

تعیین نرخ مجاز مصرف ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*Oncorhynchus*

mykiss) از نظر فلزات سنگین در رودخانه‌های شهر خاش

ساناز خمر*؛ سید مهدی حسینی^۱ و آرش خوشنودفر^۲

۱- دکتری مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

۲- عضو هیات علمی، دانشکده گیاهان دارویی دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل

۳- کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۹۹/۰۲/۲۸- تاریخ پذیرش ۹۹/۰۵/۰۵)

چکیده:

فلزات سنگین به عنوان یکی از گروه‌های اصلی آلاینده‌های محیط آبی، در اثر فعالیت‌های طبیعی و انسانی به محیط آبی راه می‌یابند. این فلزات ممکن است در بدن موجودات آبی، از جمله ماهی تجمع یابند و خطر بالقوه برای سلامتی اکوسیستم و موجودات زنده و بخصوص برای انسان محسوب گردند. در مطالعه حاضر، میزان غلظت فلزات سنگین (روی، مس، سرب و نیکل) در بافت عضله ماهی قزل آلاهی رنگین کمان (*Oncorhynchus mykiss*) در سه ایستگاه (دهپایید، بیداستر و اسکل آباد) شهر خاش در بهار ۱۳۹۸ مورد سنجش قرار گرفت. پس از آماده‌سازی و هضم شیمیایی بافت ماهی، میزان فلزات سنگین مورد مطالعه به وسیله دستگاه جذب اتمی تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد بالاترین میزان تجمع به ترتیب مربوط به روی <مس< سرب <نیکل در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه است. میانگین میزان تجمع فلزات سنگین با استانداردهای بین‌المللی WHO، FDA، NHMRC، FAO، UKMAFF و USEPA مقایسه شد. میزان سمیت فلزات سنگین مس، روی و سرب پایین تر از غلظت مجاز استانداردهای بین‌المللی بوده است. طبق نتایج تنها فلز نیکل نزدیک به میزان حد مجاز با استاندارد WHO در نمونه‌های بیداستر و اسکل آباد بود که نشان می‌دهد باید کنترل بیشتری بر روی منابع تولیدکننده این فلز در اطراف مناطق مورد نظر انجام داد. همچنین میزان جذب روزانه (EDI) فلزات مورد مطالعه برای مصرف کنندگان کودک و بزرگسال، پایین تر از دوز مرجع تعیین شده توسط سازمان EPA و مصرف قابل تحمل (TI) ارائه شده توسط سازمان FAO/WHO به دست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد مصرف ماهی قزل آلاهی رنگین کمان از حیث بهداشتی برای مصارف انسانی مناسب است اما با توجه به خاصیت تجمع زیستی و سمیت فلزات سنگین، مطالعات ارزیابی ریسک و تعیین نرخ مجاز مصرف ماهی با در نظر گرفتن همه مسیرهای مواجهه با آن در این مناطق ضروری به نظر می‌رسد.

کلید واژگان: فلزات سنگین، ماهی قزل آلاهی رنگین کمان، میزان جذب روزانه، ارزیابی ریسک

۱. مقدمه

نیز گاهی منجر به مرگ می‌شود (Mukherjee *et al.*, 2006). مقادیر بیش از حد فلز روی منجر به صدمه سیستم گوارش، غدد درون‌ریز، سیستم خون‌سازی و بافت پوست می‌گردد و علائمی چون سردرد، از دست دادن آب بدن، درد در ناحیه شکم، حالت تهوع و سرگیجه را به دنبال خواهد داشت (Lashkari Moghadam *et al.*, 2008). از عوارض مسمومیت با نیکل می‌توان به سردرد، بی‌خوابی، تهوع، سرگیجه، التهاب پوست، سرطان ریه و پروستات اشاره نمود (Dallinger *et al.*, 1987). سرب یک نوروٹوکسین است که باعث بروز نقایص رفتاری می‌شود و می‌تواند سبب کاهش بقاء، میزان یادگیری و متابولیسم شود (Eisler, 1985). ماهی قزل آلابی رنگین کمان از خانواده آزاد ماهیان (*Salmonide*) با نام علمی *Onchorhynchus mykiss* و یک گونه غیر بومی برای آب‌های ایران است. این ماهی از قابلیت سازگاری و مقاومت بالایی در برابر تغییرات محیطی برخوردار است. همچنین این گونه ماهی در شرایط طبیعی در رودخانه‌ها و دریاچه‌های سرد و خنک زیست می‌کند و برای تولید مثل به مناطق بالا دست رودخانه‌ها مهاجرت می‌کند. تغذیه قزل آلابی به طور طبیعی از لارو حشرات، حشرات آبی، ماهیان ریز و سایر موجودات مستقر در رودخانه‌ها صورت می‌پذیرد. بنابراین این گونه پتانسیل بیشتری در تجمع آلاینده‌ها از جمله فلزات سنگین دارد. این امر به خوبی شناخته شده است که عضلات مکان فعالی برای انتقال زیستی و انباشت فلزات نیستند. از آنجایی که در زیستگاه‌های آبی آلوده، غلظت فلزات در عضلات ماهی ممکن است از محدوده مجاز برای مصرف انسان تجاوز کند، به همین دلیل عضله به عنوان مهم‌ترین بخش از موجود زنده به منظور ارزیابی پتانسیل خطر و تعیین نرخ مجاز

