ارزیابی خطر فلزات کادمیوم و سرب بر سلامتی انسان در عضله کفال طلایی (*Liza auratus*) و کفال پوزه باریک (*Liza Saliens*) در خلیج گرگان

غلامرضا بناگر[1*]
حسین علی پور[2]
مهدی حسن پور[3]
سمانه گل محمدی[4]

۱، ۴. گروه محیط زیست، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران
۲. باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران
۳. کارشناس ارشد محیط زیست، اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان، گلستان، ایران

***نویسنده مسئول مکاتبات**
gholam_banagar@yahoo.com

کد مقاله: ۱۳۹٤۰۲۰۰٤۰
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۹/۰۳
این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی است.

چکیده

برای اغلب افراد، رژیم غذایی مسیر اصلی قرار گرفتن در معرض فلزات است، به‌طوری که خطر ارزیابی این عناصر برای انسان از طریق مصرف رژیم غذایی مهم است. برای این منظور، در سال ۱۳۹۱ غلظت فلزات سرب و کادمیوم در عضله دو گونه ماهی کفال طلایی (*Liza auratus*) و کفال پوزه باریک (*Liza Saliens*) جمع‌آوری شده از خلیج گرگان اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان فلزات سرب و کادمیوم در تمامی نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی مدل (Thermo model 97 GFS) به روش کوره گرافیتی استفاده شد. خطرات سلامتی انسان بوسیله مصرف رژیم غذایی ماهی بوسیله برآورد سیبل خطر (THQ)، جذب موقت هفتگی قابل قبول (PTWI) و جذب موقت روزانه قابل قبول (PTDI) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین غلظت فلز کادمیوم در بافت عضله کفال طلایی و کفال پوزه باریک ۲۵۲/۰۵ و ۹۶/۷ میکروگرم بر کیلوگرم وزن تَر و همچنین میانگین غلطت سرب در عضله کفال طلایی و کفال پوزه باریک ۸۶۳۲ و ۱۷۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم وزن تَر بود. مقادیر THQ فلز سرب و کادمیوم در هر دو گونه کمتر از ۱ بود. همچنین برآورد مقادیر سرب و کادمیوم در عضله هر دو گونه در این مطالعه کمتر از مقادیر تعیین شده بوسیله JECFA بود.

واژگان کلیدی: خطر سلامتی، کادمیوم، سرب، ماهی، THQ، PTWI.

مقدمه

آلاینده‌های فلزی در اکوسیستم‌های آبی به دلیل پایداری و سمیت به‌عنوان یک خطر جدی برای محیط‌زیست مطرح هستند (Pazhanisamy *et al*., 2007). به‌طورکلی، مطالعات بر روی فلزات سنگین می‌تواند از دو جنبه بسیار مهم باشد: اول، ازنقطه‌نظر سلامت عمومی که در آن توجه به‌ضرورت سنجش تجمع فلزات سنگین معطوف شده است. دوم، ازنقطه‌نظر محیط‌زیست آبی که برای جلوگیری از زوال بیولوژیکی و شناسایی منابعی که تعادل اکولوژیکی را تهدید می‌کند، انجام می‌گیرد (Khaled, 2004). فلزات سنگین به دلیل برخورداری از خاصیت تجمع پذیری در بافت‌های مختلف و عدم تجزیه‌پذیری و نیز مقاومت در برابر تغییرات بیولوژیکی پس از ورود به محیط قادرند در چرخه حیات به حرکت چرخه‌ای خود ادامه داده و به‌تدریج در بافت‌های چرب و نیز مصرف‌کنندگان تکامل‌یافته، ذخیره گردند و از این راه موجب بروز خطرات عدیده سمی، حاد و مزمن و حتی اثرات سوء ژنتیکی شوند (محمدنبی زاده و پورخباز، ۱۳۹۲).

ماهیان یکی از مهم‌ترین ارگانیسم‌های آبزی در زنجیره غذایی هستند که ممکن است مقدار بسیار زیادی از فلزات خاص در اندام آن‌ها تجمع یابد (Zauke *et al*., 1999). تجمع فلزات سنگین در بافت ارگانیسم‌ها منجر به بیماری مزمن شده و باعث آسیب بالقوه به جمعیت می‌شود (Barlas, 1999). ماهیان بخش مهمی از خوراک انسان محسوب می‌شوند، زیرا دارای پروتئین بالا، اسیدهای چرب غیراشباع در بافت چربی و

هم‌چنین شامل اسیدهای چرب امگای شناخته‌شده که برای حمایت از سلامت خوب است، می‌باشند؛ اما نگرانی که وجود دارد این است که فلزات سنگین انباشته‌شده در بخش خوراکی ماهی ممکن است سلامت را به‌ویژه برای جمعیت‌های با نرخ بالای مصرف ماهی به خطر اندازد (Alipour *et al.*, 2014). مطالعات تجمع فلز در ماهی در حال حاضر متداول است، اما در سال‌های اخیر، محاسبات فاکتور خطر برای جمعیت اهمیت زیادی پیداکرده است، زیرا گاهی اوقات آلودگی بیش از محدودیت‌های قانونی تعیین‌شده توسط مقررات FAO/WHO برای مواد غذایی، همیشه نشان‌دهنده خطر برای سلامت انسان نیست (Copat *et al.*, 2012).

