ و همچنین بین غلظت سرب در کبد با طول چنگالی ارتباط معنی‌داری وجود داشت ($p < 0.01$). اما بین غلظت سرب در عضله با طول چنگالی و وزن کل، هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). تخمین THQ برای فلز سرب و کادمیوم و نیز شاخص نسبت

در این معادله: CR_{lim} حد مجاز مصرف ماهی (g/day)؛ $R_f D_o$ دوز مرجع ($\mu\text{g/g}$ وزن بدن در روز)؛ BW وزن بدن افراد مصرف کننده (۷۰ kg برای افراد بزرگسال و ۱۴ kg برای کودکان؛ (۱۶، ۱۷)) و C_m میزان فلزات کادمیوم و سرب در بافت ماهی ($\mu\text{g/g}$) است. به منظور محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در ماه از معادله ۵ استفاده شد.

$$CR_{mm} = CR_{lim} \times T / MS \quad (5)$$

در این معادله: CR_{mm} حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی‌های مورد مطالعه (وعده در ماه)؛ CR_{lim} حد مجاز مصرف ماهی‌های مورد مطالعه (g/day)؛ MS میزان مصرف ماهی در هر وعده

جدول ۱- غلظت فلزات سرب و کادمیوم در اندام‌های عضله و کبد ماهی قزل‌آلای رنگین کمان ($\mu\text{g/g}$ وزن تر)

فلز	پارامتر	بافت	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
کادمیوم		کبد	۱/۲۶	۰/۴۰	۰/۶۲ ^a	۰/۲۰
		عضله	۰/۸۹	۰/۱۲	۰/۱۶ ^b	۰/۲۱
سرب		کبد	۵۶/۲۳	۱۲/۳۶	۲۶/۳۱ ^a	۱۱/۵۶
		عضله	۴۵/۹۶	۱۲/۳۶	۲۳/۶۵ ^b	۱۰/۱۲

حروف انگلیسی متفاوت در ستون مربوط به هر فلز تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج آزمون همبستگی پیرسون بین غلظت‌های سرب و کادمیوم در کبد و عضله با طول چنگالی (cm) و وزن کل (g)

فلز	اندام	طول چنگالی		وزن کل
		r	p	
کادمیوم	کبد	۰/۴۸۵*	۰/۰۰۷	.
	عضله	۰/۵۰۶*	۰/۰۰۴	
سرب	کبد	۰/۵۷۵*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
	عضله	۰/۰۶۳	۰/۷۴۱	۰/۲۷۲

* همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

جهانی و سازمان خواروبار جهانی (JECFA) و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، مقایسه شد (جدول ۵).

بحث

با افزایش تقاضای مصرف ماهی‌های پرورشی، بررسی سلامت آنها اهمیت زیادی دارد. بدین منظور، بررسی تجمع فلزات سرب و کادمیوم در دو اندام کبد و عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد. مشاهدات نشان داد که تجمع فلزات کادمیوم و سرب در اندام کبد بیش از عضله بود. اگرچه الگوی تجمع فلزات در بافت‌های مختلف همیشه از یک الگوی منظم پیروی نمی‌کند، اما می‌توان انتظار داشت بافت‌هایی با فعالیت متابولیکی بیشتر مانند کبد، تجمع بیشتری از آلاینده‌ها را به دلیل نقش آنها در سم‌زدایی بدن و وجود پروتئین‌های متالوتئینین داشته باشند

خطر کل فلزات (TTHQ) کمتر از یک به‌دست آمد (جدول ۳). محاسبات مربوط به میزان جذب روزانه و هفتگی برای یک انسان بالغ ۷۰ kg به‌منظور ارزیابی پتانسیل ریسک مصرف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در جدول ۴ نشان داده شد. نتایج محاسبات تعیین حد مجاز مصرف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با توجه به غلظت فلزات سرب و کادمیوم برای افراد بالغ با وزن ۷۰ kg به‌ترتیب ۰/۰۱ و ۰/۴۴ kg/day و برای کودکان با وزن ۱۴/۵ kg به‌ترتیب ۰/۰۰۲ و ۰/۰۹ kg/day به‌دست آمد (جدول ۴). همچنین نتایج تعیین تعداد وعده‌های مجاز مصرف برای افراد بالغ با وزن ۷۰ kg به‌ترتیب ۱/۵۹ و ۰/۵۹ وعده در ماه و برای کودکان با وزن ۱۴/۵ kg به‌ترتیب ۰/۳۳ و ۱۲/۱۵ وعده در ماه به‌دست آمد (جدول ۵). این میزان با میزان‌های استاندارد توصیه شده توسط کمیته مشترک سازمان بهداشت

