تعیین غلظت آرسنیک در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ارزیابی خطر مصرف آن در استان کردستان

- **هادی تحسینی***: گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
- **محسن احمدپور**: مرکز پژوهشی حوضه اقلیمی خزر، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: آذر ۱۳۹۶ تاریخ پذیرش: اسفند ۱۳۹۶

چکیده

فلز آرسنیک به‌عنوان یکی از فلزات سنگین آلاینده اکوسیستم‌های آبی موجب ایجاد مسمومیت و نگرانی در مصرف ماهی شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت فلز آرسنیک در بافت کبد و عضله، هم‌چنین ارتباط آن با وزن و طول چنگالی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*) و ارزیابی خطر مصرف آن انجام شد. ۶۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در دو حوضچه پرورش ماهی واقع در شهرستان‌های سنندج (روستای تنله) و کامیاران (روستای دیوزناو) تهیه گردید (تعداد ۳۰ قطعه از هر حوضچه) و پس از هضم اسیدی نمونه‌های مذکور، غلظت فلز آرسنیک به‌وسیله دستگاه جذب اتمی مدل Phonix 986 اندازه‌گیری شد. میانگین غلظت فلز آرسنیک دربافت‌های کبدو عضله به‌ترتیب ۲۸/۱۶ و ۱۵/۶۸ میکروگرم برگرم وزن خشک به‌دست آمد. تجمع آرسنیک در بافت کبد بیش از بافت عضله مشاهده شد ($P<0/05$). ارتباط نسبتاً قوی بین غلظت این فلز با طول چنگالی و وزن کل داشت ($p<0/01$). هم‌چنین نتایج نشان داد بین حوضچه‌های شهرستان کامیاران و سنندج از لحاظ غلظت آرسنیک در بافت‌های مورد مطالعه، تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به نتایج محاسبه شاخص خطر برای مصرف روزانه ۲۵ گرم ماهی خطرمصرف وجود دارد و مقدار حداکثر مصرف روزانه مجاز ۱/۳ گرم برای یک فرد بالغ ۷۰ کیلوگرمی محاسبه گردید. با مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری شده این تحقیق با حد مجاز استانداردهای بین‌المللی در بافت عضله مشخص شد، غلظت آرسنیک بیش از استانداردهای USEPA، FAO و WHO می‌باشد.

کلمات کلیدی: آرسنیک، قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)، کبد، عضله

