

Heavy Metal Concentration and Health Risk Assessment of Some Species of Fish, Rasht, Iran

Ayub Ebadi Fathabad¹,

Hossein Tajik²,

Nabi Shariatifar³

¹ PhD Student in Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

² Professor, Department of Food Hygiene and Quality Control, Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran

³ Associate Professor, Department of Environmental Health, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

(Received December 20, 2018 Accepted June 20, 2018)

Abstract

Background and purpose: Fish is an important source of protein for human and is an important part of the diet, so, studying the concentration of heavy metals in commercial fish could be helpful in evaluating the risk of fish consumption.

Materials and methods: A total of 60 fish samples from four different species including anchovy, white, perch, and trout was randomly collected in fall 2016 from Rast Fish Market. After sample preparation and microwave digestion, the amount of heavy metals were determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES). The US Environmental Protection Agency's (EPA) method was used to estimate the health risks associated with exposure to heavy metals in fish samples.

Results: The highest concentrations of heavy metals included mercury in whitefish ($1.29 \pm 0.23 \mu\text{g/g}$), lead in whitefish ($4.54 \pm 0.75 \mu\text{g/g}$), cadmium in salmon ($0.07 \pm 0.01 \mu\text{g/g}$), arsenic in whitefish ($1.36 \pm 0.15 \mu\text{g/g}$), nickel in whitefish ($0.61 \pm 0.07 \mu\text{g/g}$), tin in whitefish ($0.63 \pm 0.05 \mu\text{g/g}$), and chromium in fish perch ($1.52 \pm 0.04 \mu\text{g/g}$). Non-cancer risk for all heavy metals in all the species was less than 1.

Conclusion: The concentration of metals in species studied was in acceptable level, indicating no risk of toxicity. According to current results, fish consumption does not lead to adverse health effects.

Keywords: fish, heavy metals, risk assessment, environmental pollution

J Mazandaran Univ Med Sci 2019; 28 (168): 118-132 (Persian).

* Corresponding Author: Ayub Ebadi Fathabad - Faculty of Veterinary Medicine, Urmia University, Urmia, Iran
(E-mail: ayubebadi1986@gmail.com)

اندازه گیری غلظت فلزات سنگین و ارزیابی خطر ناشی از آنها در گونه های مختلف ماهی

ایوب عبادی فتح آباد^۱حسین تاجیک^۲نبی شریعتی فر^۳

چکیده

سابقه و هدف: ماهی ها از منابع پروتئینی مهم برای سلامت انسان هستند و بخش مهمی از رژیم غذایی انسان را تشکیل می دهند، از این رو ضروری است که غلظت فلزات سنگین در ماهی های تجاری به منظور ارزیابی احتمال خطر مصرف ماهی مورد بررسی قرار گیرند.

مواد و روش ها: تعداد ۶۰ نمونه ماهی از ۴ گونه مختلف کولی، سفید، سوف و قزل آلا در پاییز ۱۳۹۵ از بازار بزرگ ماهی رشت، به صورت تصادفی تهیه شد. پس از آماده سازی و هضم شیمیایی نمونه ها توسط مایکروویو، مقدار فلزات سنگین توسط دستگاه پلاسما جفت شده القایی با طیف نشر نوری (ICP-OES) تعیین شدند. به منظور ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از مواجهه با فلزات سنگین در نمونه های ماهی، بر مبنای روش آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا عمل شد.

یافته ها: بیشترین غلظت فلزات سنگین به ترتیب، جیوه در ماهی سفید ($0/23 \pm 1/29$)، سرب در ماهی سفید ($4/54 \pm 0/75$)، کادمیوم در ماهی قزل آلا ($0/01 \pm 0/07$)، آرسنیک در ماهی سفید ($0/15 \pm 1/36$)، نیکل در ماهی سفید ($0/07 \pm 0/61$)، قلع در ماهی سفید ($0/05 \pm 0/63$) و کروم در ماهی سوف ($0/04 \pm 1/52$) میکروگرم بر گرم، به دست آمد. خطر پذیری غیر سرطانی برای همه فلزات سنگین و در همه گونه ماهی ها کم تر از یک بود.

استنتاج: غلظت فلزات در این گونه ها از نقطه نظر مسمومیت، برای مصرف انسان قابل قبول است. شاخص خطر در ماهی های مختلف مورد مطالعه معمولی کمتر از یک بود، که نشان می دهد مصرف ماهی سبب بروز عوارض سوء بهداشتی برای مصرف کنندگان نمی شود.

واژه های کلیدی: ماهی، فلزات سنگین، ارزیابی خطر، آلودگی محیط زیست

مقدمه

امروزه مصرف فرآورده های دریایی به ویژه ماهی به عنوان یک ماده غذایی دارای مقادیر نسبتاً زیاد پروتئین، ویتامین، مواد معدنی و اسیدهای چرب ضروری و به علت افزایش جمعیت و نیاز روز افزون انسان به مواد

E-mail: ayubebadi1986@gmail.com

مؤلف مسئول: ایوب عبادی فتح آبادی - ارومیه: دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه

۱. دانشجوی دکتری تخصصی (PhD) گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. استاد گروه بهداشت و کنترل کیفی مواد غذایی، دانشکده دامپزشکی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. دانشیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۹/۲۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۶/۱۱/۳۰ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۳/۳۰

برابر مقدار آن ها که در آب یا هوا یافت می شوند افزایش یابد. ماهی در محل زیستگاه خود توانایی گریز از این آلاینده های پایدار را نداشته و در نتیجه منجر به آلودگی زنجیره غذایی می شود. از این رو ماهی ها را به عنوان یک شاخص زیستی تأثیر آلودگی فلزات سنگین، در اکوسیستم های آبی در نظر می گیرند، چرا که در راس زنجیره غذایی بوده و به عنوان یک منبع غذایی منعکس کننده تأثیرات بهداشتی برای انسان می باشد. مسمومیت ناشی از مصرف ماهیان آلوده به فلزات سنگین می تواند منجر به بروز بیماری هایی مثل سرطان، اختلالات عصبی، آلزایمر و مرگ در انسان گردد. سرب متعلق به گروه فلزات غیر ضروری و سمی است و هیچ عملکرد شناخته شده ای در فرآیندهای بیوشیمیایی ندارد این فلز دارای پتانسیل بالا برای تغلیظ زیستی و انباشت در اندام های گوناگون ماهی است که در صورت جذب از طریق غذا برای مصرف کنندگان بسیار سمی بوده و موجب اختلالات سیستم اعصاب و مشکلات رفتاری در آنها می شود. کادمیوم به مقدار زیادی از طریق غذا جذب شده و منجر به اثرات سوء از جمله مشکلات اسکلتی، برونشیت، آفیمیزم، کم خونی و سنگ کلیه در مصرف کنندگان می شود (۷، ۹) مواجهه با آرسنیک حتی در مقادیر کم (۰/۰۵ میلی گرم در لیتر) باعث افزایش خطر ابتلاء به سرطان پوست، ریه، مجاری ادراری و مثانه و سرطان کلیه می شود. همچنین تغییرات پوستی از قبیل تغییر رنگ پوست (پیدایش نقاط تیره و روشن در پوست) و افزایش ضخامت یا برآمدگی زرد رنگ روی پوست (شاخی شدن پوست) نیز از عوارض دیگر آن است. هم چنین دارای اثرات سوء روی سیستم عصبی است که علائم آن لرزش و سردرد است و تنفس آن خطر ابتلاء به سرطان ریه را افزایش می دهد. جذب آرسنیک از طریق پوست بسیار کم است و بیشترین میزان دریافت و مواجهه با آن از طریق دریافت مواد غذایی آلوده به آن می باشد (۱۰، ۱۱). غلظت نیکل در محیط به طور معمول بسیار کم است، اما می تواند منجر