اکوسیستم‌های آبی در معرض آلودگی‌های زیست محیطی مختلفی نظیر ترکیبات آلی، ترکیبات نفتی، سموم علف‌کش، آفت‌کش و فلزات سنگین هستند که در اثر فعالیت‌های طبیعی و نیز به طور عمده در اثر فعالیت‌های انسانی به محیط‌های آبی راه می‌یابند (Coulibaly *et al.*, 2012). در این میان، فلزات سنگین به‌علت اثرات سمی، پایداری، توان تجمع‌پذیری و نیز جذب آسان در گونه‌های آبی، مورد توجه بیشتری قرار گرفته‌اند (Turkmen & Ciminli, 2007). در واقع فلزات سنگین تجزیه نمی‌شوند و پس از ورود به اکوسیستم‌های آبی در بدن آبزیان تجمع یافته و در جریان چرخه‌های زیستی به سطوح غذایی بالاتر و در نهایت به انسان منتقل می‌شود (Ismail, 2012). از آنجایی که ماهیان قسمت عمده‌ای از رژیم غذایی انسان می‌باشند، به همین دلیل در بسیاری از مطالعات، آلودگی بافت‌های مختلف ماهی به‌وسیله فلزات مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین احتمال قرار گرفتن انسان در معرض مواد شیمیایی مضر مانند فلزات سنگین از طریق مصرف ماهیان اجتناب‌ناپذیر است (Storelli *et al.*, 2010). بر اساس گزارش FAO، میزان سرانه مصرف آبزیان در دنیا ۱۷ کیلوگرم اعلام شده است که ۷/۷ کیلوگرم مربوط به مصرف سرانه آبزیان در ایران است (Nachtergaele *et al.*, 2009). هم‌زمان با افزایش مصرف جهانی ماهی به دلیل مزایای تغذیه‌ای و درمانی آن، نگرانی در مورد آلودگی آن افزایش یافته‌است زیرا ماهی می‌تواند با طیف وسیعی از مواد شیمیایی پایدار در محیط زیست از جمله فلزات سنگین آلوده شود. فلز مس در مقادیر بالا باعث ایجاد بیماری‌هایی از قبیل کم‌خونی، تغییرات در استخوان‌ها، افزایش کلسترول و

محاسبه میزان جذب روزانه مقایسه آن با استانداردهای جهانی انجام شد.

۲. مواد و روش ها

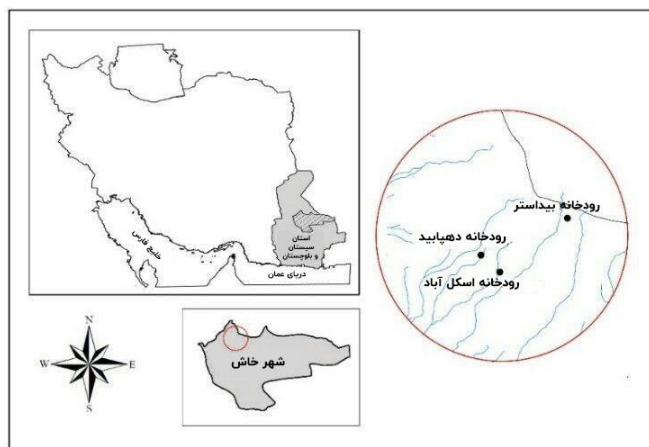
۲-۱. روش نمونه برداری و آنالیز شیمیایی

به منظور بررسی غلظت فلزات سنگین روی، مس، نیکل و سرب نمونه برداری از بافت عضله ماهی قزل آلائی رنگین کمان از سه رودخانه دهپابید، بیداستر و اسکل آباد شهر خاش واقع در جنوب شرق ایران صورت گرفت (شکل شماره ۱ و جدول شماره ۱). تعداد ۴۵ ماهی از ایستگاه‌های مورد بررسی در فصل بهار سال ۱۳۹۸ با قایق و تور گوشگیر صید شدند و تا زمان انتقال به آزمایشگاه جهت آنالیز در یخ نگهداری شدند. نمونه‌های ماهی پس از انتقال به آزمایشگاه با آب مقطر شست‌وشو داده تا پوشش لزج و ذرات خارجی جذب‌کننده فلزات از سطح بدن دفع شود. سپس با استفاده از تیغه استریلیزه شده بافت عضله جدا شد و در فریزر در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا از آسیب آن‌ها جلوگیری شود (Moopam, 1999). تمامی ظروف آزمایشگاهی مورد استفاده، توسط مواد شوینده شسته شد و به مدت ۲۴ ساعت داخل ظرف محتوی اسید نیتریک ۶۵٪ قرار داده شد، سپس مجدداً با آب دو بار تقطیر شستشو و خشک گردید. بافت‌های جدا شده به منظور رسیدن به یک وزن ثابت، در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند تا کاملاً خشک شدند. در مرحله بعد نمونه‌ها با استفاده از هاون پودر شده و تا زمان هضم شیمیایی در داخل کیسه‌های زیپ‌دار کدگذاری شده، قرار گرفتند و در آزمایشگاه در جای تاریک و دور از نور نگهداری شدند. پس از انتقال نمونه‌های ماهی به آزمایشگاه، ۰/۵-۱ گرم از بافت عضله ماهی توسط ترازوی آنالیتیکال با دقت ۰/۰۰۱ توزین و سپس به لوله های آزمایش ۲۵