* پست الکترونیکی نویسنده مسئول: haditahsini@yahoo.com

مقدمه

ماهی بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می‌دهد و یک منبع غنی‌از پروتئین، چربی امگا ۳، اسیدها، ویتامین، سلنیوم و کلسیم است(Bosch و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از ماهی‌هایی که به‌طور گسترده‌ای در سطح ایران و جهان به مصرف می‌رسد، ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان (*Oncorhynchus mykiss*)است. قزل‌آلای رنگین‌کمان یک ماهی سردابی 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 پرورش و یک منبع مهم در تأمین پروتئین از آب‌های شیرین، مورد توجه آبزی‌پروران قرار گرفته است (عادلی، ۱۳۹۳؛ Hajeb و همکاران، ۲۰۰۹). پراکنش و گستردگی پرورش قزل‌آلا موجب رونق اقتصادی و اشاعه مصرف آن شده است. ایران با دارا بودن جایگاه سوم تولید ماهی قزل‌آلا، هم‌چنین ۱۰/۸ درصد قزل‌آلای جهان را تولید نموده و سهم ۰/۰۷ درصدی در مقدار صادرات جهانی دارد (عادلی، ۱۳۹۳). در ایران حدود ۳۶/۵ درصد آبزیان پرورشی تولیدی و عرضه شده را ماهی قزل‌آلا تشکیل می‌دهد (سالنامه آماری سازمان شیلات ایران، ۱۳۹۱). باتوجه به آلودگی محیط‌های آبی به‌وسیله فلزات سنگین خطر مصرف آبزیان پرورشی را به‌دنبال دارد(عسگری‌ساری و محمدی، ۱۳۹۴). فلزات سنگین به‌دلیل خاصیت انباشتگی و پایداری زیستی، یکی از گروه‌های اصلی آلودگی آب محسوب می‌شوند. به‌طوری‌که محیط‌های آبی در معرض غلظت‌های مختلف فلزات سنگین قرار دارند. در میان این فلزات، آرسنیک و ترکیبات آن در صنعت، کشاورزی، دامداری و پزشکی کاربرد فراوان دارد و از آن در ساخت شیشه، چوب، حشره‌کش، علف‌کش و اجزای الکترونیکی و آلیاژ استفاده می‌شود. سهم عمده آرسنیک در آب‌های طبیعی از تخلیه پساب و فاضلاب‌های انسانی است و میزان ورود این فلز به محیط‌زیست در اثر فرسایش اندک است (Al Bakheet و همکاران، ۲۰۱۳؛ Menare و همکاران، ۱۹۸۶؛ Voigt و Buat، ۲۰۰۶؛ عسگری‌ساری و محمدی، ۱۳۹۴). آرسنیک به‌عنوان یک ماده سمی برای آبزیان شناخته شده است. اشکال مختلف آرسنیک (آلی، غیرآلی، محلول درآب و محلول در چربی) تعیین‌کننده میزان سمیت بیولوژیکی آن است. غلظت آستانه سمیت جانوران دریایی به نوع گونه و مرحله رشد آن بستگی دارد (ندافی و همکاران، ۱۳۸۵). مصرف ماهی آلوده به فلز آرسنیک اختلالات و عوارضی‌را برای انسان به‌همراه دارد که‌می‌توان به سرطان‌زایی، اختلال در سیستم عصبی، اختلال در سیستم خون‌رسانی، اختلالات قلبی عروقی، آسیب‌رسانی به کلیه، پوست و تجمع در بافت‌ها اشاره کرد (USEPA، ۲۰۰۰). مطالعات متعددی در جهان جهت سنجش فلزات سنگین به‌خصوص آرسنیک بر روی ماهیان پرورشی صورت گرفته است (Shah و همکاران، ۲۰۰۹؛ Svobodova و همکاران، ۲۰۰۲؛ Mol و همکاران، ۲۰۱۷؛ Varol و همکاران، ۲۰۱۷). Mol و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی خطر غذایی فلزات، مس، روی، آرسنیک، کادمیوم، جیوه و سرب در ماهی تون (*Thunnus thynnus*) پرداختند. ایشان دریافتند میزان آرسنیک با میزان مجاز ارائه‌شده توسط کمیته مشترک سازمان بهداشت جهانی و سازمان خوار و بار جهانی در محدوده ایمن قرار داشت. در داخل کشور نیز تحقیقات در زمینه بررسی غلظت فلز آرسنیک بر روی ماهیان پرورشی به‌ندرت انجام شده است. که در این زمینه مطالعه عسگری‌ساری و محمدی (۱۳۹۴) به بررسی غلظت آرسنیک در ماهیان پرورشی در اهواز و شهرکرد پرداختند و تفاوت معنی‌داری بین غلظت آن در بافت کبد و عضله مشاهده کردند. Fallah و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی غلظت فلزات سنگین ازجمله آرسنیک در ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان پرورشی و وحشی پرداختند. ایشان دریافتند تفاوت معنی‌داری در میزان غلظت فلزات سنگین در قزل آلای پرورشی و وحشی وجود دارد. ماهی قزل آلای رنگین‌کمان مهم ترین گونه سرد آبی پرورشی در ایران است که میزان پرورش آن در سال۱۳۹۳برابر با ۲۴۶۷۶۹هزار قطعه بوده است که بالاترین میزان پرورش ماهی سالانه در کشور را دارد، علاوه بر این سرانه مصرف ماهی در کشور ۹/۲ کیلوگرم می‌باشد (سالنامه آمار شیلات ایران، ۱۳۹۳). به‌دلیل توریست‌پذیر بودن منطقه مورد مطالعه و فعالیت‌های کشاورزی و استفاده از آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی حاوی ارسنیک، بیماری VHS از سال ۹۳ در مجتمع‌های پرورش ماهی مشاهده شده است. بنابراین به‌موازات افزایش مصرف این منابع، اهمیت بهداشتی و سلامتی ماهیان نیز بیش‌تر می‌گردد و به‌علت فرآیند بیولوژیکی و تجمع زیستی، تشخیص و اندازه‌گیری آن اهمیت زیادی دارد. پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت آرسنیک، در دو بافت کبد و عضله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در دو حوضچه پرورش ماهی واقع در شهرستان‌های مریوان و سنندج که تأمین‌کننده ماهی مصرفی منطقه هستند، انجام شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده‌های مطالعاتی شامل دو حوضچه پرورش ماهی است که در دو روستای ننله در شهرستان سنندج و دیوزناو در شهرستان کامیاران واقع شده‌اند. روستای ننله در ″۱/۵۹ ′۱ °۴۷ طول شرقی و ″۳۲ ′۱۰/۲۲ °۳۵ عرض شمالی (حوضچه ۱) واقع شده و روستای دیوناو در ″۵۵/۱۲ ′۳۱ °۴۶ طول شرقی و ″۴۱/۵ ′۶ °۳۵ عرض شمالی (حوضچه ۲) قرار دارد. حوضچه ننله از رودخانه یا سد قشلاق سنندج و حوضچه دیوزناو از رودخانه سیروان تأمین می‌گردد که در مابین شهر کامیاران و اورمانات واقع شده است. مجتمع پرورش ماهی پالنگان (شامل محدوده مطالعاتی) ۵۴ مزرعه داشته و سالانه بیش از هزار تن ماهی قزل‌آلا در این مزارع تولید می‌شود (خبرگزاری ایرنا، ۱۳۹۳).