غذایی رو به افزایش است. بر طبق آمارهای موجود بیشترین مصرف غذاهای دریایی در قاره های آسیا و اقیانوسیه مشاهده می شود. سهم ماهی در رژیم غذایی دنیا نزدیک به ۴۷ گرم روزانه می باشد، در حالی که ایران دارای متوسط مصرف ماهی ۵ گرم روزانه است. حدود بیست درصد از جمعیت دنیا، یک پنجم از پروتئین حیوانی خود را از ماهی دریافت می کنند. متوسط مصرف سرانه تقریباً در طی ۴۰ سال گذشته دو برابر شده که از رشد جمعیت پیشی گرفته است (۱، ۲). ماهی نه تنها یک ماده غذایی زود هضم و لذیذ می باشد بلکه حاوی مواد پروتئینی، معدنی و اسیدهای چرب غیر اشباع و خصوصاً اسید های چرب با بیش از چهار باند دو گانه (HUFA)^۱ به ویژه اسید دو کوزاهگزانوئیک (۳-۶n:۲۲) و اسید ایکوزاپنتانوئیک (۳-۵n:۲۰) می باشد (۳، ۴). اسیدهای چرب نقش مهمی در پیشگیری و درمان بیماری های قلبی - عروقی، کاهش فشارخون، کاهش سطوح کلسترول و تری گلیسریدهای خون، تنظیم ضربان قلب، داشتن خواص ضد التهابی، تنظیم عملکرد سیستم ایمنی، افزایش قدرت یادگیری و بالا بردن ضریب هوشی کودکان ایفا می کنند (۵، ۶). متأسفانه رشد سریع جمعیت و توسعه فعالیت های صنعتی و کشاورزی (استفاده از کودها و سموم دفع آفات) موجب شده است تا حجم بالایی از فاضلاب های صنعتی، شهری و همچنین پساب های کشاورزی دارای ترکیبات شیمیایی مختلف مخصوصاً عناصر سنگین، وارد اکوسیستم های آبی گردد (۷، ۸). از نکات قابل توجه آلودگی محیط زیست آبریان، آلودگی این موجودات به فلزات سنگین است، زیرا فلزات سنگین جزء آلاینده های پایدار هستند که برخلاف ترکیبات آلی از طریق فرآیندهای شیمیایی یا زیستی در طبیعت تجزیه نمی شوند. از نتایج مهم آلاینده های پایدار از جمله فلزات سنگین، وسعت زیستی زیاد آن ها در زنجیره غذایی می باشد به طوری که در نتیجه این فرایند، مقدار فلزات سنگین در زنجیره غذایی می تواند تا چندین

1- Acid Fatty Unsaturated High

نمونه برداری

به منظور بررسی میزان فلزات سنگین در چهارگونه کولی (Alburnus filippi)، سفید (Rutilus frisii kutum)، سوف (Sander lucioperca) و قرل آلی رنگین کمان (Oncorhynchus mykiss) در فصل پاییز سال ۱۳۹۵ تعداد ۴۰ نمونه (۱۰ نمونه از هر ماهی) به صورت کاملاً تصادفی از بازار الگویی ماهی شهر رشت که یکی از اولین و بزرگترین بازارهای ماهی فروشی در ایران است، خریداری شد. مشخصات نمونه‌های صید شده پس از تعیین گونه آنها انجام گردید. سپس نمونه‌ها با دقت در داخل یخدان مخصوص نمونه‌برداری قرار داده شدند و بین هر ردیف از نمونه‌ها توسط یخ خرد شده پوشانده شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه تحقیقاتی جهت انجام آزمایشات بیشتر انتقال داده شدند.

مواد شیمیایی و تجهیزات مورد استفاده

در این مطالعه محلول‌های استاندارد فلزات با خلوص تجزیه ای و اسید نیتریک و پراکسید هیدروژن با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شدند. تمام محلول‌سازی‌های لازم با آب مقطر دیونیزه انجام شد و برای اطمینان از عاری بودن کلیه ظروف و پیپت‌های آزمایشگاهی از هر آلاینده، قبل از هر نمونه برداری با اسید شستشو داده شدند. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی با طیف نشر نوری (ICP-OES) مدل Spectrum Arcos^۱ ساخت کشور آلمان استفاده شد. شرایط کار و مشخصات دستگاه در جدول شماره ۱ آورده شده است. آب دیونیزه مورد استفاده جهت انجام آزمایشات از دستگاه آب مقطرگیری مدل Fistream ساخت کشور انگلستان به دست آمد. برای هضم نمونه‌ها نیز از روش هضم با میکروویو^۲ استفاده شد. در این روش نمونه‌های بافت ماهی توسط آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند، سپس به ۱ گرم از نمونه در هر لوله هضم

به انواع مختلف عوارض جانبی مانند التهاب ریه، فیروز، آمفیزم و تومور شود که این عوارض بسته به شدت و میزان آلودگی می‌تواند متغیر باشد (۱۰). حضور کروم در رژیم غذایی به دلیل مشارکت فعال آن در عملکرد انسولین و سوخت و ساز چربی ضروری است. کمبود کروم می‌تواند منجر به اختلال در رشد و نمو و اختلالات در متابولیسم گلوکز، چربی و پروتئین شود (۱۱). از طرفی کروم عنصری سمی است و سمیت آن به اشکال شیمیایی آن بستگی دارد به طوری که کروم شش ظرفیتی برای ارگانسیم‌های دریایی بسیار سمی‌تر از کروم سه ظرفیتی است و به راحتی می‌تواند از غشاهای سلولی عبور کند و باعث افزایش سمیت این عنصر در آب دریا شود (۱۲، ۱۰). تحقیقات زیادی در رابطه با اندازه‌گیری غظت فلزات سنگین در بافت خوراکی ماهیان صورت گرفته است به طوری که یافته‌های حسن پور و همکاران (۱۳)، طبری و همکاران (۱۴)، علی پور و همکاران (۱۵) و سلگی و سرافراز (۱۶) نشان داد که، به دلیل ورود منابع آلاینده به اکوسیستم ماهی‌ها، مصرف بافت خوراکی ماهی‌ها از نظر آلوده بودن به بعضی از فلزات سنگین، به دلیل بالاتر بودن از استانداردهای جهانی، می‌تواند مشکلات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان به همراه داشته باشد. ارزیابی خطرات بهداشتی انباشت فلزات سنگین در ماهی‌ها برای تنظیم استانداردها و ایجاد مبنای علمی درک خطرها در برابر فواید مصرف ماهی بسیار مهم است، بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، این مطالعه به منظور تعیین میزان باقی مانده فلزات سنگین (جیوه، سرب، کادمیوم، آرسنیک، نیکل و کروم) و ارزیابی خطر ناشی از آن در گونه‌های مختلف ماهی عرضه شده در بازار ماهی رشت طراحی شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه از نوع اپیدمیولوژیک تحلیلی می‌باشد.

1. Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry
2. Microwave Digestion

استانداردهای کالیبراسیون

استانداردهای کالیبراسیون ترجیحاً هر روز و یا در غیر این صورت هر بار قبل از استفاده از دستگاه ICP باید تهیه می‌شدند. در ابتدا باید اتوسمپلر را جهت رفع آلودگی‌های احتمالی با اسید نیتریک (HNO₃) ۵ درصد شستشو داده و سپس استوک‌های حاوی عناصر قابل اندازه‌گیری را جهت رسم منحنی کالیبراسیون به دستگاه تزریق می‌کردیم (۲۲، ۱۹). محلول‌های استاندارد تهیه شده، وارد دستگاه می‌شدند و میزان جذب آن‌ها ثبت می‌شد و طبق این میزان جذب شده منحنی کالیبراسیون در صفحه مانیتور دستگاه ترسیم می‌شد. جهت آماده‌سازی دستگاه برای آنالیز نمونه‌ها و ایتیم کردن آن‌ها محلول‌های استاندارد کاری مطابق غلظت‌های مشخص شده در جدول شماره ۳ تهیه و به دستگاه داده شد و منحنی کالیبراسیون رسم گردید هر یک از عناصر به دست آمد (۲۲) (جدول شماره ۳ و ۴).

جدول شماره ۳: غلظت‌های استفاده شده جهت ایجاد منحنی کالیبراسیون

استاندارد	جیوه	سرب	کادمیوم	آرسنیک	نیکل	کروم	قلع
(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)	(µg/L)
۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
۱	۰/۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
۲	۰/۰۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
۳	۰/۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳
۴	۰/۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۲۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
۵	۰/۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵
۶	۰/۰۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	۰/۰۰۶

جدول شماره ۴: مقادیر R²، طول موج و حد آشکار سازی

عنصر	R ²	طول موج (نانومتر)	حد آشکار سازی (میلی گرم در لیتر)
جیوه	۰/۹۹۹۶۳	۲۱۵/۴۶	۰/۰۰۰۶۴
سرب	۰/۹۹۹۵۴	۲۱۹/۶۹	۰/۰۰۰۰۲
کادمیوم	۰/۹۹۹۱۲	۲۱۳/۵۴	۰/۰۰۰۰۳۸
آرسنیک	۰/۹۹۸۳۲	۲۰۹/۷۱	۰/۰۰۰۰۷۵
نیکل	۰/۹۹۹۰۵	۲۲۲/۸۵	۰/۰۰۰۰۵۶
کروم	۰/۹۹۸۷۶	۲۰۶/۳۸	۰/۰۰۰۰۹۶
قلع	۰/۹۹۷۹۱	۱۸۴/۴۳	۰/۰۰۰۰۳۷

برآورد پتانسیل مواجهه انسان با فلزات سنگین در نتیجه مصرف ماهی

برآورد احتمال خطرپذیری غیر سرطان‌زا از روش‌های اندازه‌گیری اثرات بهداشتی مواجهه با

مایکروویو، ۴ میلی لیتر HNO₃ غلیظ و ۱ میلی لیتر پراکسید هیدروژن (H₂O₂) ۳۰ درصد اضافه شد و در نهایت هضم از طریق دستگاه مایکروویو و مطابق یک برنامه زمانی و دمایی مشخص شده، انجام شد (جدول شماره ۲). مشخصات و شرایط دستگاه مورد استفاده نیز، در جدول شماره ۱ آورده شده است (۲۰-۱۷).

جدول شماره ۱: مشخصات و شرایط دستگاه ICP-OES و دستگاه مایکروویو مورد استفاده

مشخصات و شرایط دستگاه ICP-OES	
1400 w	Power
14/5 l/min	Plasma gas flow rate
0/9 l/min	Auxiliary flow rate
0/85 l/min	Nebulizer gas flow rate
Total 240 s	Sample uptake time
45 s	Rinse time
45 s	Initial stabilization time
3	Measurement Replicates
15 rpm	Pump rate
27/12	Frequency RF generator
CCD Modified lichte	Type of spray chamber Cyclonic
مشخصات دستگاه مایکروویو جهت هضم نمونه‌ها	
300 °C	Temperature (max)
75 bar	Pressure (max)
HQ 50	Quartz vessels
1 gr	Sample amount
10 ml	Final valume

جدول شماره ۲: برنامه زمانی و دمایی داده شده به دستگاه مایکروویو

جهت هضم نمونه‌های ماهی			مرحله
Hold, min	Ramp, min	Temp., °C	
۱	۱	۱۴۵	۱
۱	۱	۵۰	۲
۱	۱	۱۴۵	۳
۱۰	۱	۱۷۰	۴
۱۰	۱	۱۹۰	۵

تهیه محلول‌های استاندارد

برای آنالیز فلزات سنگین در ماتریکس‌های غذایی، یک محلول استاندارد داخلی ۴۰ میکروگرم در لیتر ردیوم (Rh)، ایندیم (In) و تولیم (Tm) توصیه می‌شود. محلول استاندارد داخلی در داخل اسید استیک (یا متانول) ۲۰ درصد تهیه می‌شود اسید استیک و یا متانول هم شدت اثر بخشی یونیزاسیون را افزایش می‌دهد. رودیوم برای اصلاح سیگنال آرسنیک (As) استفاده می‌شود. علاوه بر این، حضور سطوح بالای عناصری، مانند کربن و کلر، در نمونه‌ها می‌تواند یونیزاسیون مؤثر پلاسما را افزایش دهد و عامل پاسخ بیشتری برای آرسنیک در نمونه‌ها ایجاد کند (۲۲، ۲۱، ۱۹).

از آنجا که قرار گرفتن در معرض دو یا چند آلاینده ممکن است سبب افزایش اثرات یا اثرات متقابل شود در این پژوهش NHQ کل یا همان HI از جمع ریاضی مقادیر NHQ سه فلز سرب، کادمیوم و روی به دست آمد (۲۳). در صورتی که مقدار NHQ بیش تر از یک (میزان جذب روزانه بیش تر از دوز مرجع باشد) نشان می دهد که قرار گرفتن در معرض یک ماده شیمیایی به احتمال زیاد اثرات سوء بهداشتی خواهد داشت. اثرات بالقوه بهداشتی وابسته به نوع مواد شیمیایی است. ارزش NHQ پایین تر از یک نشان می دهد که در معرض قرار گیری روزانه جمعیت انسانی، از جمله زیر جمعیت حساس، به احتمال زیاد بدون خطر قابل ملاحظه و اثرات زیان بار در طول عمر است (۲۶).

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش آنالیز آماری و تجزیه و تحلیل داده ها به کمک نرم افزار SPSS 19 انجام شد و میانگین داده ها به کمک آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA oneway) با یکدیگر مقایسه شدند و وجود یا عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد تعیین گردید. هم چنین در رسم نمودارها و جداول از نرم افزار Excel استفاده شده است.

یافته ها

جیوه در تمامی نمونه های ماهی مورد آزمایش در این مطالعه تشخیص داده شد. مقادیر غلظت جیوه برای گونه ماهی های مورد بررسی به ترتیب برای ماهی های کولی (۰/۰۱ ± ۰/۰۵)، سفید (۰/۲۳ ± ۱/۲۹)، سوف کولی (۰/۰۹ ± ۰/۸۰) و قزل آلائی رنگین کمان (۰/۳۹ ± ۰/۰۷) میکروگرم بر گرم به دست آمد که در تمامی گونه های ماهی های مورد مطالعه از حد مجاز استانداردهای جهانی (WHO، Codex، FDA، EPA و UK-MAFF) تعیین شده کمتر بود و بین گونه های مختلف ماهی، تفاوت معنی داری مشاهده شد (p ≤ ۰/۰۵).