مصرف ماهی مورد مطالعه قرار گرفت. در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در خصوص اندازه‌گیری فلزات سنگین در بافت عضله ماهیان انجام شده است که می‌توان به ارزیابی خطر فلزات سنگین روی، منگنز، مس، سرب، آرسنیک، نیکل، کروم و کادمیوم در بافت عضله ماهی *Corica soborna* از رودخانه Bangshi بنگلادش (Rahman et al., 2012)، مطالعه مقایسه‌ای تجمع فلزات سنگین در بافت عضله ماهی *Liza macrolepis* در ساحل رودخانه Machilipatnam در هند (Krishna et al., 2014)، بررسی میزان مس، کروم، روی، سرب، آرسنیک، کادمیوم، منگنز، نیکل در بافت عضله ماهی‌های کپور وحشی، کپور بزرگ، کپور علف خوار ساکن اکوسیستم‌های آب‌های شیرین در مرکز و شمال شرقی چین، انباشتگی و ارزیابی خطرات اشاره کرد (Zhong et al., 2018). ایستگاه‌های دهپابید، بیداستر و اسکل آباد از رودخانه‌های با ارزش شهر خاش هستند که سطح بالای آلودگی آن در دهه اخیر، به یکی از دغدغه‌های اصلی مردم و مسئولین تبدیل شده است. متأسفانه هر ساله حجم زیادی از فاضلاب‌های خانگی وارد این رودخانه‌ها می‌شود. فاضلاب‌های شهری و خانگی یک منبع بزرگ تخلیه‌کننده فلزات سنگین به این آب‌ها هستند که معمولاً شامل سطوح بالای از فلزات روی، مس، سرب و نیکل می‌باشند و با توجه به حجم بسیاری که دارند از عمده‌ترین عوامل آلودگی ایستگاه‌های مذکور محسوب می‌شوند. با توجه به این‌که ماهی قزل آلائی رنگین کمان به عنوان منبع پروتئین در دسترس و با قیمت مناسب بوده و بخش عمده‌ای از رژیم غذایی مردم شهر خاش را تشکیل می‌دهد بنابراین این پژوهش به منظور تعیین غلظت روی، مس، نیکل و سرب در بافت عضله این ماهی و

با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شد (Moopam, 1999). در نهایت برای تعیین غلظت فلزات، از دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل (Agilent Technologies-AA200) ساخت کشور ژاپن استفاده گردید. پس از کالیبره نمودن دستگاه با نمونه‌های استاندارد، نمونه‌های اصلی به دستگاه تزریق شد و میانگین جذب آن‌ها توسط دستگاه بر حسب ppm خوانده شد. از هر نمونه ۳ تکرار آماده سازی و آنالیز گردید و میانگین آن‌ها جهت غلظت نهایی در نظر گرفته شد.

میلی لیتری جداگانه منتقل گردید و به مقدار ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک ۶۵٪ به آن اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۴۰ درجه و سپس به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۴۰ درجه روی هات پلت قرار گرفت تا کاملاً هضم شدند. در مرحله بعد، نمونه‌های هضم شده درون لوله فالکون ریخته و درب آن بسته شد و درون یخچال نگهداری گردید. سپس نمونه‌های هضم‌شده، از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرونی عبور داده شد و به داخل بالن ژوژه ۲۵ میلی لیتری جداگانه انتقال داده شد. سپس محلول بالن ژوژه در استوانه مدرج ریخته شده و



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

مختصات جغرافیایی	ایستگاه‌های مورد بررسی	
۶۰°۴۶'۳۲.۲۹۷"E	۲۸°۳۶'۲۹.۹۷۴"N	ایستگاه دهپابید
۶۰°۴۸'۱۵.۲۲۸"E	۲۸°۳۴'۳۰.۶۷۸"N	ایستگاه بیداستر
۲۸°۳۴'۲۶.۴۱۷"N	۶۰°۴۸'۱۸.۹۰۳"E	ایستگاه اسکل آباد

۲-۲. تجزیه و تحلیل آماری

way ANOVA) و آزمون آماره Tukey استفاده

گردید.

۲-۳. تخمین جذب روزانه (EDI) فلزات توسط

افراد مصرف کننده

میزان جذب آلاینده از طریق ماده غذایی (Estimated

Daily Intake) با استفاده از فرمول زیر محاسبه

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ انجام گردید. در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرونوف مورد بررسی قرار گرفت و پس از تایید، برای مقایسه میانگین و اختلاف بین مقادیر فلزات سنگین (روی، مس، نیکل و سرب) از آنالیز واریانس یکطرفه (one

ویژه ای است که طبق مقادیر ارائه شده توسط USEPA، برای سرب ۰/۱۴، روی ۰/۳، مس ۰/۰۴ و نیکل ۰/۰۲ میلی‌گرم برکیلوگرم در روز است (USEPA, 1993).