تعداد ۳۰ قطعه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان به‌صورت تصادفی از هر حوضچه ماهی برداشت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه ابتدا با آب دیونیزه شست‌وشو و سپس طول چنگالی و وزن ماهی‌ها به‌ترتیب به‌وسیله تخته زیست‌سنجی با دقت ۱ میلی‌متر و ترازوی دیجیتال با دقت ۱ گرم اندازه‌گیری شدند. مقدار ۲۰ گرم از هر دو بافت کبد و عضله (عضله سفید ساقه دمی ماهی) از نمونه‌های ماهی جدا و در آون با دمای ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت خیس گردید. سپس نمونه‌های تر شده به دستگاه دسیکاتور انتقال داده و پس از رسیدن به وزن ثابت در هاون چینی تا زمان پودر شدن کامل سائیده شدند. سپس ۰/۵ گرم (وزن تر) از نمونه کاملاً پودر شده ماهی را با افزودن ۵ میلی‌لیتر اسیدنیتریک غلیظ (HNO_3) تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد در حمام التراسونیک حرارت داده شدند تا محلولی کاملاً شفاف برای اندازه‌گیری فلز آرسنیک به‌دست آید (Voegborlo و Akagi، ۲۰۰۷). سوسپانسیون‌های ایجاد شده را با استفاده از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرومتر صاف و محلول صاف شده را به یک بالن مدرج منتقل و به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شدند. برای اندازه‌گیری فلز آرسنیک محلول یکنواخت به‌دست آمده به‌مقدار ۱۰ میکروگرم در لیتر به دستگاه جذب اتمی مدل Phonix 986 تزریق و غلظت فلزات مورد نظر به‌روش کوره کرافیتی برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر اندازه‌گیری شدند و محلول استاندارد از محلول ppm ۱۰۰۰ فلز آرسنیک تهیه شد. حداکثر تعداد محلول استاندارد ۵ محلول است که حاوی غلظت‌های مشخصی از فلز مورد نظر است که در این آزمایش از ۳ محلول استاندارد استفاده شد. بعد از کالیبره کردن دستگاه با محلول استاندارد نمونه‌های اصلی به دستگاه تزریق شدند. هر یک از نمونه‌ها سه بار توسط دستگاه مکیده شد که هربار میزان غلظت فلز در نمونه ثبت شد. پس از میانگین‌گیری فلز توسط اتم‌های عنصر مورد نظر پس از تزریق نمونه به‌داخل کوره توسط دستگاه داده شد. سپس از روش منحنی درجه‌بندی براساس ترتیب استانداردها و قرائت میزان جذب آن‌ها کالیبراسیون انجام شد. سپس از روی درجه خوانده شده و با مراجعه به منحنی استاندارد رسم شده به‌روش حداقل مربعات، غلظت جسم مجهول مشخص شد. در نهایت میزان ریکاوری فلز آرسنیک ۸۶ درصد به‌دست آمد. تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام پذیرفت. ابتدا تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال توسط آزمون کلموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این‌که داده‌ها از توزیع نرمال پیرونی کردند به‌منظور مقایسه غلظت آرسنیک در کبد و عضله و مقایسه غلظت این فلز در دو حوضچه پرورش ماهی از آزمون تی- مستقل استفاده شد. هم‌چنین جهت بررسی ارتباط میان غلظت فلز آرسنیک با طول چنگالی و طول بدن از شاخص همبستگی پیرسون استفاده شد. برای محاسبه شاخص خطر (HQ) ابتدا باید مصرف روزانه محاسبه شود. مصرف روزانه (ADD) با استفاده از روش آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA، ۲۰۰۵)از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$ADD = Cm * DCfish / BW$$

طبق رابطه فوق ADD: مصرف روزانه بر حسب میکروگرم بر گرم در روز، Cm: میانگین فلز سنگین بر حسب میکروگرم برگرم، DCfish: مصرف روزانه بر حسب گرم در روز (۲۵ گرم در روز)(سالنامه شیلات ایران، ۱۳۹۳)، BW: میانگین وزن بدن افراد بر حسب کیلوگرم (۷۰ کیلوگرم برای یک فرد بالغ و ۱۴ کیلوگرم برای کودکان) می‌باشد.

شاخص خطر (HQ) با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که طبق آن اگر بیش از یک باشد خطر مصرف وجود دارد و اگر کم‌تر از یک باشد، خطر وجود ندارد:

$$HQ = ADD / RFD$$

مقدار در مواجهه (RFD) برای فلز آرسنیک طبق استاندارد USEPA (۲۰۰۵) ۰/۰۰۰۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز می‌باشد. مقدار مجاز مصرف روزانه ماهی با توجه به‌میزان فلز آرسنیک در مطالعه حاضر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CR = (RFD*BW) / Cm$$

طبق رابطه فوق CR: حداکثر میزان مجاز مصرف در روز بر حسب گرم در روز، Cm: میانگین غلظت فلز مورد مطالعه برحسب میکروگرم بر گرم می‌باشد.

نتایج

نتایج نشان داد غلظت فلز آرسنیک بین دو بافت کبد و عضله دارای تفاوت معنی‌داری بود ($p<0/05$). به‌طوری‌که غلظت این فلز در بافت کبد بیش‌تر از بافت عضله ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان بود (جدول ۱).

جدول۱: غلظت آرسنیک در بافت عضله و کبد ماهی قزل‌آلا رنگین کمان با استفاده از آزمون تی مستقل(میکروگرم برگرم وزن تر)

بافت	حداکثر	حداقل	میانگین ±انحراف معیار
کبد	۵۰/۱۲	۱۲/۳۳	۲۸/۱۶ ±۸/۲۴a
عضله	۲۲/۳۲	۱۱/۰۴	۱۵/۶۸ ±۲/۷۶b

حروف انگلیسی متفاوت در ستون نشانه تفاوت معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ است.

نتایج آزمون همبستگی بین غلظت فلزات سنگین هر بافت با طول چنگالی و وزن کل در جدول ۲ نشان داده شده است. به این ترتیب، رابطه بین طول چنگالی و وزن کل با غلظت فلز آرسنیک در هر دو بافت کبد و عضله همبستگی قوی و مثبتی وجود دارد ($p=0/0001$).