آلاینده های شیمیایی غیر سرطانزا است. در این مطالعه احتمال خطر پذیری اثرات غیر سرطانزا با محاسبه نسبت خطر (NHQ) مورد بررسی قرار گرفت. از نسبت در معرض قرار گیری با یک آلاینده به دوز مرجع برای ارزیابی خطر سلامت یک ماده شیمیایی ویژه استفاده می شود. اگر میزان مواجهه بالاتر از مقدار سمیت باشد، پس احتمال خطر برای گیرنده وجود دارد. دوز مرجع دهانی مزمن (RFD) به عنوان برآوردی از مواجهه روزانه با یک آلاینده به صورت خوراکی برای جمعیت انسانی (شامل زیر جمعیت های حساس) که به احتمال زیاد در طول عمر بدون اثرات زیان بار خطرناک قابل ملاحظه است تعریف شده است (۱۵). برای تعیین NHQ بر اساس روش ارائه شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا عمل شد. برای یک ترکیب واحد، NHQ نسبت CDI به دوز مرجع است (۲۳، ۲۴).

رابطه ۱: $NHQ = \frac{CDI}{RFD}$ Non-carcinogenic Hazard Quotient
 CDI (Chronic Daily Intake) = جذب روزانه مزمن آلاینده (mg/kg-day)
 RFD (Reference Dose) = دوز مرجع مزمن (خوراکی) برای آلاینده (mg/kg-day)

$$CDI = \frac{C \times EF \times ED \times IRF \times \left(\frac{BW}{365}\right)}{RFD \times \left(\frac{365}{365}\right) \times LT \times BW}$$

رابطه ۱: $CDI = \frac{C \times EF \times ED \times IRF \times \left(\frac{BW}{365}\right)}{RFD \times \left(\frac{365}{365}\right) \times LT \times BW}$
 CDI = جذب روزانه مزمن آلاینده (mg/kg-day)
 C = غلظت فلزات سنگین در بافت عضله ماهی (mg/k)
 BW = وزن بدن (برای بزرگسالان ~ ۷۰ kg)
 ED = مدت زمان در معرض قرار گرفتن (۷۰ سال)
 EF = فرکانس در معرض قرار گرفتن (۳۶۵ روز در سال)
 IRF = برآورد متوسط روزانه مصرف ماهی = ۳۲/۵۷ گرم/روز (۱۵).
 LT = طول عمر (به طور متوسط)، ۷۰ سال برای اثرات غیر سرطانزا

غلظت‌های ۱/۵۲ و ۰/۷۶ میکروگرم بر گرم به دست آمد و بین ماهی‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p \leq 0/05$).

بحث

Sanker و همکاران (۲۰۰۶) مقادیر جیوه را در ۵ درصد از گونه ماهی‌های دریایی مورد آزمایش در محدوده ۰/۳-۰/۵ میکروگرم بر گرم گزارش کردند (۲۷).

Sivaperumal و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی خود متوجه شدند که جیوه در ۸۸ درصد از گونه‌های ماهی‌های دریایی که مورد بررسی قرار دادند یافت نمی‌شود (۲۸).

Cirillo و همکاران (۲۰۱۰) غلظت جیوه را در گونه‌های ماهی دریایی در محدوده ۰/۳۳۹-۰/۰۸ میکروگرم بر گرم گزارش کردند که نسبت به مطالعه حاضر سطوح پایین‌تری از آلودگی را داشتند (۲۹). جیوه یک آلاینده بسیار سمی است که معمولاً از طریق تخلیه زباله‌های صنعتی به دریاها، سبب آلودگی شدید آن‌ها می‌شود. در رابطه با میزان جیوه در عضله ماهی می‌توان چندین بحث را مطرح ساخت. اول این که میزان جیوه در ماهیان بزرگ‌تر و مسن‌تر بیشتر از میزان جیوه در ماهیان جوان‌تر است. به این موضوع در تحقیقات زیادی اشاره شده است، هم‌چنین فاکتورهای زیادی نظیر: دوره مواجهه، روش مواجهه با جیوه (تنفسی، بلع و یا تماس پوستی)، غلظت، فرم شیمیایی جیوه، سن شخص در معرض قرار گرفته و الگوی مصرف ماهی و غذاهای دریایی، بر روی اثرات نامطلوب جیوه بر سلامتی دخیل هستند (۳۰، ۳۱).

در پژوهش Alina و همکاران (۲۰۱۲) سطوح آلودگی ماهیان صید شده از تنگه مالاکا در مالزی به فلزات سنگین مورد بررسی قرار گرفت که در آن غلظت سرب در محدوده ۰/۳۹-۰/۰۱ میکروگرم بر گرم گزارش شد که نسبت به این مطالعه، سطوح آلودگی پایین‌تری داشتند (۳۱). غلظت بالای سرب در محیط‌های دریایی را می‌توان به منابع مختلفی از قبیل گازهای خروجی از وسایل نقلیه حاوی ترکیبات سرب

در این مطالعه غلظت عنصر سرب برای ماهی‌های کولی ($1/14 \pm 0/14$)، سفید ($4/54 \pm 0/75$)، سوف ($3/14 \pm 0/31$) و قزل‌آلای رنگین‌کمان ($2/51 \pm 0/24$) میکروگرم بر گرم بدست آمد که بیشترین مقدار آن در گونه ماهی سفید ($4/54 \pm 0/75$) میکروگرم بر گرم و کم‌ترین آن در ماهی کولی ($1/14 \pm 0/14$) میکروگرم بر گرم بدست آمد و تفاوت معنی‌داری بین گونه‌های مختلف مشاهده شد ($p \leq 0/05$).

میانگین غلظت کادمیوم در گونه‌های مختلف ماهی‌ها در محدوده ۰/۰۰۶-۰/۰۰۴ میکروگرم بر گرم متغیر بوده و گونه ماهی سفید بیش‌ترین مقدار (۰/۰۴) میکروگرم بر گرم را داشت و بین ماهی سفید و سوف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p > 0/05$).

میانگین غلظت آرسنیک در بافت عضله برای ماهی‌های کولی ($0/06 \pm 0/06$)، سفید ($1/36 \pm 0/15$)، سوف ($0/92 \pm 0/06$) و قزل‌آلای رنگین‌کمان ($0/68 \pm 0/04$) میکروگرم بر گرم بدست آمد و در بین گونه‌های مختلف ماهی تفاوت معنی‌داری مشاهده شد ($p \leq 0/05$). میانگین غلظت آرسنیک در مورد همه ماهی‌های مورد مطالعه از استاندارد (Codex) که حد مجاز ۰/۵ میکروگرم بر گرم را تعیین کرده بیش‌تر بود.

غلظت نیکل در این مطالعه در ماهیان مورد آزمایش در محدوده ۰/۶۳-۰/۱۶ میکروگرم بر گرم قرار داشت و در مورد دو گونه کولی و قزل‌آلای رنگین‌کمان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p > 0/05$) و در همه نمونه‌های مورد آزمایش از حداکثر مجاز توصیه شده توسط استاندارد سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA) و آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA) کم‌تر بود.