جدول ۳- تخمین THQ برای فلز سرب در اثر مصرف ماهی

فلز	سرب	کادمیوم	TTHQ
پارامتر	THQ		
	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۲۱

جدول ۴- تخمین جذب روزانه و هفتگی فلزات در اثر مصرف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان توسط افراد مصرف‌کننده

پارامتر	EWI ^e	EDI ^d	PTDI ^c	PTWI ^b	PTWI ^a
فلز					
سرب	۵۱/۸۲	۷/۴	۲۵۰	۱۷۵۰	۲۵
کادمیوم	۰/۳۵	۰/۰۵	۷۰	۴۹۰	۷

^a میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی (PTWI) بر حسب μg در هفته به ازای هر kg از وزن بدن (۲۰)؛

^b PTWI میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی بر حسب μg در هفته برای افراد بالغ با وزن متوسط ۷۰ kg؛

^c میزان جذب مجاز قابل تحمل روزانه موقت (PTDI)، بر حسب kg/day برای افراد بالغ با وزن متوسط ۷۰ kg؛

^d تخمین جذب روزانه بر حسب $\mu\text{g/day}$ برای افراد بالغ با وزن متوسط ۷۰ kg؛

^e تخمین جذب هفتگی بر حسب $\mu\text{g/day}$ برای افراد بالغ با وزن متوسط ۷۰ kg.

جدول ۵- میزان‌های حد مجاز مصرف ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان برای گروه‌های بزرگسال و کودکان مصرف‌کننده

فلز	حد مجاز مصرف		CR _{lim} (kg/day)		وعده در ماه
	سرب	کادمیوم	کودکان	بزرگسالان	CR _{mm}
سرب	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۱/۵۹	۰/۳۳
کادمیوم	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۰۹	۰/۵۹	۱۲/۱۵

رفرنس (R_fD_o) قرار گرفته‌اند و میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات کمتر از میزانی خواهد بود که برای سلامتی آنها اثرات مضر را در طول عمر داشته باشد (۲۹).

مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری شده سرب و کادمیوم در اندام عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان با استانداردهای حد مجاز بین‌المللی نشان داد، غلظت سرب بیش از استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، سازمان خواروبار جهانی، وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان و آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده بود (جدول ۶). بالاتر بودن میزان سرب از استانداردهای ذکر شده می‌تواند به‌عنوان یک هشدار در نظر گرفته شود. دلیل آن می‌تواند کیفیت آب رودخانه‌هایی که حوضچه‌های پرورش ماهی از آن تغذیه می‌شوند، و همچنین افزودنی‌های حوضچه‌ها باشد.

فلزات سرب و کادمیوم از مسیره‌های مختلفی مانند آب، غذا و حتی تنفس می‌توانند وارد بدن انسان شوند. فلزات سنگین تمایل زیادی به تجمع در اندام‌های مختلف موجودات دریایی مانند ماهی‌ها دارند و می‌توانند وارد بدن مصرف‌کنندگان آنها شوند و مشکلات بهداشتی را برای آنها ایجاد کنند (۲۹). میزان جذب روزانه و هفتگی فلزات سرب و کادمیوم در اثر مصرف ماهی در مطالعه حاضر پایین‌تر از میزان اجازه داده شده توسط متخصصان افزودنی‌های مواد غذایی کمیته مشترک سازمان بهداشت جهانی و سازمان خواروبار جهانی (JECFA) بوده است (جدول ۳). همچنین میزان جذب روزانه کادمیوم پایین‌تر

(۱۸، ۲۱، ۲۲). Harkabusova و همکاران (۲۰۰۹) (۱۲)، Fallah و همکاران (۲۰۱۱) (۲۳)، Svobodova و همکاران (۲۰۰۲) (۲۴) که مطالعات آنها روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان انجام شد، نتایج مشابهی را به‌دنبال داشت، به‌طوری که غلظت فلزات سرب و کادمیوم در اندام کبد بیش از عضله بود.