جدول۲: نتایج تحلیل همبستگی پیرسون بین غلظت فلزات سنگین هر بافت با طول چنگالی (میلی‌متر) و وزن کل (گرم)

فلز	بافت	طول چنگالی		وزن کل	
		R	P_Value	r	P_Value
آرسنیک	کبد	۰/۵۲۴**	۰/۰۰۰۱	۰/۶۹۷**	۰/۰۰۰۱
	عضله	۰/۴۷۴**	۰/۰۰۰۱	۰/۵۵۹**	۰/۰۰۰۱

**همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

هم‌چنین نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلز آرسنیک در اندام‌های مورد مطالعه بین دو حوضچه پرورش ماهی نشان داد، میزان فلز مورد مطالعه در کبد و عضله ماهی قزل آلای رنگین کمان بین دو حوضچه پرورش ماهی فاقد تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۳). با توجه به نتایج مربوط به محاسبه شاخص خطر، این شاخص با مقدار ۱۸/۶ برای بزرگسالان (۷۰ کیلوگرم) و ۹۳/۳۳ برای کودکان (۱۴کیلوگرم)، بیان می‌دارد که برای استفاده ۲۵ گرم در روز ماهی قزل آلای رنگین کمان که به‌عنوان میانگین مصرفی (سالنامه آماری شیلات ایران، ۱۳۹۳) تعیین شده در منطقه مورد مطالعه خطر مصرف وجود دارد. طبق نتایج مقدار حداکثر مصرف مجاز روزانه ۱/۳ گرم برای بزرگسالان و برای کودکان ۰/۲۷ گرم محاسبه شد (جدول ۴). مقایسه غلظت آرسنیک در تحقیق حاضر با استانداردهای بین‌المللی سازمان بهداشت جهانی (WHO، ۱۹۹۶)، آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA، ۲۰۰۰) و سازمان خواروبار کشاورزی (FAO، ۲۰۰۰) نشان می‌دهد، که غلظت فلز مذکور بیش از حد مجاز استانداردهای بین المللی است. هم‌چنین در مقایسه با سایر تحقیقات در این زمینه تفاوت قابل توجهی وجود دارد (جدول ۵).

جدول ۳: غلظت فلز آرسنیک در بافت‌های کبد و عضله به تفکیک حوضچه پرورش ماهی با استفاده از آزمون تی مستقل (میکروگرم بر گرم وزن تر)

مکان	کبد (میانگین± انحراف معیار)	عضله (میانگین± انحراف معیار)
حوضچه پرورش ماهی ۱	۳۸/۲۷ ±۱۰/۳۳	۱۶/۰۷ ±۲/۶۳
حوضچه پرورش ماهی ۲	۲۸/۹۵ ±۵/۴۹	۱۵/۲۹ ±۲/۸۷

جدول ۴: مقادیر شاخص خطر و حداکثر میزان مجاز مصرف مجاز روزانه ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان

رده سنی	میانگین غلظت فلز در عضله برحسب میکروگرم بر گرم	مصرف روزانه (ADD) برحسب میکروگرم بر گرم در روز	شاخص خطر (HQ)	حداکثر مصرف مجاز روزانه (CR) بر حسب گرم
بزرگسالان(۷۰کیلوگرمی)	۱۵/۶۸	۰/۰۰۵۶	۱۸/۶	۱/۳
کودکان(۱۴کیلوگرمی)	۱۵/۶۸	۰/۰۲۸	۹۳/۳۳	۰/۲۷

جدول ۵: مقایسه غلظت فلز آرسنیک در کبد و عضله ماهیان با استانداردهای بین المللی و مطالعات دیگر(میکروگرم بر گرم)

نوع ماهی	کبد	عضله	منبع
-	-	۰/۰۱	WHO، ۱۹۹۶
-	-	۱/۲	USEPA، ۲۰۰۰
-	-	۰/۱	FAO، ۲۰۰۰
Tilapia mossambicus تیلاپیا موزامبیکی	۹	۲/۳	Shah و همکاران، ۲۰۰۹
Coregonus clupeaformis کپور نقره ای	۱/۰۷	۰/۷۷	De Rosemond و همکاران، ۲۰۰۸
Oncorhynchus mykiss قزل‌آلای رنگین‌کمان	-	۲/۳۲	Harkabusova و همکاران، ۲۰۰۹
Oncorhynchus mykiss قزل‌آلای رنگین‌کمان	۰/۲۶	۰/۲۲	عسگری‌ساری و محمدی، ۱۳۹۴
Oncorhynchus mykiss قزل‌آلای رنگین‌کمان	۳/۵۴	۰/۹۳	Fallah و همکاران، ۲۰۱۱
Oncorhynchus mykiss قزل‌آلای رنگین‌کمان	۲۸/۱۶	۱۵/۶۸	تحقیق حاضر