۳. نتایج

میانگین میزان فلزات سنگین روی، مس، سرب و نیکل در بافت عضله ماهی قزل آلی رنگین کمان در جدول شماره ۲ آورده شده است. بر اساس یافته‌های حاصل از این پژوهش، میانگین فلزات سنگین در بافت عضله ماهی در همه ایستگاه‌های مورد بررسی به صورت روی <مس> <سرب> <نیکل> به دست آمد. مقادیر جذب روزانه (EDI) محاسبه شده در این مطالعه، در جدول شماره ۳ ارائه گردیده است. بیشترین میزان جذب روزانه (EDI) مربوط به فلز روی در کودکان (۵۰/۱۵ میکروگرم در گرم وزن بدن در روز) و کمترین آن مربوط به فلز نیکل در بزرگسالان (۰/۱۰ میکروگرم در گرم وزن بدن در روز) در ایستگاه بیداستر مشاهده شد. همچنین میزان جذب روزانه (EDI) عناصر مس، روی، سرب و نیکل در ماهی مورد مطالعه کمتر از مقادیر مرجع تعیین شده توسط سازمان EPA و مصرف قابل تحمل (TI) ارائه شده توسط کمیسیون مشترک FAO/WHO در سال ۲۰۰۱ بود.

در تحقیق حاضر، بالاترین مقدار مصرف مجاز روزانه (CR_{lim})، برای بزرگسالان و بر اساس فلز سرب (۴۹ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز) در ایستگاه دهپابید و کمترین میزان آن برای کودکان و بر اساس فلز نیکل (۰/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز) در ایستگاه اسکل آباد مشاهده شد که در جدول شماره ۴ آورده شده است.

گردید. با توجه به اینکه ماهی به صورت تر مورد استفاده قرار می‌گیرد میزان فلز بر حسب وزن تر، از رابطه فاکتور تصحیح وزن خشک به وزن تر (۰/۲) ضربدر مقدار غلظت فلز بر حسب وزن خشک محاسبه شد. فرض بر این است که میزان هضم برابر با میزان جذب آلاینده باشد و عمل پخت هیچ تاثیری بر روی آلاینده نداشته باشد (Naji et al., 2016).

$$EDI = \frac{C_m \times IR}{BW}$$

EDI: میزان جذب فلز در بدن در روز از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم وزن بدن در روز)
 C_m : میانگین میزان فلز در ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم بر حسب وزن تر)

IR: نرخ مصرف روزانه ماهی که برای بزرگسالان ۲۲۷ (USEPA, 2000) گرم در روز و برای کودکان ۶ ساله، ۱۱۴ گرم در روز است (Copat et al., 2013).
 BW: میانگین وزن بدن مصرف‌کننده (۷۰ کیلوگرم برای بزرگسالان و ۱۶ کیلوگرم برای کودکان) (USEPA, 2000).

۲-۴. تعیین حد مجاز روزانه مصرف ماهی

با فرض اینکه منبع دیگری از فلزات سنگین مورد مطالعه در رژیم غذایی مصرف‌کنندگان وجود نداشته باشد، حداکثر مصرف مجاز روزانه ماهی Maximum (allowable fish Consumption Rate)، برای اینکه دارای هیچ گونه اثر ناسازگاری برای سلامتی انسان نباشد، از طریق فرمول زیر به دست می‌آید (USEPA, 2000).

$$CR_{lim} = \frac{RfD \times BW}{C_m}$$

CR_{lim} : حداکثر مصرف قابل قبول روزانه ماهی (کیلوگرم/ روز)

RfD: دوز مرجع یا جذب مجاز روزانه (میلی‌گرم/ کیلوگرم در روز). مقادیر دوز مرجع برای هر فلز، عدد

جدول ۲- غلظت فلزات سنگین روی، مس، نیکل و سرب در عضله ماهی قزل آلی رنگین کمان (میکروگرم در گرم وزن خشک)

ایستگاه	روی	مس	سرب	نیکل
دهپابید	۴/۱	۳/۷	۰/۲	۰/۱
بیداستر	۴/۴	۴/۳	۰/۹	۰/۳
اسکل آباد	۴/۳	۴/۲	۰/۹	۰/۴

جدول ۳- مقدار جذب روزانه (EDI) فلز روی، مس، نیکل و سرب در عضله ماهی قزل آلی رنگین کمان در بزرگسالان و کودکان در مقایسه با مصرف قابل تحمل (TI) ارائه شده توسط کمیسیون مشترک FAO/WHO (میکروگرم/گرم/روز)

گروه سنی	ایستگاه	روی	مس	سرب	نیکل
بزرگسالان	دهپابید	۱۳/۳۰	۱۲/۰۰	۰/۶۵	۰/۳۰
	بیداستر	۱۴/۲۵	۱۴/۰۰	۲/۹۰	۰/۱۰
	اسکل آباد	۱۳/۹۵	۱۳/۶۰	۲/۹۰	۱/۳۰
کودکان	دهپابید	۴۶/۷۵	۴۲/۲۰	۲/۳۰	۱/۱۴
	بیداستر	۵۰/۱۵	۴۹/۰۰	۱۰/۲۵	۳/۴۵
	اسکل آباد	۴۹/۰۰	۴۷/۹۰	۱۰/۲۵	۴/۵۵
دوز مرجع (میکروگرم/گرم/روز)		۳۰۰/۰۰	۴۰/۰۰	۱۴۰	۲۰/۰۰
مصرف قابل تحمل (TI)		۳۰۰-۱۰۰۰	۵۰۰	-	-
(میکروگرم/گرم/روز)					