نتایج آزمون همبستگی میان غلظت سرب و کادمیوم با طول چنگالی و وزن بدن نشان داد که میزان کادمیوم در هر دو اندام کبد و عضله و غلظت سرب در کبد با طول چنگالی همبستگی معنی‌داری داشت. ارتباط معنی‌داری بین غلظت سرب در کبد با وزن کل مشاهده نشد. محققین مختلف بیان کردند که میزان تجمع فلزات معمولاً با افزایش وزن و طول بدن افزایش می‌یابد (۲۵). که می‌تواند با دلایلی از جمله سرعت متابولیسم و سرعت رشد اندام‌ها و همچنین عادات تغذیه‌ای در طول دوره رشد ارتباط داشته باشد (۲۶). Chakeri و همکاران (۲۰۱۵) (۲۷) ارتباط معنی‌داری بین وزن بدن و طول کل با میزان سرب مشاهده کردند، در صورتی که این ارتباط برای کادمیوم معنی‌دار نبود.

ارزیابی خطرات فلزات سنگین از طریق مصرف محصولات دریایی اغلب با استفاده از THQ محاسبه می‌شود (۲۸). در این پژوهش شاخص TTHQ در نمونه‌های عضله ماهی از طریق جمع THQ دو فلز به‌دست آمد، که کمتر از یک بود. میزان THQ کمتر از یک حاکی از آن است که افراد مصرف‌کننده در اثر مصرف ماهی در معرض میزان کمتری از دز

جدول ۶- مقایسه غلظت کادمیوم و سرب در عضله ماهی تحقیق حاضر با حد مجاز استانداردهای بین‌المللی ($\mu\text{g/g}$ وزن تر)

منابع	سرب	کادمیوم	استانداردها
(۳۰)	۰/۵	۰/۲	سازمان بهداشت جهانی (WHO)
(۳۱)	۰/۳	۰/۳	سازمان خوار و بار جهانی (FAO)
(۳۲)	۲	۰/۲	وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (MAFF)
(۳۳)	۰/۵	۴	آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA)
-	۲۳/۶۵	۰/۱۶	تحقیق حاضر

کمیته مشترک سازمان بهداشت جهانی و سازمان خواروبار جهانی بود. این موضوع نشان می‌دهد که افراد مصرف کننده این ماهی‌ها در معرض خطرات بهداشتی قابل توجهی از طرف سرب و کادمیوم نیستند. همچنین میزان THQ پایین‌تر از یک بود که نشان می‌دهد بروز عوارض سوء بهداشتی ناشی از مصرف این ماهی، برای مصرف‌کنندگان آن غیرمحتمل است. سهم سرب در THQ ۶۷ درصد بود که نشان می‌دهد خطرات غیرسرطان‌زا بیشتر متوجه سرب است و باید توجه بیشتری به آن صورت گیرد. با توجه به این که یکی از منابع اصلی ورود این فلز به محیط‌های آبی پساب‌های کشاورزی حاوی کودها و سموم کشاورزی هستند، بنابراین مدیریت مصرف آنها می‌تواند نقش عمده‌ای در کنترل بار آلودگی وارد شده به رودخانه‌های تامین کننده آب این حوضچه‌ها داشته باشد.

ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل حسن رفتار، عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از زحمات بی‌شائبه جناب آقای دکتر محمدحسین گرجیان از مرکز پژوهشی حوضه اقلیمی خزر، دانشگاه مازندران که نهایت همکاری را در انجام این تحقیق داشته‌اند تقدیر و تشکر به عمل آورند.

References

1. Bosch AC, O'Neill B, Sigge GO, Kerwath SE, Hoffman LC. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2016;96(1):32-48.
2. Hajeb P, Jinap S, Ismail A, Fatimah A, Jamilah B, Rahim MA. Assessment of mercury level in commonly consumed marine fishes in Malaysia. *Food Control*. 2009;20(1):79-84.
3. Management and Planning Organization of Iran. *Yearbook of Statistics in 2014*. Tehran: Department

of Planning and Development Management, Organization of Management and Budget; 2014 (in Persian).

از میزان جذب اجازه داده شده ($1 \mu\text{g}/\text{kg BW}$ در روز) توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا بود (۳۴). آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا تاکنون هیچ‌گونه میزان مجازی را برای جذب فلز سرب از طریق غذا تعیین نکرده است (۳۵).

Cr_{lim} (میزان نرخ مجاز مصرف روزانه) حداکثر میزانی است که یک فرد می‌تواند در طول عمر خود ماهی مصرف کند، بدون آنکه برای سلامتی آن فرد خطرات غیر سرطان‌زایی را در پی داشته باشد (۳۲). بنابراین مطابق محاسبات صورت گرفته (جدول ۵) افراد بالغ مصرف کننده با وزن 70 kg از نظر فلزات سرب و کادمیوم به ترتیب 0.1 و 0.44 kg/day و کودکان با وزن 14.5 kg به ترتیب 0.02 و 0.09 kg/day می‌توانند، بدون آنکه برای سلامتی آنها عوارض غیر سرطان‌زایی داشته باشد ماهی قزل‌آلا مصرف کنند. با توجه به اینکه افراد در طول روز از مواد غذایی و راه‌های دیگری نیز در معرض فلزات سرب و کادمیوم قرار می‌گیرند، باید مراعات بیشتری را در رابطه با مصرف ماهی قزل‌آلا داشته باشند.