بحث

با افزایش تقاضا برای مصرف ماهی‌های پرورشی بررسی سلامت آن‌ها اهمیت زیادی دارد. در مطالعه حاضر غلظت فلز آرسنیک به‌دلیل اهمیت سمیت و سرطان‌زایی آن در دو بافت کبد و عضله ماهی قزل آلای رنگین‌کمان پرورشی مورد بررسی قرار گرفت. میان غلظت این فلز در دو حوضچه پرورش ماهی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با توجه به این‌که نوع ماهی و شرایط تغذیه‌ای و اکولوژیکی در این حوضچه‌ها یکسان بوده، این امر می‌تواند توجیهی در معنی‌دار نبودن تفاوت حوضچه‌ها باشد. در مطالعات محققان دلایلی برای معنی‌دار بودن غلظت فلزات سنگین عنوان کرده‌اند که می‌توان به شرایط محیطی، کیفیت آب، نوع ماهی، بافت‌های مورد بررسی و روش‌های متفاوت آزمایشگاه اشاره نمود (میرسنجری و همکاران، ۱۳۸۰). بافت کبد شاخص مناسبی برای در معرض قرار گرفتن طولانی با فلزات سنگین محسوب می‌شود، زیرا این بافت محل متابولیسم فلزات است که می‌تواند نشانگر مناسبی برای آلودگی با فلزات سنگین استفاده شود. بافت عضله نیز به‌دلیل نقش مهمی که در تغذیه انسان دارد و لزوم اطمینان از سلامت آن مورد بررسی قرار می‌گیرد (ولایت‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). نتایج نشان داد، غلظت این فلز بین دو بافت کبد و عضله دارای تفاوت معنی‌داری بود ($P<0/05$). به‌طوری‌که غلظت آرسنیک در بافت کبد بیش از بافت عضله مشاهده شد. توانایی موجودات جهت جذب، تجمع و سم‌زدایی متفاوت است. یکی از اصلی‌ترین مسئله در ارتباط با فلزات سنگین عدم متابولیزه شدن آن‌ها در بدن است. به‌طورکلی تفاوت غلظت فلزات در بافت‌های مختلف ماهی می‌تواند ناشی از تفاوت توان فلزات در غلبه بر پیوندهای فلزی پروتئین نظیر متالوتیوندین‌ها باشد. گونه‌هایی که دارای مقادیر مشخصی از متالوتیوندین‌ها باشند می‌توانند سمیت این