از میان فلزات سنگین فلزاتی مانند سرب و کادمیوم زنوبیوتیک هستند به این مفهوم که این عناصر برای متابولیسم بدن موردنیاز نیستند و حتی مقادیر کم آن‌ها نیز برای بدن مضر است (ابراهیمی سیریزی و همکاران، ۱۳۹۱). کادمیوم و سرب از آلاینده‌های مهم زیست‌محیطی بوده که در تمامی اکوسیستم‌ها اعم از آب، هوا، غذا و گیاهان یافت می‌شوند. تجمع زیستی کادمیوم و سرب در بعضی از بی‌مهرگان، ماهیان، پرندگان و پستانداران دریایی به دلیل تشکیل پیوند با پروتئین و متالوتیونین در بافت بدن می‌باشد (ابراهیم‌پور کاسمانی ۱۳۹۰).

کفال طلایی (*Liza auratus*) و کفال پوزه‌باریک (*Liza Saliens*) جزء خانواده کفال ماهیان (Mugilidae) می‌باشند. چشم‌ها در ماهی کفال طلایی دارای یک لکه چربی تحلیل رفته است. رنگ پشت بدن این ماهی قهوه‌ای کم‌رنگ و شکمش به رنگ نقره‌ای سفید است (وثوقی و مستجیر، ۱۳۸۵). کفال پوزه‌باریک به‌صورت گروهی در آب‌های شور، لب‌شور دریا و مصب رودخانه‌ها زیست می‌نمایند. دارای ارزش اقتصادی زیادی می‌باشند و برای اولین بار بین سال‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۳۴ از دریای سیاه به دریاچه خزر پیوند زده شد. (بناگر و همکاران، ۱۳۷۹).

در سال‌های اخیر تحقیقات متعددی درزمینهٔ تجمع فلزات سنگین در گونه‌های مختلف ماهی در منطقه خلیج گرگان و دریای خزر انجام‌گرفته است (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۹؛ Alipour *et al.*, 2013؛ امینی رنجبر و ستوده نیا ۱۳۸۴؛ فاضلی و همکاران، ۱۳۸۴ و بندانی و همکاران، ۱۳۸۷). هرچند اطلاعات در مورد ارزیابی میزان خطر احتمالی ناشی از مصرف روزانه ماهی و برآورد میزان جذب روزانه با توجه به میزان فلزات در منطقه خیلی کم است. ارزیابی خطر فرایندی علمی می‌باشد که به‌وسیله آن تأثیر آلاینده‌های محیطی روی سلامت انسان موردبررسی قرار می‌گیرد (مرتضوی و همکاران، ۱۳۹۲). Al Sayegh Petkovšek و همکاران (۲۰۱۲) پتانسیل خطر سلامتی انسان را ناشی از مصرف ۱۰ گونه ماهی در دریاچه سالک در اسلوونی را مورد ارزیابی قراردادند. میزان جذب هفتگی فلزات روی، سرب، آرسنیک، جیوه و کادمیوم به ترتیب ۳/۴۴، ۰/۰۱۵، ۰/۰۱۸، ۰/۰۷ و ۰/۰۲ تعیین شد. Idriss and Ahmad (۲۰۱۵) غلظت فلزات روی، مس، سرب و کادمیوم را در ۱۳ گونه ماهی در رودخانه جورو در مالزی اندازه‌گیری کردند. ایشان گزارش دادند که میزان THQ روی (۰/۷۶–۰/۱۹)، کادمیوم (۱/۸–۰/۴۰)، سرب (۱/۲۵–۰/۴۰) و مس (۰/۳۶–۰/۰۸) بوده است.

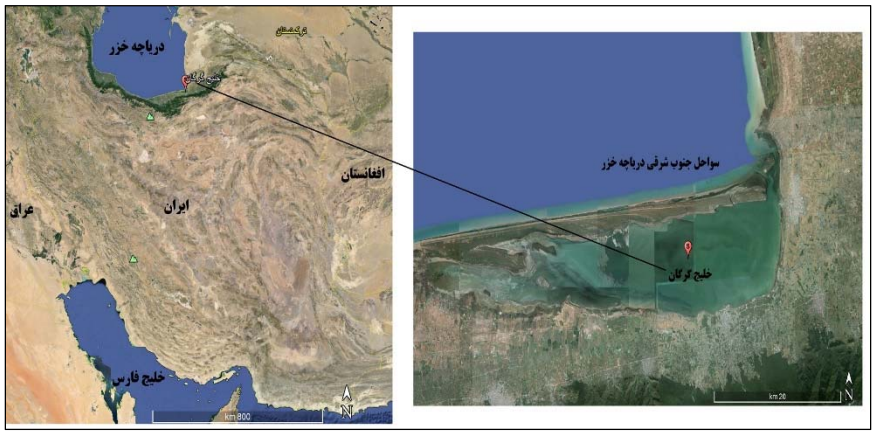
برای اغلب افراد، رژیم غذایی مسیر اصلی قرار گرفتن در معرض فلزات است، به‌طوری‌که خطر ارزیابی این عناصر برای انسان از طریق مصرف رژیم غذایی مهم است. با توجه به این‌که خلیج گرگان به‌عنوان یکی از صیدگاه‌های مهم سهم زیادی را در تأمین ماهی موردنیاز کشور دارد، لذا اطمینان از بهداشت و سلامتی ماهیان آن اهمیت زیادی دارد (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۹). بدین منظور در این تحقیق، خطر فلزات سنگین کادمیوم و سرب در عضله دو گونه ماهی کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک که دارای ارزش اقتصادی و خوراکی بالایی می‌باشند، مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

خلیج گرگان با مساحت ۴۰۰ کیلومترمربع به شکل سه‌گوش بوده و بیش‌ترین پهنای آن ۱۲ کیلومتر است. این خلیج از شرق به غرب کشیده شده و رأس آن در غرب قرارگرفته و حاشیه باریک و دراز میانکاله آن را از دریا جدا می‌کند. بیش‌ترین عمق در حوالی جنوب شرقی حدود ۵ متر

و کم‌ترین آن در ناحیه غربی حدود ۱ متر می‌باشد. دهانه خلیج گرگان باریک و اندازه آن ۷۰۰ متر است که از شرق با دریا در ارتباط است (حسن‌پور و همکاران، ۱۳۹۰) (شکل ۱).