نتیجه گیری

غلظت سرب در بافت عضله ماهی قزل‌آلای مورد مطالعه از میزان مجاز ارائه شده توسط بسیاری از سازمان‌های بین‌المللی بیشتر بود که می‌تواند هشدار برای مصرف زیاد آن باشد. البته لازم به ذکر است که برآورد مصرف روزانه و هفتگی سرب و کادمیوم در نمونه‌های ماهی پژوهش حاضر، پایین‌تر از میزان توصیه شده توسط متخصصان افزودنی‌های مواد غذایی

4. Al Bakheet SA, Attafi IM, Maayah ZH, Abd-Allah AR, Asiri YA, Korashy HM. Effect of long-term human exposure to environmental heavy metals on the expression of detoxification and DNA repair genes. *Environmental Pollution*. 2013;181:226-32.
5. De Voogt P, Van Hattum B, Feenstra J, Peereboom JC. Exposure and health effects of cadmium. *Toxico-*

- logical & Environmental Chemistry. 1980;3(2):89-109.
6. Young G, Blevins R. Heavy metal concentrations in the Holston river basin (Tennessee). Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 1981;10(5):541-60.
 7. Mansouri N, Khorasani N, Monavari SM, Karbasi A, Panahandeh M. Non-carcinogenic risk estimation of Cr, Cd, Pb in human to fish consumption from Anzali wetland. World Journal of Fish and Marine Sciences. 2013;5(6):603-10.
 8. Solgi E. Risk assessment of non-carcinogenic effects of lead, cadmium, and zinc in *Cyprinus carpio* from Zarivar wetland. Journal of Health in the Field. 2015;2(4):18-25.
 9. USEPA. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in Fish Advisories: Fish Sampling and Analysis. Washington DC: Office of Science and Technology; 2000.
 10. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
 11. Voegborlo R, Akagi H. Determination of mercury in fish by cold vapour atomic absorption spectrometry using an automatic mercury analyzer. Food Chemistry. 2007;100(2):853-58.
 12. Harkabusová V, Macharáčková B, Čelechovská O, Vitoulová E, Lavičková A. Determination of arsenic in the rainbow trout muscle and rice samples. Czech Journal of Food Sciences. 2009;27:404-406.
 13. Pourang N, Nikouyan A, Dennis J. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment. 2005;109(1-3):293-316.
 14. USEPA. Risk-based concentration table. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2000.
 15. USEPA. Guidance manual for assessing human health risks from chemically contaminated, fish and shellfish. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1989.
 16. Cooper CB, Doyle ME, Kipp K. Risks of consumption of contaminated seafood: the Quincy Bay case study. Environmental Health Perspectives. 1991;90:133-40.
 17. Ministry of Health and Medical Education. Average lifetime of Iranian. Tehran: Ministry of Health and Medical Education of Iran; 2012 (in Persian).
 18. Hassanpour M, Rajaei G, SinkaKarimi M, Ferdosian F, Maghsoudloorad R. Determination of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Cu) in Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) from Miankaleh international wetland and human health risk. Journal of Mazandaran University of Medical Sciences. 2014;24(113):163-70 (in Persian).
 19. USEPA. Guidance for assessing chemical contaminant data for use advisories v. risk assessment and fish consumption limites. 3th ed. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2000.
 20. FAO, WHO. Comments submitted on draft maximum levels for lead and cadmium. Rome: Food and Agriculture Organization; 2001.
 21. Uysal K, Emre Y, Köse E. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey). Microchemical Journal. 2008;90(1):67-70.
 22. Visnjic-Jeftic Z, Jaric I, Jovanovic L, Skoric S, Smederevac-Lalic M, Nikcevic M, et al. Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontic shad (*Alosa immaculata* Bennett 1835) from the Danube River (Serbia). Microchemical Journal. 2010;95(2):341-44.
 23. Fallah AA, Saei-Dehkordi SS, Nematollahi A, Jafari T. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. Microchemical Journal. 2011;98(2):275-79.
 24. Svobodova Z, Čelechovská O, Machova J, Randak T. Content of arsenic in market-ready rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Acta Veterinaria Brno. 2002;71(3):361-67.
 25. Leung PT, Ip JC, Mak SS, Qiu JW, Lam PK, Wong CK, et al. De novo transcriptome analysis of *Perna viridis* highlights tissue-specific patterns for environ-