فلزات‌را از بین ببرند (Rao و Padmaja، ۲۰۰۰). این پروتئین غلظت بالایی در کبد برخوردار است (sen و Semiz، ۲۰۰۷). فلزات سنگین اندام هدف خود را براساس میزان فعالیت متابولیک آن انتخاب می‌کنند. کبد جانوران مهم‌ترین محل انجام فرآیندهای سم‌زدایی و محل اصلی تغییر شکل زیستی‌فلزات است. این اندام عمدتاً در معرض فلزات سنگین قرار دارد و این مواد از طریق دستگاه گردش خون یا دستگاه گوارش وارد کبد می‌شوند(Haschekو Rousseaux، ۱۹۹۸؛ Taweel و همکاران، ۲۰۱۳). هم‌چنین کبد به‌دلیل نقشی که در تجمع، انتقال زیستی و دفع آلاینده‌ها دارد، معمولاً میزان فلزات در آن بالا است (Visnjic-Jeftic و همکاران، ۲۰۱۰؛ Uysal و همکاران، ۲۰۰۸). کبد در ابتدا فلزات را از پلاسمای خون استخراج، در خود ذخیره و سپس آن‌ها را به ترکیبات ساده‌تر و بی‌خطر تجزیه می‌کند و از طریق دستگاه گردش خون در بدن پخش می‌کند و مواد غیرضروری را به‌وسیله جریان خون به صفرا منتقل می‌کند (Bla´zovics و همکاران، ۲۰۰۲). در ارتباط با عضله نیز غلظت فلزات‌در این بافت بسته به‌موارد متفاوت است‌یک زمان‌کم و یک زمان خیلی بیش‌تر می‌باشد اما معمولاً دارای کم‌ترین میزان غلظت فلزات است (مشروفه و همکاران، ۱۳۹۱). طبق نظر محققان، در کبد و عضله، پروتئین‌هایی ازجمله متالوتیونین‌ها مسئول‌حذف‌و خنثی‌سازی عناصر فلزی و آثار سمی آن‌هاست، زیرا پروتئین‌های دیگری در داخل سلول نقش آنتی‌اکسیدانی غیرآنزیمی ازجمله گلوتاتیون را بازی می‌کنند (Rao و Padmaj، ۲۰۰۰). علاوه بر این، به‌دنبال افزایش وزن و طول جانور و به تبع آن سازگاری موجود با محیط زیست، از غلظت این فلزات درعضلات کاسته و بر میزان آن‌ها در امعا و احشا افزوده می‌شود (Freedman، ۱۹۸۹). بنابراین، موارد بیان شده از دلایل مهم بالا بودن میزان‌فلزات موردمطالعه در کبد نسبت به عضله ماهی قزل‌آلای رنگین کمان در تحقیق حاضر بود. این موضوع با مطالعات Harkabusova و همکاران (۲۰۰۹)، Fallah و همکاران (۲۰۱۱)، Svobodova و همکاران (۲۰۰۲) و عسگری‌ساری‌ومحمدی(۱۳۹۴) که بر روی غلظت آرسنیک درقزل‌آلای‌رنگین‌کمان انجام شده مطابقت دارد. هم‌چنین با مطالعاتی که با بررسی فلز مذکور بر روی دیگر گونه‌های ماهی انجام شده مانند مطالعات Shahو همکاران(۲۰۰۹)و De Rosemondو همکاران (۲۰۰۸) مطابقت دارد. نتایج آزمون همبستگی میان غلظت فلزات سنگین با طول چنگالی و وزن کل نشان داد که آرسنیک در هر دو بافت کبد و عضله همبستگی معنی‌داری قوی و مثبتی وجود دارد. میزان تجمع فلزات معمولاً با افزایش وزن و طول بدن افزایش می‌یابد (Lenung و همکاران، ۲۰۱۴ ؛pourang و همکاران، ۲۰۰۵). ارتباط بین غلظت فلزات با وزن و طول بدن دلایلی ازجمله سرعت متابولیسم و سرعت رشد بافت‌ها هم‌چنین عادات تغذیه‌ای درطول‌دوره‌رشدعنوان کرده‌اند (Lenung و همکاران، ۲۰۱۴؛ pourang و همکاران، ۲۰۰۵). از طرفی تجمع فلزات سنگین بستگی به سبک زندگی گونه‌ها، عادات تغذیه‌ای و ذخیره زیستی آن‌ها دارد (Mendil و Uluozlu، ۲۰۰۷). این نتایج با مطالعات Svobodova و همکاران (۲۰۰۲) و عسگری‌ساری و محمدی (۱۳۹۴) که بر روی ماهی قزل‌آلای رنگین‌کمان در ارتباط بین غلظت فلزآرسنیک‌با وزن بدن انجام شده، مطابقت داشته به‌طوری‌که اختلاف معنی‌داری بین وزن بدن با غلظت آرسنیک مشاهده کردند ($p<0/05$). با مطالعه چاکری و همکاران (۱۳۹۴) که بر روی ماهی طلال (*Rastrelliger kanagurta*) با بررسی ارتباط میان وزن بدن و طول کل با غلظت سرب و کادمیوم انجام شده است، هم‌خوانی ندارد. به طوری‌که از لحاظ عنصر سرب و کادمیوم درکبد و عضله ماهی طلال دربین مناطق (بندرلنگه، هرمز، هنگام و کلاهی) از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود ندارد. ارزیابی خطرات غذایی فلزات سنگین را می‌توان به‌وسیله‌محاسبه‌شاخص خطر مصرف برآورد کرد (رومیانی و همکاران، ۱۳۹۵). میزان برآورد شاخص خطر برای فلز آرسنیک بیش از یک به‌دست آمد که می‌تواند نشان‌دهنده این مطلب باشد که مصرف ماهی قزل‌آلا مورد مطالعه با نرخ کنونی مصرف (۲۵ گرم در روز) برای مصرف‌کنندگان آن‌ها در این مناطق خطرات آشکاری را به‌همراه دارد (جدول ۴). در واقع میزان شاخص خطر بیش‌تر از یک حاکی از آن است که افراد مصرف‌کننده دراثر مصرف ماهی قزل‌آلا رنگین‌کمان در معرض میزان بیش‌تری از دز مواجهه (RFD) قرار گرفته‌اند و میزان جذب روزانه فلز آرسنیک برای سلامتی آن‌ها اثرات مضری را در طول عمر خواهد داشت. حد مجاز مصرف این ماهی به‌میزان ۱/۳ گرم در روز برای بزرگسالان و ۰/۲۷ گرم در روز برای کودکان محاسبه شد. با این وجود میزان برآورد شاخص خطر یک میزان نسبی و محافظه‌کارانه است که می‌تواند تا حدودی امکان وجود خطر را برای ما آشکار کند و به‌عنوان یک شاخص مناسب مورداستفاده قرار گیرد (Yi و همکاران، ۲۰۱۱). مطالعات مختلفی تاکنون به بررسی میزان جذب روزانه فلزات در اثر مصرف ماهی پرداخته‌اند.رومیانی‌وهمکاران (۱۳۹۵) در تحقیقی که‌به‌بررسی‌ارزیابی‌خطر فلزات سنگین‌جیوه،سرب،کادمیوم‌وآرسنیک در‌دوگونه‌ماهی‌شیربت(*Tor grypus*)وسیاه‌ماهی(*Capoeta capoeta*) در رودخانه حله بوشهر پرداختند، شاخص خطر مصرف برای افراد بالغ ۱ بوده و برای کودکان‌بیش‌تراز ۱ به‌دست‌آمد.به‌این‌ترتیب خطر مصرف متوجه‌کودکان‌می‌باشد.هم‌چنین‌در مطالعه کلانی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی فلزات سنگین (آرسنیک، سرب، کادمیوم، کروم و نیکل)در عضله کفال باریک (*Liza saliens*) پرداختند و ایشان شاخص خطر مصرف را برای آرسنیک کم‌تر از ۱ به‌دست آوردند اما برای فلز سرب و کادمیوم بیش از ۱ به‌دست آمد. به این ترتیب خطر مصرف از جهت فلز آرسنیک در این مطالعه وجود ندارد. بامقایسه میزان غلظت فلزات

سنگین آرسنیک در تحقیق حاضر با حد استاندارد WHO، USEPA و FAO نشان داد، غلظت این فلز بیش از حد مجاز است. این موضوع باید مورد توجه متولیان امر قرار گیرد و دلیل آن را در کیفیت آب، کیفیت خاک، آلودگی غذایی که به ماهی داده می‌شود، جویا شد.