جدول ۴- حداکثر مصرف قابل قبول روزانه (CRlim) فلز روی، مس، نیکل و سرب در عضله ماهی قزل آلی رنگین کمان در بزرگسالان و کودکان (میلی گرم در کیلوگرم)

گروه سنی	ایستگاه	روی	مس	سرب	نیکل
بزرگسالان	دهپابید	۵/۱۰	۰/۷۵	۴۹	۱۴/۰۰
	بیداستر	۴/۸۰	۰/۶۵	۱۱/۰۰	۴/۶۶
	اسکل آباد	۴/۹۰	۰/۶۶	۱۱/۰۰	۳/۵۰
کودکان	دهپابید	۰/۷۵	۰/۸۰	۷/۰۰	۲/۰۰
	بیداستر	۰/۷۰	۰/۷۰	۱/۵۵	۰/۶۶
	اسکل آباد	۰/۷۰	۰/۷۱	۱/۵۵	۰/۵۰
دوز مرجع (میلی گرم/کیلوگرم)		۰/۳	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۰۲

۴. بحث و نتیجه گیری

ماهی به عنوان یک منبع پروتئینی ارزشمند در سبد غذایی بسیاری از مردم وجود دارد و تخمین زده می شود که بین ۱۵ تا ۲۰ درصد از پروتئین های حیوانی از منابع آبی تامین می شود. فلزات سنگین به عنوان یکی از گروه های اصلی آلاینده های محیط های

آبی در اثر فعالیت های انسانی به محیط های آبی راه می یابند. پساب های واحدهای صنعتی، کشاورزی، حمل و نقل و غیره منابع تشکیل دهنده فلزات سنگین در پیکره آبی هستند. این مواد سمی بعد از ورود به اکوسیستم های آبی، وارد بدن ارگانیزم های ساکن در آن می شوند و علاوه بر ایجاد اختلال در اعمال زیستی

از *Lateolabrax japonicas* و *haematocheila* رودخانه زرد چین که روند تجمع فلزات به صورت روی<مس>سرب<نیکل گزارش شده است مشابهت دارد (Meng et al., 2020). در مطالعه مشابه Tao و همکاران (۲۰۱۲)، بر روی میزان تجمع فلزات سنگین در بافت عضله نوعی ماهی در حوضه دریاچه Taihu چین روند تجمع فلزات به صورت روی<مس>نیکل گزارش شد (Tao et al., 2012). میزان تجمع روی، مس، سرب و نیکل از نتایج تحقیقات انجام شده توسط Nargis و همکاران (۲۰۱۸) در ماهی‌های آب شیرین در امتداد رودخانه سوات در پاکستان به صورت روی<مس>سرب<نیکل به دست آمد (Nargis et al., 2018).

میزان مس و روی به دست آمده در این مطالعه از نتایج تحقیقات Paul و همکاران (۲۰۲۰) بر بافت ماهی‌های *Eutropiichthys vacha* و *Gudusia chapra* رودخانه پادما در بنگلادش، و در مطالعه Liu و همکاران (۲۰۱۷)، در ماهی‌های وحشی رودخانه چنگدو در چین کمتر بود (Paul et al., 2020)؛ Liu et al., 2017). نتایج تحقیقات به دست آمده توسط Khanipoor و همکاران (۲۰۱۷)، در بافت ماهی کاراس طلایی (*Carassiu sauratus*) در تالابی بین المللی بندر انزلی نشان داد میزان غلظت عنصر مس بیشتر و غلظت عنصر نیکل کمتر از مطالعه حاضر بود (Khanipoor et al., 2017). Kaus و همکاران (۲۰۱۷)، غلظت فلزات سنگین را در پنج گونه ماهی *Thymallus*، *Leuciscus baicalensis*، *Lota lota*، *Brachymystax lenok*، *baicalensis* و *Silurus asotus* در حوضه رودخانه حرا مغولستان بررسی کردند و نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد میزان غلظت عناصر سرب و نیکل بیشتر و غلظت عنصر روی

آن‌ها، در نهایت با ورود به زنجیره غذایی و وارد شدن به بدن انسان سبب بیماری‌های خاص و نارسایی می‌شوند. از آنجایی که عمدتاً بافت عضله ماهی مورد استفاده مردم قرار می‌گیرد، می‌تواند به‌طور مستقیم بر سلامتی انسان تاثیر بگذارد و بنابراین از دیدگاه سلامت افراد، ارزیابی خطر بهداشتی فلزات سنگین بسیار حائز اهمیت می‌باشد (Humtsoe et al., 2007).

میانگین غلظت فلزات سنگین مورد مطالعه در بافت عضله ماهی در همه ایستگاه‌های مورد بررسی مشخص شد و میزان تجمع فلزات روی و مس در بافت خوراکی عضله ماهی قزل آلی رنگین کمان نسبت به فلزات سرب و نیکل بیشتر است که با برخی مطالعات انجام شده مشابهت دارد. این نتایج با مطالعه Mahboob و همکاران (۲۰۱۴) که تجمع فلزات سنگین را در چهار گونه از ماهیان تجاری مهم (*Oreochromis niloticus*، *Clarias gariepinus*، *Poecilia latipinna* و *Aphanius dispar dispar*) در سواحل وادی حنیفه در عربستان مورد بررسی قرار دادند و روند تجمع فلزات به روی<مس>سرب<نیکل صورت گزارش شده است مشابهت دارد (Mahboob et al., 2014).