- mental studies. BMC genomics. 2014;15(1):804.
26. Pourang N, Nikouyan A, Dennis J. Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment. 2005;109(1-3):293-316.
27. Chakeri R, Sajadi M, Kamrani E, Aghajari N. Determination of heavy metal (lead and cadmium) concentrations in liver and muscle tissue of Indian mackerel (*Rastrelliiger Kanagurta*) in Persian Gulf. Iranian Scientific Fisheries Journal. 2015;24(2):115-24 (in Persian).
28. Sinkakarimi MH, Pourkhabbaz A, Hassanpour M, Ghasempouri SM. Determination of metals in tissues of mallard (*Anas platyrhynchos*) and risk assessment of food consumption in the southeastern Caspian Sea. Journal of Wetland Ecobiology. 2013;5(4):79-90 (in Persian).
29. Sinkakarimi MH, Donyavi R, Sadeghi-Bajgiran S. Consumption limit for Caspian white fish (*Rutilus frisii kutum*) in stand of cadmium and lead from southeastern coast of Caspian Sea. Zanko Journal of Medical Sciences. 2015;16(49):32-43 (in Persian).
30. World Health Organization. Indicators for Assessing Vitamin A Deficiency and their Application in Monitoring and Evaluating Intervention Programs. Geneva: World Health Organization; 1996.
31. FAO. Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. Rome: Food and Agriculture Organization; 1983.
32. Ministry of Agriculture. Monitoring and surveillance of nonradioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea. USA: Aquatic Environment Monitoring of Fisheries; 1998.
33. USEPA. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories, Volume 2: Risk assessment and fish consumption limits. 3rd ed. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 2000 [cited 2017 Aug 13]. Available from: http://water.epa.gov/scitech/swguidance/fishshellfish/techguidance/risk/upload/2009_0423_fish_advice_volume2_v2cover.pdf
34. USEPA. Integrated risk information system online database. Washington DC: United States Environ-
- mental Protection Agency; 2016 [cited 2017 Jul 9]. Available from: <https://www.epa.gov/iris>.
35. Alipour H, Pourkhabbaz A, Hassanpour M. Estimation of potential health risks for some metallic elements by consumption of fish. Water Quality, Exposure and Health. 2015;7(2):179-85.



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Assessment of cadmium and lead concentration in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and calculation the food consumption risk

H Tahsini^{1,*}, M Ahmadpour², MH Sinkakarimi³

1- Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Environment, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

2- Research Center for the Caspian Region, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

3- Department of Molecular and Cell Biology, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 23 April 2018

Revised: 18 July 2018

Accepted: 23 July 2018

Published: 17 September 2018

ABSTRACT

Background and Objective: Heavy metals as a main group of aquatic pollutants cause poisoning and concern in fish consumption. The aim of the present study was to assess cadmium (Cd) and lead (Pb) concentration in liver and muscle of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). Additionally, the relationship between the heavy metals concentration with weight and length and the consumption risk of the species were assessed.

Materials and Methods: Thirty specimens of rainbow trout were obtained from a fish farming ponds that is located in Sanandaj City. After acidic digestion of the specimens, concentration of Cd and Pb were determined by using atomic adsorption spectrophotometer.

Results: The average concentration of Cd and Pb were 0.62 and 26.31 $\mu\text{g/g}$ wet weight (ww) in liver and 0.16 and 23.65 $\mu\text{g/g}$ ww in muscle, respectively. The amount of Pb was higher than the maximum acceptable level that is permitted by most international organizations. There was a significant correlation between Cd and Pb with length and total weight of liver. Also, a significant relationship was found between Cd and length and total weight of muscle ($p < 0.01$). The amount of THQ, Daily and weekly intake of Cd and Pb were lower than the allowable proposed dose. The maximum allowable consumption rate of Cd and Pb were 0.16 and 0.09 kg/day for adults and 0.01 and 0.002 kg/day for children, respectively.

Conclusion: The results of the present study showed that the amount of Cd and Pb in the rainbow trout is safe to consume and does not threaten the health of consumer with current consumption rate.

Keywords: Fish, Cadmium, Lead, Risk assessment

***Corresponding Author:**

haditahsini@yahoo.com

Please cite this article as: Tahsini H, Ahmadpour M, Sinkakarimi MH. Assessment of cadmium and lead concentration in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and calculation the food consumption risk. Iranian Journal of Health and Environment. 2018;11(2):215-24.