منابع

۱. **چاکری، ر.؛ سجادی، م.م.؛ کامرانی، ا. و آقاجاری، ن.، ۱۳۹۴.** تعیین میزان غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در عضله و کبد ماهی طلالی (*Rastrelliger kanagurta*) در آب خلیج فارس. مجله علمی شیلات ایران. سال ۲۴، شماره ۲، صفحات ۱۱۵ تا ۱۲۵.

۲. **خبرگزاری ایرنا. ۱۳۹۳.** تعطیلی مجتمع پرورش ماهی پالنگان زنگ خطری برای گردشگری منطقه سنندج. کد خبر: ۸۱۲۲۸۰۴۴.

۳. **سالنامه آماری سازمان شیلات ایران ۱۳۹۰-۱۳۸۰. ۱۳۹۱.** سازمان شیلات ایران معاونت برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت، دفتر برنامه و بودجه. ۶۰ صفحه.

۴. **سالنامه آماری سازمان شیلات ایران. ۱۳۹۳.** سالنامه آماری سازمان شیلات ایران معاونت برنامه‌ریزی و توسعه مدیریت، دفتر برنامه و بودجه. تهران. چاپ اول. ۶۴ صفحه.

۵. **عادلی، ا.، ۱۳۹۳.** تحلیل بازار عرضه قزل‌آلای رنگین‌کمان در ایران و جهان. مجله شیلات دانشگاه آزاد اسلامی واحد آزادشهر. سال ۸، شماره ۱، صفحات ۱۱۸ تا ۱۱۱.

۶. **عسگری‌ساری، ا. و محمدی، م.، ۱۳۹۴.** بررسی و مقایسه فلز آرسنیک در عضله و کبد ماهیان پرورشی کپورنقره‌ای، کپور معمولی، کپور علفخوار، کپور سرگنده و قزل‌آلای رنگین‌کمان در اهواز و شهرکرد. فصلنامه اکوبیولوژی تالاب. سال ۶، شماره ۲۳، صفحات ۶۹ تا ۷۶.

۷. **مشروفه، ع.ر.؛ ریاحی‌بختیاری، ع.ر. و پورکاظمی، م.، ۱۳۹۱.** بررسی میزان فلزات کادمیوم، نیکل، وانادیوم و روی در بافت‌های مختلف فیل ماهی ازون برون و ریسک ناشی از مصرف بافت عضلانی آن‌ها مربوط به حوزه جنوبی دریای خزر. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. دوره ۹۶، صفحات ۹۰ تا ۹۷.

۸. **ندافی، ک.؛ نبی‌زاده، ر.؛ یونسیان، م.؛ جاهد، غ.ر. و بیکی، ا.، ۱۳۸۵.** استفاده از ماهی قزل‌آلا برای سنجش سمیت ناشی از آرسنیک در آب. مجله آب و فاضلاب. شماره ۵۸، صفحات ۶۱ تا ۶۹.

۹. **ولایت‌زاده، م.؛ عسکری‌ساری، ا.؛ بهشتی، م.؛ محجوب، ث. و حسینی، م.، ۱۳۹۲.** اندازه‌گیری فلزات سنگین (کادمیوم، جیوه، روی، نیکل، قلع و آهن) در کنسرو تون ماهیان. مجله پژوهش‌های جانوری. جلد ۲۶، شماره ۴. صفحات ۴۹۸ تا ۵۰۶.

۱۰. **میرسنجری، م.؛ غلامی، ز. و نگهبان، م.، ۱۳۸۰.** بررسی اثرات آلودگی فلزات سنگین (جیوه وسرب) بر روی آبزیان دریای مازندارن، چهارمین همایش ملی بهداشت محیط، یزد، دانشگاه علوم پزشکی یزد.

۱۱. **Al Bakheet, S.A.; Attafi, I.M.; Maayah, Z.H.; Abd-Allah, A.R.; Asiri, Y.A. and Korashy, H.M., 2013.** Korashy, 544 Effect of long-term human exposure to environmental heavy metals on the expression of 545 detoxification and DNA repair genes, Environment Pollution. Vol. 181, pp: 226-232.

۱۲. **Bosch, A.C.; O'Neill, B.; Sigge, G.O.; Kerwath, S.E. and Hoffman, L.C., 2016.** Heavy metals in marine fish meat and consumer health. J. Sci. Food Agric. Vol. 96, pp: 32-34.

۱۳. **Bla´zovics, A.; Abaza, M.; Si´pos, P.; Szemtmiha´lyi, K.; Fehe´r, E. and Szila´gyi, M., 2002.** Biochemical and morphological changes in liverand gallbladder bile of broiler chicken exposed to heavy metals (cadmium, lead, mercury). Trace Elements and Electrolytes. Vol. 19, No. 1, pp: 42-47.

۱۴. **De Rosemond, S.; Xie, Q. and Liber, K., 2008**. Arsenic concentration and speciation in five freshwater fish species from Back Bay near Yellowknife, NT, Canada. Environmental Monitoring & Assessment. Vol. 147, pp: 199-210.

۱۵. **Food and Agriculture Organization. 2000.** Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products. FAO Fishery Circular. No. 464, pp: 5-10.

۱۶. **El-Moselhy, Kh.M.; Othman, A.I.; Abd El-Azem, H. and El-Metwally, M.E.A., 2014**. Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of fish in the Red Sea, Egypt Egyptian journal of Basic and Applied sciences. Vol. 30, pp: 1-9.