در فصل زمستان در سال ۱۳۹۱ ده قطعه ماهی کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک از منطقه خلیج گرگان به روش تصادفی و با استفاده از تور پره ساحلی صید شدند. برای تشخیص کفال طلایی از کفال پوزه‌باریک از زوائد پیلوریک (معده) استفاده شد. با این توضیح که زوائد پیلوریک در کفال پوزه‌باریک ناهمگن یعنی غیر هم‌اندازه و در کفال طلایی همگن یعنی هم‌اندازه می‌باشد.



شکل ۱: نقشه خلیج گرگان در سواحل جنوب شرقی دریای خزر سال ۱۳۹۱.

ماهیان موردمطالعه در آزمایشگاه توسط آب مقطر شستشو داده شد. تعداد نمونه‌ها از هرگونه ۱۰ قطعه بود. ماهیان در آزمایشگاه توسط ترازوی دیجیتال وزن شدند. سپس توسط خط‌کش (با دقت ۱ میلی‌متر) طول استاندارد، طول چنگالی و طول کل اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

با استفاده از ابزار تشریح استریل شده مقدار یک گرم وزن‌تر از بافت عضله ماهی جدا و در ارلن ۵۰ میلی‌لیتر قرار داده شد. جهت هضم شیمیایی بافت عضله، مقدار ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ به نمونه‌ها افزوده و به مدت یک ساعت در دمای ۱۲۵-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. پس از گذشت یک ساعت از سرد شدن محتویات درون ارلن مقدار ۲/۵ میلی‌لیتر اسید پرکلریک به آن افزوده و به مدت ۴ تا ۵ ساعت بر روی هیتر با دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا محلول شفاف و نمونه‌ها کاملاً هضم گردد. پس از هضم، نمونه‌ها در هوای محیط قرار داده شدند تا سرد شوند. بعد از سرد شدن، محلول با استفاده از آب دو بار تقطیر در بطری‌های پلی‌اتیلنی ۵۰ میلی‌لیتری به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس نمونه‌ها با استفاده از فیلتر نیتروسلولزی ۰/۴۵ میکرومتر فیلتر شدند (Alipour *et al*., 2014؛Ebrahimpour *et al*., 2011). برای اندازه‌گیری میزان فلزات سرب و کادمیوم در تمامی نمونه‌ها از دستگاه جذب اتمی مدل (Thermo model 97 GFS) به روش کوره گرافیتی استفاده شد. حد تشخیص دستگاه برای سرب ۲/۶-۲/۵ و برای کادمیوم ۲/۶-۰/۱۵ میکروگرم بر کیلوگرم بود.

ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال، توسط آزمون کلموگروف- اسمیرنوف موردبررسی قرار گرفتند. برای بررسی وجود تفاوت معنی‌داری بین غلظت فلزات سنگین در بافت عضله بین دو گونه از آزمون t-test استفاده گردید. هم‌چنین برای بررسی همبستگی بین فلزات از آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) صورت گرفت.

جهت محاسبه برآورد سیبل خطر THQ (Target Hazard Quotient) از رابطه ۱ استفاده شد (USEPA, 2012).

$$\text{Target hazard quotient } (THQ) = \frac{\text{EF} \times \text{ED} \times \text{FIR} \times \text{C}}{\text{RfD} \times \text{WAB} \times \text{ATn}} \times 10^{-3}$$

رابطه ۱:

و برای محاسبه جذب روزانه از رابطه ۲ استفاده گردید:

$$\text{Daily intake } (\mu g\, kg^{-1}\, day^{-1}) = \frac{EF \times ED \times FIR \times C}{WAB \times ATn}$$

رابطه ۲:

EF= بسامد در معرض قرار گرفتن (۳۵۰ روز در سال)، ED= مدت‌زمان در معرض قرار گرفتن (۷۰ ساله برای بزرگ‌سالان)، FIR = میزان مصرف ماهی (کیلوگرم، برای هر فرد در روز، ۰/۰۲ کیلوگرم فرد/روز)، C= غلظت فلز در عضله (میکروگرم بر کیلوگرم)، RfD= دُز مرجع، WAB= متوسط وزن (کیلوگرم) (۶۵ کیلوگرم برای بزرگ‌سالان)، ATn= متوسط زمان در معرض قرار گرفتن ماده غیر سرطان‌زا (۳۶۵ روز در سال × ED).

نتایج

نتایج حاصل از زیست‌سنجی ماهی کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک شامل انحراف معیار و میانگین وزن، طول کل، طول استاندارد و طول چنگالی در جدول ۱ ارائه‌شده است. هم‌چنین میانگین غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب در بافت عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در جدول ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار پارامترهای زیست‌سنجی ماهی کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در خلیج گرگان سال ۱۳۹۱.