میانگین غلظت فلز سنگین کروم در بافت عضله ماهی‌های مورد آزمایش برای ماهی‌های کولی ($0/76 \pm 0/08$)، سفید ($1/52 \pm 0/17$)، سوف ($1/12 \pm 0/07$) و قزل‌آلای رنگین‌کمان ($0/96 \pm 0/06$) میکروگرم بر گرم بود که بیش‌ترین مقدار این آلاینده در گونه ماهی سفید و کم‌ترین آن در ماهی کولی به ترتیب با

Pimonwan و همکاران متوسط غلظت کادمیوم را در ماهی‌های مورد آزمایش در محدوده ۰/۰۰۹-۰/۰۳۱ میکروگرم بر گرم گزارش کردند که نسبت به این مطالعه سطوح بالاتری از غلظت کادمیوم را داشتند (۳۶). در مطالعه Alina و همکاران میزان کادمیوم در محدوده (۰/۵-۲/۴۷) میکروگرم بر گرم به دست آمد (۳۱).

در مطالعه Alina و همکاران میزان آرسنیک در گونه ماهی‌های دریایی مورد مطالعه (۰/۱۴-۶/۵۷) میکروگرم بر گرم بدست آمد که نسبت به مطالعه حاضر سطوح آلودگی بالاتری داشت (۳۱).

در مطالعه عسگری و کمره‌ئی (۱۳۸۵) میانگین غلظت سرب، کروم، کادمیوم و نیکل در بافت ماهیان پرورشی به ترتیب برای محل‌های مورد نظر ۰/۴۶، ۰/۰۶، ۰/۰۵۳ و ۰/۰۳ میلی‌گرم بر لیتر بر حسب وزن خشک ماهی به دست آمد. نتایج حاصل از انجام این پژوهش نشان داد که مقدار فلزات سنگین سرب، کادمیوم، کروم و نیکل به ترتیب در ۲۷ درصد، ۸ درصد، ۳ درصد و ۲۵ درصد نمونه‌های مورد مطالعه از حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی (WHO) کم‌تر بود (۳۳). احتمالاً وجود نیکل می‌تواند از آلودگی‌های نفتی حاصل شود. در مناطق بندری و شرقی مازندران تردد کشتی‌ها (به دلیل گمرک)، لنج‌ها و قایق‌های ماهیگیری زیاد بوده و آلودگی نفتی و در کنار آن آلودگی بعضی از فلزات را سبب می‌شوند (۱۴). بندانی و همکاران میانگین فلز کروم را در عضله ماهی کپور ۶۹/۹ میکروگرم بر گرم گزارش کردند، که نسبت به مطالعه حاضر از میزان بسیار بیش‌تری برخوردار بوده است که این را می‌توان به آلودگی بیش‌تر سواحل استان گلستان یا جذب بیش‌تر در ماهی کپور نسبت داد (۳۷).

Yilmaz و همکاران میزان کروم را بافت ماهیان مورد مطالعه در محدوده (۱/۰۳-۱/۷۹) میکروگرم بر گرم به دست آوردند که نسبت به این مطالعه که در محدوده (۰/۷۶-۱/۵۲) میکروگرم بر گرم قرار داشت، غلظت بالاتری را دارا بودند (۳۸).

، نشت نفت و سایر ترکیبات نفتی از کشتی‌ها و قایق‌های موتوری و پساب فاضلاب شهری و صنایع شیمیایی نسبت داد (۳۲).

مشروفه و همکاران در مطالعه‌ای که در حوزه جنوبی دریای خزر انجام دادند مشاهده کردند که میانگین غلظت کادمیوم برابر با (۰/۰۰۲±۰/۰۰۶) میکروگرم بر گرم بوده که این مقدار کمتر از حد استاندارد تعیین شده توسط سازمان کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان (UKMAFF) و سازمان بهداشت جهانی (WHO) می‌باشد (۳۳، ۱). شهریار و همکاران در مطالعه‌ای که در سواحل دریای خزر انجام دادند، دریافتند که میزان کادمیوم در عضله سه گونه از ماهی‌های کپور، کفال و سفید به ترتیب برابر با ۰/۰۱۴، ۰/۰۱۸ و ۰/۰۱۷ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده و از مقدار مجاز استاندارد سازمان جهانی بهداشت (WHO) کم‌تر بوده و از شرایط قابل قبول برای مصارف انسانی برخوردار می‌باشد (۳۳).

در مطالعه نجم و همکاران که به بررسی میزان غلظت فلزات سنگین در بافت‌های مختلف ماهی کلیکا و سه خاره دریای خزر پرداختند، مقادیر فلزات سنگین، سرب، کروم و کادمیوم در ماهی سه خاره به ترتیب ۰/۰۱۱±۰/۰۴۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک نمونه و میانگین غلظت کلی سرب، کروم و کادمیوم در ماهی کلیکا به ترتیب ۰/۰۰۵±۰/۱۲۶، ۰/۰۰۸±۴/۲۹ و ۰/۰۰۷±۰/۰۹۶ میکروگرم بر گرم وزن خشک نمونه به دست آمد (۳۴). در مطالعه سلگی و اسفندیاری که میزان سرب و کادمیوم را در بافت خوراکی ماهی کفال طلایی مورد بررسی قرار دادند، میزان غلظت کادمیوم و سرب را به ترتیب ۰/۰۶۷ و ۰/۰۷ میکروگرم بر گرم گزارش کردند که غلظت دو فلز در مطالعه حاضر پایین‌تر از حد مجاز FAO، MAFF و WHO بود (۱۶). Snaker و همکاران، میانگین غلظت کادمیوم را در گونه ماهی‌های دریایی مورد آزمایش ۰/۱ میکروگرم بر گرم گزارش کردند (۲۷).

در مطالعه Raja و همکاران که در آن میزان فلزات سنگین در چهار گونه ماهی دریایی بررسی شد، غلظت کروم را در محدوده (۰/۹۲ - ۰/۶۵) میکروگرم بر گرم تعیین کردند (۳۹). غلظت کروم در گونه‌های ماهی مورد مطالعه مطابق با استانداردها و معیارهای جهانی، برای مصارف انسانی مجاز است.

این مطالعه نشان داد که گونه‌های مختلف ماهی دارای غلظت‌های متفاوتی از فلزات سنگین در عضلاتشان هستند. بسیاری از محققان نشان داده‌اند که ذخیره زیستی فلزات سنگین به نوع گونه ماهی و محیط زیست و ... وابسته است. عادات تغذیه‌ای ماهی‌ها مانند گوشتخوار بودن، گیاه خوار بودن، همه چیز خوار بودن و نوع زیستگاه گونه‌ها به شدت می‌تواند سطح انباشت فلزات سنگین مختلف را تحت تاثیر قرار دهد (۳۹، ۳۷). علاوه بر تنوع گونه‌ها، تغییرات غلظت فلزات سنگین در گونه‌های مختلف ماهی می‌تواند به یکسری عوامل دیگر از جمله؛ اندازه (وزن و طول بدن)، جنس، سن و میزان رشد گونه های ماهی، نوع بافت‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرایط فیزیولوژیکی ماهی‌ها وابسته باشد. از دیگر عوامل تاثیر گذار بر غلظت فلزات سنگین در ماهی‌ها می‌توان به تفاوت‌های موجود در محیط‌های آبرزی مربوط به نوع و سطح آلودگی آب، شکل شیمیایی فلز در آب، دمای آب، pH، غلظت اکسیژن محلول و شفافیت آب اشاره کرد (۴۱، ۳۹). به طور کلی می‌توان گفت، تفاوت غلظت در بافت‌های مختلف ماهیان می‌تواند ناشی از تفاوت توان فلزات در غلبه بر پیوندهای فلزی پروتئین نظیر متالوتیونیدین‌ها باشد. گونه‌هایی که دارای مقادیری مشخص از متالوتیونیدین‌ها باشند می‌توانند سمیت این فلزات را از بین ببرند. معمولاً بافت عضله ماهیان دارای پایین‌ترین مقادیر غلظتی فلزات می‌باشد (۴۰، ۳۲، ۹).