۱۷. **Fallah, A.A.; Siavash, S.; Dehkordi, S.; Nematollahi, A. and Jafari, T., 2011**. Comparative study of heavy metal and trace element accumulation in edible tissues of farmed and wild rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) using ICP-OES technique. Micro chemical Journal. Vol. 98, pp: 275-279.

۱۸. **Freedman, B., 1989**. Environmental Ecology. The impact of pollution and other stresses on ecosystem structure and function. Academic press, London.

۱۹. **Hajeb, P.; Jinap, S.; Ismail, A.; Fatimah, A.B.; Jamilah, B. and Abdul Rahim, M., 2009.** Assessment of mercury level in commonly consumed marine fishes in Malaysia. Food Control. Vol. 20, pp: 79-84.

۲۰. **Haschek, W.M. and Rousseaux, C.G., 1998**. Fundamentals of Toxicological Pathology. Academic Press, San Diego, California, USA.

۲۱. **Harkabusova, V.; Macharackova, B.O.; Celechovska, O. and Vitoulova, E., 2009**. Determination of Arsenic in the Rainbow Trout Muscle and Rice Samples. Czech Journal Food Sciences. Vol. 27, pp: 404-406.

۲۲. **Mendil, D. and Uluozlu, O.D., 2007.** Determination of trace metal levels in sediment and five fish species from lakes in Tokat, Turkey. Food Chemistry. Vol. 101, No. 2, pp:739-745.

۲۳. **Mol, S.; Karakulak, F.S. and Ulusoy, S., 2017**. Potential health risks due to heavy metal uptake via consumption of *Thunnus thynnus* from the northern Levantine Sea. Toxin Reviews. pp: 1-6.

۲۴. **Leung P.T.Y.; Ip, J.C.H.; Mak, S.S.T.; Qiu, J.W.; Lam, P.K.S. and Wong, C.K.C., 2014.** De novo transcriptome analysis of *Perna viridis* highlights tissue-specific patterns for environmental studies. BMC Genomics. Vol. 15, pp: 804-810.

۲۵. **Rao, L.M. and Padmaja, G., 2000**. Bioaccumulation of heavy metals in M. cyprinoids from the harbor waters of Visakhapatnam. Bulletin of Pure and Applied Sciences: Section E. Mathematics and Statistics. Vol. 19, pp: 77-85.

۲۶. **Pourang, N.; Nikouyan, A. and Dennis, J.H., 2005.** Trace element concentrations in fish, surficial sediments and water from northern part of the Persian Gulf. Environmental Monitoring and Assessment. Vol. 109, pp: 293-316.

۲۷. **Qin, D.; Jiang, H.; Bai, S.; Tang, S. and Mou, Z., 2015**. Determination of 28 trace elements in 3 farmed cyprinid fish species from northeast China. Food Control. Vol. 50, pp: 1-8.

۲۸. **Sen, A. and Semiz, A., 2007.** Effects of metals and detergents on biotransformation and detoxification enzymes of leaping mullet (*Liza saliens*). Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 68, pp: 405-411.

۲۹. **Svobodova, Z.; Celechovska, O.; Machova, J. and Randak, T., 2002.** Content of arsenic in market–ready rainbow trout. Acta Vet. Brno. Vol. 71, pp: 361-367.

۳۰. **Shah, A.Q.; Kazi, T.G.; Muhammad Balal Arain, M.B.; Jamali, M.K.; Afridi, H.I.; Jalbani, N.; Baig, J.A. and Kandhro, Gh. A., 2009.** Accumulation of arsenic in different fresh water fish species- potential contribution to high arsenic intakes. Food Chemistry. Vol. 112, pp: 520-524.

۳۱. **Taweel, A.; Shuhaimi-Othman, M. and Ahmad, A.K., 2013.** Assessment of heavy metals in tilapia fish from the Langat River and Engineering Lake in Bangi, Malaysia, and evaluation of the health risk from tilapia consumption. Ecotoxicology. Environ. Saf. Vol. 93, pp: 45-51.

۳۲. **United States Environmental Protection Agency. 2000.** Guidance for Assessing Chemical Contaminant, Data for Use in Fish Advisories, third ed., vol. 2. Risk assessment and fish consumption limits, Washington, DC.

۳۳. **Uysal, K.; Emre, Y. and Köse, E., 2008.** The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry in Beymelek Lagoon (Antalya/Turkey), Microchem. J. Vol. 90, pp: 67-70.

۳۴. **WHO (World Health Organization). 1996.** Health criteria other supporting information. In: Guidelines for Drinking Water Quality, 2nd ed. Vol. 2, pp: 331-388.

۳۵. **Visnjic-Jeftic, Z.; Jaric, I.; Jovanovic, L.; Skoric, S.; Smederevac, L.M.; Nikcevic, M. and Lenhardt, M., 2010.** Heavy metal and trace element accumulation in muscle, liver and gills of the Pontiac shad from the Danube River (Serbia), Microchem. J. Vol. 95, pp: 341-344.

۳۶. **Young, G.J. and Bleins, RD., 1981**. Heavy metal concentrations in the Holston River Basin (Tennessee). Environment Contain Toxicology. Vol. 80, pp: 528-500.

۳۷. **Yi, Y.; Yang, Z. and Zhang, S., 2011**. Ecological risk assessment of heavy metals in sediment and human health risk assessment of heavy metals in fishes in the middle and lower reaches of the Yangtze River basin. Environmental Pollution. Vol. 159, pp: 2575-2585.