همچنین نتایج مشابهی در مطالعات Malik و همکاران (۲۰۱۴) که غلظت فلزات سنگین را در بافت‌های عضله چهار گونه ماهی خوراکی *Tor putitora*، *Cirrhinus mrigala*، *Labeo calbasu* و *Channa punctatus* دریاچه Rawa در پاکستان اندازه گیری نموده‌اند به دست آمد. در این مطالعه، فراوانی فلزات بر مبنای غلظت به صورت روی<مس>سرب<نیکل یافت شد (Malik et al., 2014). این نتایج با مطالعه Meng و همکاران (۲۰۲۰)، بر روی بافت عضله دو گونه ماهی *Liza*

بدن مورد نیاز نیستند و حتی مقادیر کم آنها نیز برای بدن مضر است (Ebrahimi et al., 2012). مشاهده شده است که تغییرات در پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب مانند pH، دما، سختی آب، اکسیژن محلول، حضور مواد شیمیایی، شوری، بارندگی، تغییرات آب و هوایی و غیره بر تجمع فلزات سنگین در آبزیان تأثیر می‌گذارد (Farkas et al., 2000). خطر سلامت فلزات سنگین در بافت عضله ماهی قزل آلابی رنگین کمان نشان داد که غلظت فلزات در بافت عضله این ماهی برای مصرف انسان در مقایسه با استانداردهای سازمان کشاورزی و خواروبار جهانی (FAO)، سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA)، انجمن بهداشت ملی و تحقیقات پزشکی استرالیا (NHMRC)، وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (UKMAFF) و سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا (USEPA) قابل قبول است به‌جز فلز نیکل که در دو منطقه بیداستر و اسکل آباد در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی WHO نزدیک حد مجاز مشاهده گردیده است و در مقایسه با استاندارد USEPA هر سه منطقه زیر حد مجاز ۱ است (جدول شماره ۵).

و مس کمتر از مطالعه حاضر بود (Kaus et al., 2017). ارزیابی غلظت فلزات سنگین در بافت گونه‌های ماهی خوراکی در رودخانه Pearl River Delta چین توسط Leung و همکاران (۲۰۱۴)، انجام گردید. در مطالعه حاضر، غلظت عناصر مس و سرب و نیکل کمتر و غلظت عنصر روی بیشتر از نتایج مطالعه Leung و همکاران بود (Leung et al., 2014). تجمع بالای فلز روی و مس را می‌توان به نقش مهم آن‌ها در فرآیندهای متابولیسمی آبزیان و همچنین منشا زمین‌شناسی و حضور طبیعی این عناصر ارتباط داد و از طرفی غذاهای دریایی منبع اصلی روی و مس هستند (Hassanpour et al., 2014). همچنین این عناصر در ساختمان بعضی پروتئین‌ها نظیر کوئروپولاسمین و آنزیم‌ها نظیر سیتوکروم اکسیداز و کاتالاز، نقش حیاتی دارد و در سنتز هموگلوبین و جذب آهن نیز مؤثر هستند و افزایش میزان آن‌ها باعث ایجاد اختلال در جذب آهن و روی، کم‌خونی و تأثیر بر سلامتی غدد جنسی و باروری انسان می‌شود (Türkdoğan et al., 2003). از میان فلزات سنگین، فلزاتی مانند سرب و نیکل، جزء فلزات غیرضروری هستند به این مفهوم که برای متابولیسم

جدول ۵- مقایسه میزان غلظت فلزات سنگین با حد مجاز و استانداردهای بین‌المللی در عضله ماهی مورد مطالعه (میکرو گرم بر گرم)

منبع	نیکل	سرب	مس	روی	استانداردها
WHO, 1985	۰/۳۸	۱/۵	۱۰	۱۰۰۰	WHO
FDA, 1987	۱	۵	-	۳۵	FDA
NHMRC, 2004	-	۱/۵	۱۰	۱۵۰	NHMRC
FAO, 1983	-	۰/۵	۲۰	۵۰	FAO
MAFF, 1995	-	۲	۲۰	۵۰	UKMAFF
Mishra, 2007	۱	۴	۱۲۰	۱۵۰	USEPA
	۰/۱	۰/۲	۳/۷	۴/۱	دهپابید
مطالعه حاضر	۰/۳	۰/۹	۴/۳	۴/۴	بیداستر
	۰/۴	۰/۹	۴/۲	۴/۳	اسکل آباد

روی، مس و سرب پایین تر از استانداردهای تعیین شده می باشد و نگران کننده نیست، اما به دلیل اینکه میانگین غلظت فلز نیکل در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نزدیک به حد مجاز مشاهده شد بنابراین ضرورت دارد مصرف این نوع ماهی با ملاحظات بهداشتی همراه باشد.