ماهی	پارامتر	میانگین	انحراف معیار	حد پایین	حد بالا
کفال طلایی	وزن (گرم)	۱۲۹	۲۲/۵۸	۱۶۵	۱۰۰
	طول کل (سانتی‌متر)	۲۵/۴	۱/۴	۲۷/۲	۲۳
	طول چنگالی (سانتی‌متر)	۲۳/۵۶	۰/۸۳	۲۴/۵	۲۲/۵
	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۲۰/۵۸	۱/۱۹	۲۲	۱۹
کفال پوزه‌باریک	وزن (گرم)	۱۱۵/۵	۱۸/۳۲	۱۴۰	۹۰
	طول کل (سانتی‌متر)	۲۴/۸	۱/۳	۲۶/۵	۲۲/۷
	طول چنگالی (سانتی‌متر)	۲۲/۸۳	۱/۱۹	۲۴/۳	۲۰/۷
	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۱۹/۹۸	۱/۰۳	۲۱	۱۸/۲

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات کادمیوم و سرب در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک برحسب میکروگرم بر کیلوگرم وزن‌تر در خلیج گرگان سال ۱۳۹۱.

فلز	ماهی	میانگین	انحراف معیار	حد پایین	حد بالا
کادمیوم	کفال طلایی	[a]۲۵۲/۰۵	۵۸/۵۱	۱۹۷/۵	۳۶۶
	کفال پوزه‌باریک	[b]۹۶/۷	۸/۲۹	۸۴/۵	۱۰۹/۵

سرب	کفال طلایی	[a]۸۶۳۲	۵۸۷/۰۳	۷۵۷۰	۹۵۳۰
	کفال پوزه‌باریک	[b]۱۷۱۲	۳۵۱/۴۶	۱۲۹۹/۵	۲۴۰۰

[a,b]اختلاف معنی‌داری بین بافت عضله بین دو گونه برای هر فلز.

بیشترین غلظت فلز کادمیوم در بافت عضله کفال طلایی مشاهده شد. میانگین غلظت کادمیوم در بافت عضله کفال طلایی نسبت به غلظت کادمیوم در بافت عضله کفال پوزه‌باریک ۲/۵ برابر بیشتر بود. بین غلظت کادمیوم در عضله کفال طلایی با غلظت کادمیوم در عضله کفال پوزه‌باریک اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (P<۰/۰۱). هم‌چنین بیش‌ترین غلظت فلز سرب در بافت عضله کفال طلایی مشاهده شد. میانگین غلظت سرب در بافت عضله کفال طلایی نسبت به غلظت سرب در بافت عضله کفال پوزه‌باریک ۵ برابر بیشتر بود. بین غلظت سرب در عضله کفال طلایی با غلظت سرب در عضله کفال پوزه‌باریک اختلاف معنی‌داری دیده شد (P<۰/۰۱). بررسی همبستگی پیرسون بین فلزات در جدول ۳ ارائه‌شده است. نتایج همبستگی نشان داد که بین هیچ‌کدام از فلزات با یکدیگر همبستگی وجود ندارد (P<۰/۰۵).

جدول ۳: همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سرب و کادمیوم در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در خلیج گرگان ۱۳۹۱.

	سرب (کفال طلایی)	کادمیوم (کفال طلایی)	سرب (کفال پوزه‌باریک)	کادمیوم (کفال پوزه‌باریک)
سرب (کفال طلایی)	۱	۰/۲۸۵	۰/۳۷۴	-۰/۴۹۸
کادمیوم (کفال طلایی)		۱	۰/۰۷۸	-۰/۵۴۷
سرب (کفال پوزه‌باریک)			۱	۰/۱۵۵
کادمیوم (کمال پوزه باریک)				۱

برآورد جذب روزانه برای ماهیانی که ارزش اقتصادی و مصرف خوراکی بالایی دارند بسیار مهم است. بر اساس گزارش‌های فائو (FAO, 2012) سرانه مصرف ماهی در ایران ۲۰ گرم فرد/روز برای بزرگ‌سالان برآورد شده است که برابر با ۱۴۰ گرم فرد در هفته می‌باشد. مقادیر جذب روزانه برای یک فرد ۶۵ کیلوگرمی از طریق مصرف عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در جدول ۴ ارائه‌شده است.

میانگین جذب روزانه سرب و کادمیوم به‌واسطه مصرف عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک به ترتیب ۲/۵۴، ۰/۰۷ و ۰/۵، ۰/۰۲ میکروگرم در روز برآورد شد که بیش‌ترین میزان جذب روزانه در سرب در کفال طلایی و کم‌ترین میزان جذب روزانه در کادمیوم در کفال پوزه‌باریک مشاهده شد.

میزان Reference Dose (RfD) ارائه‌شده توسط EPA و میانگین مقادیر Target Hazard Quotient (THQ) فلزات کادمیوم و سرب برای کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در جدول ۴ نمایش داده‌شده است. میزان THQ کادمیوم و سرب برای کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک به ترتیب $۷/۴۳\times۱۰^{-۵}$، $۲/۸۵\times۱۰^{-۵}$ و $۶/۳۷\times۱۰^{-۴}$، $۱/۲۶\times۱۰^{-۴}$ محاسبه شد. میزان THQ کادمیوم و سرب کفال طلایی بیشتر از کفال پوزه‌باریک بود.

جدول ٤: برآورد جذب روزانه و هفتگی و برآورد پتانسیل خطر در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در خلیج گرگان ۱۳۹۱.