در این مطالعه برآورد جذب روزانه (EDI) و برآورد جذب هفتگی (EWI) فلزات سنگین ناشی از مصرف هر یک از ماهی‌ها محاسبه شد. مقادیر این

فلزات برای خطرپذیری غیر سرطانزا (NHQ) برای جیوه، سرب، کادمیوم، آرسنیک، نیکل، قلع و کروم برای هر یک از گونه‌های ماهی مورد آزمایش در جدول شماره ۶ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول شماره ۵ دیده می‌شود پتانسیل خطرپذیری همه فلزات کم‌تر از یک است. در این پژوهش مقادیر به دست آمده از فلزات سنگین با حد مجاز و سطح استاندارد ارائه شده از سوی سازمان‌های بین‌المللی مانند WHO، EPA، UK-MAFF، Codex، FDA مقایسه شد (جدول شماره ۷). در نهایت میزان خطرپذیری کل (HI) عناصر در نمونه‌های عضله گونه‌های مختلف ماهی مورد آزمایش از طریق جمع NHQ هفت عنصر اندازه‌گیری شده (جیوه، سرب، کادمیوم، آرسنیک، نیکل، قلع و کروم) به دست آمد. این مقادیر برای ماهی‌های کولی ($10^{-3} \times 1/7$)، سفید ($10^{-3} \times 6$)، سوف ($10^{-4} \times 3/5$) و قزل‌آلای رنگین کمان ($10^{-3} \times 8/2$) به دست آمد.

مطالعات دیگری نیز به بررسی خطر غذایی (THQ) محصولات دریایی در دریای مازندران پرداخته‌اند، حسن پور و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی خطر غذایی فلزات، سرب، کادمیوم، روی و مس در ماهی سفید (*Rutilus frisii kutum*) در سواحل دریای مازندران پرداختند (۴۲)، نتایج آن‌ها حاکی از آن بوده است که هیچ‌گونه خطری در اثر مصرف ماهی سفید مصرف‌کنندگان را از نظر آلاینده‌های مذکور تهدید نمی‌کند (۴۲). نتایج بررسی صادقی باجگیران و همکاران (۲۰۱۶) در سواحل جنوبی دریای مازندران حاکی از آن بوده که هیچ‌گونه خطری مصرف‌کنندگان ماهی آلوزا و سوف را از نظر فلزات کروم، نیکل، مس و روی تهدید نمی‌کند (۴۳). نتایج بررسی علیپور و همکاران (۲۰۱۴) نیز حاکی از عدم وجود خطر برای مصرف‌کنندگان ماهی کلمه (*Rutilus rutilus*) از نظر فلزات کادمیوم، کروم، نیکل، آهن، آرسنیک، مس، روی و سرب در تالاب میانکاله بوده است (۱۵).

جدول شماره ۵: میانگین غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در بافت عضله گونه های مختلف ماهی مورد آزمایش (میکروگرم/گرم)

کروم (Cr)		قلع (Sn)		نیکل (Ni)		آرسنیک (As)		کادمیوم (Cd)		سرب (Pb)		جیوه (Hg)		گونه ماهی
Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	
۰٫۷۶ ^{Bd}	۰٫۰۸	۰٫۳۵ ^{Dc}	۰٫۰۲	۰٫۱۶ ^{Ec}	۰٫۰۱	۰٫۵۴ ^{Cd}	۰٫۰۶	۰٫۰۰۶ ^{Gc}	۰٫۰۰۱	۱٫۴۶ ^{Ad}	۰٫۱۴	۰٫۰۵ ^{Fd}	۰٫۰۱	کولی
۱٫۱۲ ^{Cb}	۰٫۱۷	۰٫۰۶ ^{Da}	۰٫۰۵	۰٫۰۶ ^{Da}	۰٫۰۷	۱٫۳۶ ^{Ba}	۰٫۱۵	۰٫۰۴ ^{Eb}	۰٫۰۱	۴٫۵۴ ^{Aa}	۰٫۷۵	۱٫۲۹ ^{Ba}	۰٫۲۳	سفید
۱٫۵۲ ^{Ba}	۰٫۰۴	۰٫۶۱ ^{Eb}	۰٫۰۲	۰٫۳۵ ^{Eb}	۰٫۰۲	۰٫۹۲ ^{Cb}	۰٫۰۶	۰٫۰۲ ^{Fb}	۰٫۰۱	۳٫۱۴ ^{Ab}	۰٫۳۱	۰٫۸۰ ^{Db}	۰٫۰۹	سوف
۰٫۹۶ ^{Bc}	۰٫۰۶	۰٫۳۹ ^{Db}	۰٫۰۱	۰٫۱۶ ^{Ec}	۰٫۰۲	۰٫۶۸ ^{Cc}	۰٫۰۴	۰٫۰۷ ^{Fa}	۰٫۰۱	۲٫۵۱ ^{Ac}	۰٫۲۴	۰٫۳۹ ^{Dc}	۰٫۰۷	قرآلی رنگین کمان

حروف متفاوت کوچک در جدول نشان دهنده تفاوت معنی دار در ستون و حروف متفاوت بزرگ نشان دهنده تفاوت معنی دار در ردیف است ($p \leq 0.05$).

جدول شماره ۶: محاسبه جذب روزانه و ارزیابی خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف هر یک از ماهی های مورد مطالعه در یک شخص ۷۰ کیلوگرمی