همچنین بر منابع تولیدکننده این فلز در اطراف رودخانه های ورودی آن توسط مقامات مسئول جهت پیشگیری از ابتلای انسان به امراض و عوارض گوناگون ناشی از استفاده غذایی از آبیان آلوده به فلزات سنگین، نظارت بیشتری صورت گیرد. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که میزان فلزات سنگین موجود در عضله ماهی مورد مطالعه هیچ گونه خطری برای مصرف بزرگسالان در بر ندارد، اما برای کودکان باید مراقب بود. با توجه به خاصیت تجمع پذیری فلزات سنگین در بافت های مختلف، پایش سالانه آبیان در هر منطقه در رابطه با فلزات سنگین امری ضروری به نظر می رسد.

به طور کلی، مجموع خطرات ناشی از فلزات، در رده سنی کودکان بالاتر از گروه بزرگسالان بود که این بدان معناست که کودکان ممکن است برای سلامتشان ریسک بیشتری داشته باشند. با توجه به نتایج به دست آمده از میزان جذب روزانه (EDI)، به نظر می رسد که مصرف ماهی قزل آلی رنگین کمان ضرری ندارد و میزان مصرف ۲۲۷ گرم در روز از بافت عضله ماهی مورد مطالعه برای بزرگسالان با میانگین وزنی ۷۰ کیلوگرم و ۱۱۴ گرم در روز برای کودکان با میانگین وزنی ۱۶ کیلوگرم، از نظر سلامتی هیچگونه مشکلی ایجاد نخواهد کرد. در نهایت می توان نتیجه گرفت با اینکه غلظت فلزات روی، مس و سرب پایین تر از استانداردهای تعیین شده می باشد و نگران کننده نیست، اما به دلیل اینکه میانگین غلظت فلز نیکل در مقایسه با استاندارد سازمان بهداشت جهانی، نزدیک به حد مجاز مشاهده شد بنابراین ضرورت دارد مصرف این نوع ماهی با ملاحظات بهداشتی همراه باشد. در نهایت می توان نتیجه گرفت با اینکه غلظت فلزات

References

Coulibaly, S., Atse, B.C., Koffi, K.M., Sylla, S., Konan, K.J., 2012. Seasonal accumulations of some heavy metal in water, sediment and tissues of black-chinned tilapia *Sarotherodon melanotheron* from Biétri Bay in Ebrié Lagoon, Ivory Coast. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 88(4), 571-76.

Copat, C., Arena, G., Fiore, M., Ledda, C., Fallico, R., Sciacca, S., 2013. Heavy metals concentrations in fish and shellfish from eastern Mediterranean Sea: consumption advisories. *Food and Chemical Toxicology* 53, 33-37.

Dallinger, R., Prosi, F., Segner, H., Back, H., 1987. Contaminated food and uptake of heavy metals by fish: a review and a proposal for further research. *Oecologia* 73(1), 91-98.

Eisler, R., 1985. Cadmium hazards to fish, wildlife, and invertebrates: a synoptic review. Technical report. Patuxent Wildlife Research Center, Laurel, MD (USA).

Farkas, A., Salanki, J., Varanka, I., 2000. Heavy metal concentrations in fish of Lake Balaton. *Lakes & Reservoirs: Research & Management* 5(4), 271-79.

FAO, 1983. Compilation of legal limits for hazardous substance in fish and fishery product (Food and Agricultural Organization). *FAO Fishery Circular*, 464: 5-100.

FDA (Food and Drug Administration of the United States), 1987. National shellfish sanitation program. Guide for the control of molluscan shellfish. In:

- Guidance documents, chapter II, Growing areas: 04, Action levels, tolerances and guidance levels for poisonous or deleterious substances in seafood. Updated September 2016.
- Hassanpour, M., Rajaei, G., SinkaKarimi, M., Ferdosian, F., Maghsoudloorad, R., 2014. 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* 24(113),163-70 (in Persian).
- Humtsoe, N., Davoodi, R., Kulkarni, B., Chavan, B., 2007. Effect of arsenic on the enzymes of the rohu carp *Labeo rohita*. *The Raffles Bulletin of Zoology* 14, 17-29.
- Krishna, P., Jyothirmayi, V., Rao, K.M., 2014. Human health risk assessment of heavy metal accumulation through fish consumption, from Machilipatnam Coast. *Andhra Pradesh, India* 32, 2360-2403.
- Khanipour, A., Ahmadi, M., Zareh gashti, G., Seyfzadeh, M., Rafipour, F., 2017. Study on Bioaccumulation of heavy metals (Cu, Ni, Co, Cr) in edible muscle tissue of Crucian Carp (*Carassius auratus*) from international wetland of Anzali. *Journal of Aquatic Ecology* 6 (4), 91-99 (in Persian).
- Kaus, A., Schäffer, M., Karthe, D., Büttner, O., von Tümpling, W. and Borchardt, D., 2017. Regional patterns of heavy metal exposure and contamination in the fish fauna of the Kharaa River basin (Mongolia). *Regional Environmental Change* 17(7), 2023-2037.
- Lashkari Moghadam, N., Rabani, M., Ahmad Panahi, H., 2008. Evaluathion of heavy metal (Zn, Co, Ni, Cd) in canned tuna and oil. *Journal of Marine Science & Technology Research* 3(2), 78-84.
- Liu, M., Xu, Y., Nawab, J., 2020. Contamination features, geo-accumulation, enrichments and human health risks of toxic heavy metal (oids) from fish consumption collected along Swat river, Pakistan. *Environmental Technology & Innovation* 17, 100554-100576.
- Liu, X., Jiang, J., Yan, Y., Dai, Y.Y., Deng, B., 2018. Distribution and risk assessment of metals in water, sediments, and wild fish from Jinjiang River in Chengdu, China. *Chemosphere* 196, 45-52.
- Leung, H., Leung, A., Wang, H., Ma, K., Liang, Y., Ho, K.C., 2014. Assessment of heavy metals/metalloid (As, Pb, Cd, Ni, Zn, Cr, Cu, Mn) concentrations in edible fish species tissue in the Pearl river delta (PRD), China. *Marine pollution bulletin* 78(1-2), 235-45.
- Mahboob, S., Al-Balawi, H.A., Al-Misned, F., Al-Quraishy, S., Ahmad, Z., 2014. Tissue metal distribution and risk assessment for important fish species from Saudi Arabia. *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 92 (1), 61-73.
- Malik, R.N., Hashmi, M.Z., Huma, Y., 2014. Heavy metal accumulation in edible fish species from Rawal Lake Reservoir, Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research* 21(2), 1188-96.
- Mishra, S., Bhalke, S., Saradhi, I., Suseela, B., Tripathi, R., Pandit, G., 2007. Trace metals and organometals in selected marine species and preliminary risk assessment to human beings in Thane Creek area, Mumbai. *Chemosphere* 69(6), 972-78.
- Moopam, A., 1999. Manual of oceanographic observation and pollution analysis. regional organization for the protection of Marine Environment (ROPME).
- Meng, G.e., Gujian, L., Houqi, L., Yuan, Liu., 2020. Levels of metals in fish tissues of *Liza haematocheila* and *Lateolabrax japonicus* from the Yellow River Delta of China and risk assessment for consumers. *Marine Pollution Bulletin* 157, 111286-111298.
- MAFF. 1995. Monitoring and surveillance of non-radioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea. *Aquatic Environment Monitoring Report*, No. 44. Direcorate of Fisheries Research, Lowestoft.
- Mukherjee, A., Sengupta, M.K., Hossain, M.A., Ahamed, S., Das, B., Nayak, B., 2006. Arsenic contamination in groundwater: a global perspective