		کادمیوم	سرب
جذب موقت هفتگی قابل‌قبول (میکروگرم/هفته/کیلوگرم وزن فرد)		۷	۲۵

جذب موقت هفتگی قابل‌قبول (میکروگرم/هفته/۶۵ کیلوگرم وزن فرد)		۴۵۵	۱۶۲۵
جذب موقت روزانه قابل‌قبول (میکروگرم/روز/۶۵ کیلوگرم وزن فرد)		۶۵	۲۳۲/۱۴
برآورد جذب هفتگی (میکروگرم/روز/۶۵ کیلوگرم وزن فرد)	کفال طلایی	۰/۵۲	۱۷/۸۲
	کفال پوزه‌باریک	۰/۱۹	۳/۵۳
برآورد جذب روزانه (میکروگرم/روز/۶۵ کیلوگرم وزن فرد)	کفال طلایی	۰/۰۷	۲/۵۴
	کفال پوزه‌باریک	۰/۰۲	۰/۵
برآورد پتانسیل خطر	کفال طلایی	$۷/۴۳\times۱۰^{-۵}$	$۶/۳۷\times۱۰^{-۴}$
	کفال پوزه‌باریک	$۲/۸۵\times۱۰^{-۵}$	$۱/۲۶\times۱۰^{-۴}$
دز رفرنس RfD		۱	۴

بحث و نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، میزان آلودگی فلز سنگین کادمیوم در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک در مقایسه با استاندارد جهانی WHO (۱۹۸۹) کمتر بود. هم‌چنین مقایسه نتایج پژوهش حاضر بامطالعه میزان فلز کادمیوم در ماهیان مختلف (کپور معمولی، ماهی سفید و کفال طلایی) در منطقه خلیج گرگان در سال‌های گذشته نشان می‌دهد که غلظت فلز کادمیوم در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک نسبت به سایر مطالعات بیشتر بود، اما میزان فلز کادمیوم در هر دو گونه موردمطالعه در مقایسه با میزان کادمیوم در عضله ماهی کُلمه در تالاب میانکاله کمتر بود (جدول ۵).

میزان آلودگی فلز سنگین سرب در عضله کفال طلایی در مقایسه با استاندارد جهانی WHO بیشتر بود اما غلظت سرب در عضله کفال پوزه‌باریک از استاندارد WHO کمتر بود. مقایسه نتایج پژوهش حاضر بامطالعه میزان فلز سرب در ماهیان مختلف (کپور معمولی، ماهی سفید و کفال طلایی) در منطقه خلیج گرگان در سال‌های گذشته نشان می‌دهد که نسبت غلظت فلز سرب در عضله هر دو گونه از سایر مطالعات بیشتر است (جدول ۵).

شهریاری و همکاران در سال ۱۳۸۹ تحقیقی در رابطه با میزان تجمع فلز سرب و کادمیوم در عضله سه گونه ماهی (کپور معمولی، ماهی سفید و کفال) در خلیج گرگان انجام دادند. میانگین غلظت سرب به ترتیب در عضله کپور، کفال و سفید برابر با ۰/۲۴۲، ۰/۱۱۸ و ۰/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و میانگین غلظت کادمیوم به ترتیب برابر با ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. نتایج ایشان در مقایسه بامطالعه حاضر بسیار کمتر بود. Tabari و همکاران (۲۰۱۰) مطالعه‌ای بر روی عضله سه گونه ماهی کفال طلایی، کپور معمولی و ماهی سفید انجام دادند. گزارش آنان نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم در عضله هر سه گونه پایین‌تر از استاندارد WHO و مطالعه حاضر بود.

بوم‌شناسی خلیج گرگان تحت تأثیر دریای خزر، رودهای مجاور و تالاب میانکاله قرار دارد. تردد قایق‌ها و کشتی‌ها در خلیج گرگان و عملیات رنگ‌آمیزی آن‌ها، ورود پساب‌های شهری، صنعتی، کشاورزی به آب‌های منطقه خزر می‌تواند باعث افزایش فلز سرب در این منطقه شود. علاوه بر آن جریان‌های آبی دریای خزر که در جهت عکس عقربه‌های ساعت و از شمال غرب به جنوب و جنوب غرب دریای خزر و از غرب به شرق این دریا در حال حرکت‌اند می‌توانند آلاینده‌های معدنی و آلی مختلفی را از سواحل شمالی و سواحل آذربایجان وارد منطقه موردمطالعه نمایند (پازوکی و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعه حاضر در مقایسه با مطالعات مذکور در بالا نشان می‌دهد که میزان آلودگی فلزات سنگین در خلیج گرگان در حال افزایش می‌باشد.

PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) به‌وسیله کمیته مشترک سازمان خواربار جهانی و سازمان بهداشت جهانی تعیین می‌شود (Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives) (JECFA) (Bat *et al*., 2012). PTWI به میزان دوره مصرف و مقدار آن توسط مصرف‌کننده غذا بستگی دارد (Türkmen *et al*., 2008). PTWI تعیین‌شده به‌وسیله JECFA و هم‌چنین ماهیان موردمطالعه حاضر برای فرد ۶۵ کیلوگرمی برای فلز کادمیوم و سرب در جدول ۴ نشان داده‌شده است. تحقیق حاضر نشان می‌دهد، میزان جذب روزانه و هفتگی فلز کادمیوم و سرب در این مطالعه در هر دو گونه از میزان تعیین‌شده به‌وسیله PTWI و PTDI (Provisional Tolerable Daily Intake) کمتر بود.

Bat و همکاران (۲۰۱۲) مطالعه‌ای بر روی فلزات روی، مس، سرب و کادمیوم بر روی عضله سپر ماهی (*Psetta maxima*) در سواحل دریای سیاه، ترکیه انجام دادند. محدوده غلظت فلزات روی، مس، سرب و کادمیوم در عضله به ترتیب ۳۵/۳۳-۱۸/۵۶، ۶/۱۱-۱/۸۱، ۰/۲۱-۰/۰۷ و ۰/۰۴۶-۰/۰۱۶ تعیین شد. مطالعه ایشان نشان داد که برآورد مصرف روزانه و هفتگی فلزات انتخاب‌شده از طریق مصرف ماهی کمتر از مصرف جذب موقت روزانه قابل‌تحمل (PTDI) و جذب موقت هفتگی قابل‌تحمل (PTWI) مقادیر بیان‌شده توسط FAO/WHO بودند.