آلاینده	گونه ماهی	میزان جذب روزانه* (میکروگرم/گرم روز)	میزان جذب هفتگی** (میکروگرم/گرم هفته)	برآورد احتمال خطر پذیری غیر سرطانزا*** (دوز مرجع میکروگرم/گرم روز)
جیوه	کولی	۲۱۰ ^{-۵}	۱٫۴۱۰ ^{-۴}	۰٫۵
	سفید	۶۱۰ ^{-۴}	۴٫۲۱۰ ^{-۳}	۰٫۵
	سوف	۴۱۰ ^{-۴}	۲٫۸۱۰ ^{-۳}	۰٫۵
سرب	قرآلی	۲۱۰ ^{-۴}	۱٫۴۱۰ ^{-۳}	۰٫۵
	کولی	۷۱۰ ^{-۴}	۳٫۵۱۰ ^{-۳}	۱٫۵
	سفید	۲۱۰ ^{-۳}	۱٫۴۱۰ ^{-۲}	۱٫۵
کادمیوم	سوف	۱۱۰ ^{-۳}	۷۱۰ ^{-۳}	۱٫۵
	قرآلی	۱۱۰ ^{-۳}	۷۱۰ ^{-۳}	۱٫۵
	کولی	۳۱۰ ^{-۳}	۲٫۱۱۰ ^{-۲}	۰٫۲
آرسنیک	سفید	۲۱۰ ^{-۳}	۱٫۴۱۰ ^{-۲}	۰٫۲
	سوف	۹۱۰ ^{-۳}	۳٫۶۱۰ ^{-۲}	۰٫۲
	قرآلی	۳۱۰ ^{-۳}	۲٫۱۱۰ ^{-۲}	۰٫۲
نیکل	کولی	۲۱۰ ^{-۳}	۱٫۴۱۰ ^{-۲}	۰٫۵
	سفید	۶۱۰ ^{-۳}	۴٫۲۱۰ ^{-۲}	۰٫۵
	سوف	۴۱۰ ^{-۳}	۲٫۸۱۰ ^{-۲}	۰٫۵
قلع	قرآلی	۳۱۰ ^{-۳}	۲٫۱۱۰ ^{-۲}	۰٫۵
	کولی	۷۱۰ ^{-۳}	۴٫۹۱۰ ^{-۲}	۰٫۴
	سفید	۳۱۰ ^{-۳}	۲٫۱۱۰ ^{-۲}	۰٫۴
کروم	سوف	۱۱۰ ^{-۳}	۷۱۰ ^{-۳}	۰٫۴
	قرآلی	۱۱۰ ^{-۳}	۷۱۰ ^{-۳}	۰٫۴
	کولی	۳۱۰ ^{-۳}	۲٫۱۱۰ ^{-۲}	۰٫۴
خطری پذیری کل	کولی	۱۷۱۰ ^{-۳}	۱۱۰ ^{-۳}	۲۵۰
	سفید	۶۱۰ ^{-۳}	۳۵۱۰ ^{-۳}	۲۵۰
	سوف	۴۱۰ ^{-۳}	۲۸۱۰ ^{-۳}	۲۵۰
قرآلی	۸۲۱۰ ^{-۳}	۸۲۱۰ ^{-۳}	۲۵۰	

* Estimated Daily Intake (EDI)

** Estimated weekly intake (EWI)

*** Non-carcinogenic Hazard Quotient (NHQ)

جدول شماره ۷: مقایسه غلظت فلزات سنگین طبق استاندارد های جهانی (برحسب میکروگرم بر گرم)

کروم	قلع	نیکل	آرسنیک	کادمیوم	سرب	جیوه	استاندارد جهانی
-	۲۵۰	۰٫۴	-	۰٫۲	۱٫۵	۰٫۵	سازمان جهانی بهداشت* (WHO)
۰٫۵	-	-	۰٫۵	۰٫۵	۱	۰٫۵	کدکس غذایی (Codex)
-	-	-	-	۰٫۲	۲	۰٫۵	وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان** (UK-MAFF)
-	-	۱	-	۲	۵	۱	سازمان غذا و داروی امریکا*** (FDA)
-	-	۱	-	۲	۰٫۳	-	آژانس حفاظت از محیط زیست امریکا**** (EPA)
۱٫۵۲	۰٫۶۳	۰٫۶۳	۱٫۳۶	۰٫۰۷	۱٫۴۶	۰٫۰۵	مطالعه حاضر (بیشترین مقدار)
۰٫۷۶	۰٫۳۵	۰٫۱۶	۰٫۵۴	۰٫۰۰۶	۴٫۵۴	۱٫۲۹	مطالعه حاضر (کمترین مقدار)

* World Health Organization

** Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (United Kingdom)

*** Food and Drug Administration

**** United States Environmental Protection Agency

در معرض فلزات سنگین قرار می گیرد، مصرف ماهی به عنوان یکی از راه های اصلی شناخته شده جذب فلزات سنگین و دیگر آلاینده ها است (۱۵). بنابراین، با

وجود فلزات سنگین در ماهی خطرهای بالقوه بهداشتی برای ماهی و انسان به عنوان مصرف کننده آن در برخواهد داشت. اگر چه انسان از مسیرهای متفاوتی

وجود داشته باشند ولی تعیین نشده‌اند، نمی‌پردازد. ب) اثرات هم افزایی یا کاهش آلاینده‌ها با یکدیگر در نظر گرفته نمی‌شود، به عنوان مثال سلیوم اثرات سمی جیوه را کاهش می‌دهد در حالی که این موارد در THQ در نظر گرفته نمی‌شوند. ج) سمیت فلزات به طور عمده به دسترس پذیری زیستی آنها بستگی دارد، به عنوان مثال اعتقاد بر این است که آرسنیک یکی از سمی‌ترین عناصر است، اما می‌تواند به شکل غیرسمی آرسنوبتائین در ماهی‌ها وجود داشته باشد و نباید خطر آنها را باهم یکسان در نظر گرفت. بنابراین نحوه کنونی ارزیابی ریسک غذایی برای فلزات بایستی بهبود پیدا کند.

با توجه به نتایج مطالعه حاضر میزان فلزات سنگین در بافت عضلانی گونه‌های مختلف ماهی عرضه شده در بازار بزرگ ماهی رشت، کمتر از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی بوده و مخاطره‌ای از نظر تجمع این فلزات در بدن برای مصرف‌کنندگان به دنبال نخواهد داشت و از طرفی با توجه به برآورد مصرف روزانه و هفتگی و پتانسیل مواجهه انسان با فلزات سنگین در نتیجه مصرف ماهی با توجه به سطوح باقی‌مانده جیوه، سرب، کادمیوم، آرسنیک، نیکل، قلع و کروم، بی‌خطر بودن آن قابل توجه بوده و خطر بالقوه بهداشتی در ارتباط با این آلاینده‌ها سلامت انسان را تهدید نمی‌کند. اما نظارت مستمر بر سطوح فلزات سنگین در ماهی‌های عرضه شده در بازار، جهت اطمینان از بالاتر نبودن از حد مجاز استاندارد‌های جهانی ضروری به نظر می‌رسد.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از پایان‌نامه مقطع دکتری (PhD) بهداشت مواد غذایی دانشکده دامپزشکی دانشگاه ارومیه بوده و همچنین نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از مدیریت محترم آزمایشگاه گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی تهران آقای دکتر شاهرخ نظم آرا نهایت تشکر و قدردانی را اعلام نمایند.