with emphasis on the Asian scenario. Journal of Health, Population and Nutrition 27, 142-63.

NHMRC (National Health and Medical Research Council). 2004. National guidelines for waste management in the health industry. Updated September 2016.

Naji, A., Ismail, A., 2012. Sediment quality assessment of Klang Estuary, Malaysia. Aquatic ecosystem health & management 15(3), 287-93.

Nachtergaele, F., van Velthuisen, H., Verelst, L., 2009. Harmonized world soil database (version 1.1). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Naji, A., Khan, F.R., Hashemi, S.H., 2016. Potential human health risk assessment of trace metals via the consumption of marine fish in Persian Gulf. Marine Pollution Bulletin 109(1), 667-71.

Paul, A.K., Iqbal, S., Atique, U., Alam, L., 2020. Muscular Tissue Bioaccumulation and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Two Edible Fish Species (*Gudusia chapra* and *Eutropiichthys vacha*) in Padma River, Bangladesh. Punjab University Journal of Zoology 35(1), 81-89.

Rahman, M.S., Molla, A.H., Saha, N., Rahman, A., 2012. Study on heavy metals levels and its risk assessment in some edible fishes from Bangshi River, Savar, Dhaka, Bangladesh. Food chemistry 134(4), 1847-54.

Storelli, M.M., Barone, G., Cuttone, G., Giungato, D., Garofalo, R., 2010. Occurrence of toxic metals (Hg, Cd and Pb) in fresh and canned tuna: public health implications. Food and chemical toxicology 11(48), 1355-1370.

Tao, Y., Yuan, Z., Wei, M., Xiaona, H., 2012. Characterization of heavy metals in water and sediments in Taihu Lake, China. Environmental Monitoring and Assessment 184(7), 4367-82.

Türkmen, M., Ciminli, C., 2007. Determination of metals in fish and mussel species by inductively

coupled plasma-atomic emission spectrometry. Food Chemistry 103(2), 670-75.

Türkdoğan, M.K., Kilicel, F., Kara, K., Tuncer, I., Uygan, I., 2003. Heavy metals in soil, vegetables and fruits in the endemic upper gastrointestinal cancer region of Turkey. Environmental toxicology and pharmacology 13(3), 175-79.

USEPA (US Environmental Protection Agency), 2000. Guidance for Assessing Chemical Contamination Data for Use in Fish Advisories. Vol. II. Risk Assessment and Fish Consumption Limits EPA/823-B94-004, United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

USEPA. Reference dose (RfD) description and use in health risk assessments. Washington DC: United States Environmental Protection Agency; 1993 [cited 2019 March 25]. Available from: <https://www.epa.gov/iris/reference-dose-rfd-description-and-usehealth-risk-assessments>. W.H.O., 1985. Review of Potentially Harmful Substances-Cadmium, Lead and Tin. WHO, Geneva. (Repots and Studies No. 22. MO/ FAO/ UNESCO/ WMO/ WHO/ IAEA/ UN/ UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution).150P.

Zhong, W., Zhang, Y., Wu, Z., Yang, R., Chen, X., Yang, J., 2018. Health risk assessment of heavy metals in freshwater fish in the central and eastern North China. Ecotoxicology and environmental safety 157, 343-49.