THQ پیشنهادشده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات‌متحده، شاخص خطر یکپارچه برای مقایسه مقدار مصرف یک آلاینده با دوز مرجع، استانداردشده است و به‌طور گسترده‌ای در ارزیابی خطر فلزات در مواد غذایی آلوده استفاده می‌شود. میزان THQ به‌عنوان یکی از پارامترهای معقول برای ارزیابی خطر ابتلا به فلزات در ارتباط با مصرف ماهی آلوده به رسمیت شناخته‌شده است (Li *et al*., 2012). THQ زیر ۱ بدین معنی است که جمعیت در معرض قرارگرفته، بعید است اثرات نامطلوب آشکار را تجربه کند، درحالی‌که THQ بالای ۱ بدین معنی است که با احتمال افزایش مقادیر بالاتر، اتفاق اثرات غیر سرطان‌زا وجود دارد. در مطالعه حاضر میزان THQ برای فلزات کادمیوم و سرب پایین‌تر از ۱ بود که نشان می‌دهد جذب این فلزات به‌وسیله مصرف عضله ماهی کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک خطری مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند. هرچند در مقایسه بین فلز کادمیوم با سرب، میزان THQ سرب در هر دو گونه از میزان THQ کادمیوم بیشتر است.

تفاوت در مقادیر تجمع فلزات سنگین در گونه‌های مختلف ماهی شاید با نحوه زندگی، زیستگاه، عادات تغذیه‌ای، توانایی بزرگنمایی زیستی، سن و اندازه آن‌گونه و مقدار فلز موجود در آب و رسوبات مرتبط باشد. به‌بیان‌دیگر دسترسی زیستی فلزات می‌تواند از فاکتورهای زیستی و غیر زیستی که کنترل یک فلز خاص و تجمع زیستی آن را بر عهده دارد، تأثیر بپذیرد (Sekhar *et al*., 2003). فلزات سنگین اهداف خود را بر اساس فعالیت متابولیک آن انتخاب می‌کنند. با توجه به اینکه بافت عضله ازنظر متابولیکی بافت فعالی نیست، به همین دلیل معمولاً میزان تجمع فلزات سنگین در این بافت نسبت به سایر بافت‌ها مانند کبد و کلیه کمتر است. تفاوت مقدار THQ در دو گونه به دلیل میزان تجمع فلزات سرب و کادمیوم در بافت عضله و هم‌چنین مقدار RfD تعیین‌شده توسط EPA می‌باشد. هرچه مقدار THQ در بافت موردنظر کم‌تر باشد، خطر مصرف آن بافت به‌وسیله مصرف‌کننده کم‌تر خواهد بود.

Alipour و همکاران (۲۰۱۴) غلظت فلزات سرب و کادمیوم را در عضله ماهی کُلمه در تالاب میانکاله موردبررسی قراردادند. نتایج ایشان نشان داد که مقادیر THQ برای فلزات سرب ($۹/۸۸\times۱۰^{-۵}$) و کادمیوم ($۷/۶۷\times۱۰^{-۵}$) کمتر از ۱ بود. در بین فلزات ارائه‌شده، سرب بیشترین میزان THQ را به خود اختصاص داده است که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد.

جدول ۵: مقایسه غلظت فلزات کادمیوم و سرب در عضله کفال طلایی و کفال پوزه‌باریک با استاندارد WHO و سایر مناطق برحسب میکروگرم بر کیلوگرم وزن‌تر.

منابع	سرب	کادمیوم	گونه ماهی	منطقه موردمطالعه
(WHO, 1989)	۲۰۰۰	۱۰۰۰	-	WHO
(Alipour *et al*., 2013)	۶۷۰	۲۶۰	کُلمه	تالاب میانکاله، ایران

(بندانی و همکاران، ۱۳۸۷)	۹۱/۸۵	۴۳/۰۱	کپور معمولی	خلیج گرگان، ایران
	۱۹/۲۷	۵۳/۶۷	کفال	
	۸۷/۲۱	۲۰/۵۴	سفید	
(شهریاری و همکاران، ۱۳۸۹)	*۰/۲۴۲	*۰/۰۱۴	کپور معمولی	خلیج گرگان، ایران
	*۰/۱۱۸	*۰/۰۱۸	کفال	
	*۰/۰۸	*۰/۰۱۷	سفید	
(Tabari *et al.*, 2010)	۱۹/۲۷	۵۳/۶۷	کفال طلایی	خلیج گرگان، ایران
	۱۶۸/۹	۹۵/۹۰	کپور معمولی	
	۱۳۷/۰۶	۵۸/۷۱	سفید	
مطالعه حاضر	۸۶۳۲	۲۵۲/۰۵	کفال طلایی	خلیج گرگان، ایران
	۱۷۱۲	۹۶/۷	کفال پوزه‌باریک	

*میلی‌گرم بر کیلوگرم

بررسی‌های WHO پیرامون مطالعه همه‌گیرشناسی در رابطه با سرطان‌زایی کادمیوم نتایج قطعی را نشان نمی‌دهد. جذب کادمیوم از طریق گوارش تحت تأثیر عواملی از قبیل سن، کمبود کلسیم، آهن، روی و کمبود پروتئین و نیز نوع شیمیایی کادمیوم قرار دارد. کادمیوم می‌تواند باعث بیماری‌های شدید گوارشی، برونشیت، آمفیزم، کم‌خونی و سنگ کلیه شود. جذب کادمیوم در حیوانات و انسان باعث بروز انواعی از اثرات سمی می‌گردد که این اثرات عموماً در غلظت‌های بالایی از رژیم غذایی رخ می‌دهد (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۲).

سرب در غلظت‌های پایین سبب کاهش فعالیت آنزیم پروفوبیلینوژن سنتتاز می‌گردد. این آنزیم مسئول سنتز خون در مرحله تبدیل اسید آمینولولینک به پروفوبیلینوژن می‌باشد. سطوح بالای سرب در خون سبب مشکلات در سیستم عصبی مرکزی، آسیب کلیه‌ها، ناتوانی جنسی و هم‌چنین کم‌خونی می‌شود. نیمه‌عمر بیولوژیکی سرب در بافت‌های نرم ۲۱ روز، در عضلات ۵ سال و در استخوان ۲۰ سال گزارش‌شده است (اسماعیلی ساری، ۱۳۸۲).

سنجش غلظت فلزات در عضله خوراکی ماهی بسیار مهم است، زیرا توده بزرگی از ماهی را تشکیل می‌دهد که مصرف می‌شود. بسیاری از مطالعات بر روی سنجش غلظت فلزات سنگین در عضله گونه‌های مختلف ماهی نشان می‌دهد که عضله، بافت فعالی در جذب فلزات سنگین نیست. مقادیر کم فلزات در عضله شاید به علت نتیجه غنای پروتئین‌های انقباضی باشد که دارای میل ترکیبی بالایی با کلسیم‌دارند، بنابراین میل ترکیبی کمی برای جذب فلزات سنگین با توجه به قوانین عمومی شیمی آلی دارند. در پایان می‌توان گفت غلظت سرب در عضله کفال طلایی بالاتر از مقادیر راهنمای WHO بود، اما غلظت سرب در عضله کفال پوزه‌باریک و غلظت کادمیوم در هر دو گونه کمتر از مقادیر راهنما بود. این حاکی از آن است که سطح بالایی از غلظت سرب در عضلات ماهی می‌تواند اثرات مضر بر سلامت مصرف‌کنندگانی مانند زنان باردار، کودکان و افراد مسن در منطقه موردمطالعه داشته باشد.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد بجنورد انجام‌گرفته است.

منابع

ابراهیم‌پور کاسمانی، م.، ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر آلودگی دریاها. چاپ اول. انتشارات نوین اندیشه، تهران. ۲۳۲ ص.

ابراهیمی سیریزی، ز.، ساکی زاده، م.، اسماعیلی ساری، ع.، بهرامی فر، ن.، قاسمپوری، م. و عباسی، ک.، ۱۳۹۱. بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و روی در بافت عضله اردک‌ماهی (*Esox lucius*) تالاب بین‌المللی انزلی، انباشتگی و ارزیابی خطرات، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، جلد۲۲: صفحات۶۳-۵۷.

اسماعیلی ساری، ع.، ۱۳۸۱. آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست، چاپ اول، نقش مهر، صفحه ۷۶۷.

امینی رنجبر، غ. و ستوده نیا، ف.، ۱۳۸٤. تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی کفال طلایی (Mugil auratus) دریای خزر در ارتباط با برخی مشخصات بیومتریک (طول استاندارد، وزن، سن و جنسیت)، مجله علمی شیلات ایران، جلد ۱۴(۳): صفحات ۱ – ۱۸.

بناگر، غ.، کرمی، م.، حسن زاده کیابی، ب. و قاسمپوری، م.، ۱۳۷۹. بررسی تنوع زیستی گونه‌های ماهیان رودخانه هراز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد محیط زیست. دانشگاه تربیت مدرس. ۶۲ص.

بندانی، غ.، شکرزاده، م.، رستمی، ح.، یلقی، س.، بابایی، م.، باقری، ا. و سهیل، س.، ۱۳۸۷. پروژه بررسی و مقایسه سطح فلزات سنگین در رسوب، آب و ماهیان پر مصرف حاشیه جنوبی دریای خزر در استان گلستان. انتشارات اداره کل حفاظت محیط زیست استان گلستان. صفحات ۹۲- ۱۲.

پازوکی، ج.، ابطحی، ب. و رضایی، ف.، ۱۳۸۸. سنجش میزان فلزات سنگین (Cd, Cr) در بافت پوست و عضله کفال طلایی (*Liza aurata*) دریای خزر منطقه انزلی، مجله علوم محیطی، جلد۷: صفحات ۳۲-۲۱.

حسن پور، م.، پورخباز، ع.، ابراهیم‌پورکاسمانی، م. و قربانی، ر.، ۱۳۹۰. بررسی سطح فلزات سنگین در رسوب، آب و پرندگان آبزی جنوب شرقی دریای خزر در استان گلستان (مطالعه موردی تالاب بین‌المللی گمیشان و خلیج گرگان)، پایان نامه کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشگاه بیرجند. ۱۰۰ص.

شهریاری، ع.، گل فیروزی، ک. و نوشین ش.، ۱۳۸۹. میزان تجمع کادمیوم و سرب در بافت عضلانی سه گونه از ماهیان دریایی کپور، کفال و ماهی سفید سواحل دریای خزر در حوضه خلیج گرگان در سال ۸۶ – ۱۳۸۵. مجله علمی شیلات ایران. جلد ۱۹(۲): صفحات ۹۵-۱۰۰.

فاضلی، م. ش.، ابطحی، ب. و صباغ کاشانی، آ.، ۱۳۸٤. سنجش تجمع فلزات سنگین سرب، نیکل و روی در بافت های ماهی کفال طلایی سواحل جنوبی دریای خزر، مجله علمی شیلات ایران، جلد ۱۴(۱): صفحات ۶۵ – ۷۸.

محمدنبی زاده، س. و پورخباز، ع.، ۱۳۹۲. ردیابی زیستی فلزات سنگین در بافت‌های ماهیان شورت و زمین‌کن در ذخیره گاه زیست کره حرا، مجله دامپزشکی ایران، جلد ۹: صفحات ۷۵-۶۴.

مرتضوی، م. ص.، شریفیان، س. و آقاجری، ن.، ۱۳۹۲. برآورد میزان خطر برخی از فلزات ناشی از مصرف ماهی حلوا سفید و شوریده در استان هرمزگان . مجله علمی شیلات ایران. جلد ۲۲ (۲): صفحات ۱۲۷-۱۳۶.

وثوقی، غ. و مستجیر، ب.، ۱۳۸۵. ماهیان آب شیرین. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تهران، تهران. ۳۱۷ ص.

Alipour, H., Pourkhabbaz, A. R. and Hassanpour, M., 2013. Assessing of heavy metal concentrations in the tissues of *Rutilus rutilus caspicus* and *Neogobius gorlap* from Miankaleh international wetland. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 91(5): 517-521.

Alipour, H., Pourkhabbaz, A. R. and Hassanpour, M., 2014. Estimation of Potential Health Risks for Some Metallic Elements by Consumption of Fish. Water Quality, Exposure and Health doi: 10.1007/s12403-014-0137-3.

Al Sayegh Petkovšek, S., Mazej Grudnik, Z. and Pokorny, B., 2012. Heavy metals and arsenic concentrations in ten fish species from the Šalek lakes (Slovenia): assessment of potential human health risk due to fish consumption. Environmental Monitoring and Assessment. doi:10.1007/s10661-011-2141-4

Barlas, N., 1999. A pilot study of heavy metal concentration in various environments and fishes in the upper Sakaryia river basin, Turkey. Environmental toxicology 14, 367-373.

Bat, L., Şahin, F., Üstün, F. and Sezgin, M., 2012. Distribution of Zn, Cu, Pb and Cd in the tissues and organs of *Psetta maxima* from Sinop Coasts of the Black Sea, Turkey. Marine Science 2(5), 105-109.

Copat, C., Bella, F., Castaing, M., Fallico, R., Sciacca, S. and Ferrante, M., 2012. Heavy metals concentrations in fish from Sicily (Mediterranean Sea) and evaluation of possible health risks to consumers. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology doi:10.1007/s00128-011-0433-6.

Ebrahimpour, M., Pourkhabbaz, A. R., Baramaki, R., Babaei, H. and Rezaei, M., 2011. Bioaccumulation of heavy metals in freshwater fish species, Anzali, Iran. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology doi: 10.1007/s00128-012-0798-1.

FAO., 2012. Fishery and Aquaculture Statistics. Yearbook 2010. 1-107. Available from: http://www.fao.org/fishery/publications/yearbooks/en.

FAO/WHO., 2012. Food standards programme codex committee on contaminants in foods. Sixth session. CF/6 INF/1. Maastricht, the Netherlands.1-94. Available from: ftp://193.43.36.93/codex/meetings/cccf/cccf6/cf06_INFe.pdf

Idriss, A. A. and Ahmad, A. K., 2015. Heavy metal concentrations in fishes from Juru River, estimation of the health risk. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology doi: 10.1007/s00128-014-1452-x.

Khaled, A., 2004. Seasonal concentrations of some heavy metals in muscle tissues of *Siganus rivulatus* and *Sargus sargus* from El-Mex Bay and Eastern Harbour, Alexandria. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries 8(1), 65-81.

Li, J., Huang, Z. Y., Hu, Y. and Yang, H., 2012. Potential risk assessment of heavy metals by consuming shellfish collected from Xiamen, China. Environmental Science and Pollution Research doi: 10.1007/s11356-012-1207-3.

Pazhanisamy, K., Vasanth, M. and Indra, N., 2007. Bioaccumulation of arsenic in the freshwater fish *Labeo Rohita* (HAM) .The Bioscan 2(1), 67-69.

Sekhar, K. C., Chary, N. S., Kamala, C. T., Suman Raj, D. S. and Rao, A. S., 2003. Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru Lake by edible fish. Environment International 29, 1001-1008.

Tabari, S., Saravi, S. S., Bandany, G. A., Dehghan, A. and Shokrzadeh, M., 2010. Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled form Southern Caspian Sea, Iran. Toxicology and Industrial Health 26(10), 649-56.

Türkmen, M., Türkmen, A. and Tepe, Y., 2008. Metal contaminations in five fish species from Black, Marmara, Aegean and Mediterranean Seas, Turkey. Journal of the Chilean Chemical Society 53 (1), 1424-1428.

USEPA., 2012. Regional Screening Level (RSL) Fish Ingestion Table November 2012; Available at: www.epa.gov/reg3hwmd/risk/human/pdf/NOV_2012_FISH.pdf

WHO., 1989. Heavy metals-environmental aspects. Environment Health Criteria. No. 85. Geneva, Switzerland.

Zauke, G., Savinov, V., Ritterhoff, J. and Savinova, T., 1999. Heavy metals in fish from Barent Sea (summer 1994). Science of the Total Environment 227, 161-73.