بالا رفتن سرانه مصرف ماهی در ایران در معرض قرار گرفتن انسان با فلزات سنگین افزایش می‌یابد. عضله بافت مهمی در پایش معمول آلودگی فلزی است به دلیل آن که توسط انسان مصرف می‌شود. احتمال خطر پذیری غیرسرطان‌زای (NHQ) هر فلز مورد مطالعه در این مطالعه، به طور کلی کم‌تر از یک بود که نشان می‌دهد که خطر بهداشتی قابل توجهی از جذب فلزات از طریق گونه‌های مختلف ماهی عرضه شده در بازار بزرگ ماهی رشت مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند. سلگی و اسفندیاری هم‌چنین در مطالعه خود سرب و کادمیوم را در بافت خوراکی ماهی کفال طلائی (Liza aurata) سواحل بندر انزلی اندازه‌گیری کردند، جذب روزانه برآورد شده (EDI) هر دو فلز از طریق مصرف ماهی کفال طلائی برای مردم بومی ساحل بندرانزلی زیر حد مجاز روزانه قابل تحمل برای یک شخص ۷۰ کیلوگرمی (PTDI-70) تعیین شده توسط EPA بود. بنابراین، نتیجه گرفتند که مصرف ماهی کفال از لحاظ آلودگی به سرب و کادمیوم، هیچ مشکلی برای سلامت انسان ایجاد نمی‌کند (۲۵). روند خطرپذیری کل (HI) فلزات سنگین ناشی از مصرف هر یک از گونه‌های ماهی مورد مطالعه به شکل قزل‌آلای رنگین‌کمان < سفید < سوف < کولی بود. این مطالعه نشان داد که مصرف ماهی قزل‌آلای بالاترین و مصرف ماهی کولی کم‌ترین خطر بهداشتی بالقوه و عوارض جانبی برای افراد است، که پرورشی بودن ماهی قزل‌آلای می‌تواند دلیلی برای توجه این ادعا باشد. با نگرش به این که قرار گرفتن در معرض بیش از یک آلاینده ممکن است تأثیر افزایشی بر روی موجودات داشته باشد. اگرچه THQ به منظور ارزیابی خطر مصرف مواد غذایی بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد اما دارای اشکالاتی نیز می‌باشد از جمله: الف) تنها به بررسی اثرات آلاینده‌ای می‌پردازد که تعیین شده و مورد هدف هستند در صورتی که به بررسی سایر آلاینده‌هایی که ممکن است در ماده غذایی

References

- Mashroofeh A, Alireza Riyahi Bakhtiari A, Pourkazemi M. Evaluation of cadmium, vanadium, nickel and zink concentrations in different tissues of beluga and stellate sturgeon and risk assessment regarding consuming their muscle tissue in south Caspian Sea. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2013; 22(96): 89-96 (Persian).
- Bosch AC, O'Neill B, Sigge GO, Kerwath SE, Hoffman LC. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *J Sci Food Agric* 2016; 96(1): 32-48.
- Sargent JR, Tocher DR, Bell JG. The lipids In: *Fish nutrition*. 3th ed. Halver J E, Hardy R W. Amsterdam: Elsevier Science; 2002; p: 181-257.
- World Health Organization. Global strategy on diet, physical activity and health: a framework to monitor and evaluate implementation. Geneva: World Health Organization; 2006.
- Justi K, Hayashi C, Visentainer J, De Souza N, Matsushita M. The influence of feed supply time on the fatty acid profile of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) fed on a diet enriched with n-3 fatty acids. *Food Chem* 2003; 80(4): 489-493.
- Kütter M, Monserrat J, Primel E, Caldas S, Tesser M. Effects of dietary α -lipoic acid on growth, body composition and antioxidant status in the Plata pompano *Trachinotus marginatus* (Pisces, Carangidae). *Aquaculture* 2012; 368-369: 29-35.
- Shariatifar N, Mozaffari Nejad AS, Ebadi Fathabad A. Assessment of heavy metal content in refined and unrefined salts obtained from Urmia, Iran. *Toxin Reviews* 2017; 36(2): 89-93.
- Li P, Feng X, Qiu G, Shang L, Li Z. Mercury pollution in Asia: a review of the contaminated sites. *J Hazard Mater* 2009; 168(2): 591-601.
- Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. *EXS*. 2012; 101: 133-164.
- Elnabris KJ, Muzyed SK, El-Ashgar NM. Heavy metal concentrations in some commercially important fishes and their contribution to heavy metals exposure in Palestinian people of Gaza Strip (Palestine). *Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences* 2013; 13(1): 44-51.
- Ahmed MK, Shaheen N, Islam MS, Habibullah-al-Mamun M, Islam S, Mohiduzzaman M, et al. Dietary intake of trace elements from highly consumed cultured fish (*Labeo rohita*, *Pangasius pangasius* and *Oreochromis mossambicus*) and human health risk implications in Bangladesh. *Chemosphere* 2015; 128: 284-92.
- Fathabad A, Shariatifar N, Ehsani A, Sayadi M. Evaluation of toxic metals in canned fish market in Tehran. *IJPSR* 2015; 6: 818-822.
- Hassanpour M, Rajaei G, Sinka Karimi MH, Ferdosian F, Maghsoudloorad R. Determination of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Cu) in Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) from Miankaleh International Wet-land and human health risk. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 24(113): 176-83 (Persian).
- Tabari S1, Saravi SS, Bandany GA, Dehghan A, Shokrzadeh M. Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled

- form Southern Caspian Sea, Iran. *Toxicol Ind Health* 2010; 26(10): 649-656.
15. Alipour H, Pourkhabbaz AR, Hassanpour M. Assessing of Heavy Metal Concentrations in the Tissues of *Rutilus rutilus caspicus* and *Neogobius gorlap* from Miankaleh International Wetland. *Bull Environ Contam Toxicol* 2013; 91(5): 517-521.
 16. Solgi E, Esfandi Sarafraz J. Determination of lead and cadmium in edible tissues of *Liza aurata* in Bandar-e Anzali: Accumulation and Risk of Consumption. *J Aqu Eco* 2015; 5(1): 43-34 (Persian).
 17. Noel L, Leblanc J-C, Guerin T. Determination of several elements in duplicate meals from catering establishments using closed vessel microwave digestion with inductively coupled plasma mass spectrometry detection: estimation of daily dietary intake. *Food Additives & Contaminants* 2003; 20(1): 44-56.
 18. Millour S, Noël L, Kadar A, Chekri R, Vastel C, Guérin T. Simultaneous analysis of 21 elements in foodstuffs by ICP-MS after closed-vessel microwave digestion: Method validation. *J Food Compost Anal* 2011; 24(1): 111-120.
 19. Shokrzadeh M, Saberyan M, Saeedi Saravi S S. Assessment of lead (Pb) and cadmium (Cd) in 10 samples of Iranian and foreign consumed tea leaves and dissolved beverages. *Environ Toxicol Chem* 2008; 90(5): 879-883.
 20. Shokrzadeh M, Saeedi Saravi S S. The study of heavy metals (zinc, lead, cadmium, and chromium) in water sampled from Gorgan coast (Iran), Spring 2008. *Environ Toxicol Chem* 2009; 91(3): 405-407.
 21. Fathabad AE, Shariatifar N, Moazzen M, Nazmara S, Fakhri Y, Alimohammadi M, et al. Determination of heavy metal content of processed fruit products from Tehran's market using ICP-OES: a risk assessment study. *Food Chem Toxicol* 2018; 115: 436-446.
 22. Gray P, Mindak W, Cheng J. *Elemental Analysis Manual for food & related products. Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometric Determination of Arsenic, Cadmium, Chromium, Lead, Mercury, and Other Elements in Food Using Microwave Assisted Digestion.* New Hampshire. US Food and Drug Administration; 2015.
 23. Chien LC, Hung TC, Choang KY, Yeh CY, Meng PJ, Shieh MJ, et al. Daily intake of TBT, Cu, Zn, Cd and As for fishermen in Taiwan. *Sci Total Environ.* 2002; 285(1-3): 177-185.
 24. Hallenbeck WH. *Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health.* Chelsea: Lewis; 1993.
 25. Agus T, Kunito T, Sudaryanto A, Monirith I, Kan-Atireklap S, Iwata H, et al. Exposure assessment for trace elements from consumption of marine fish in Southeast Asia. *Environ Pollut* 2007; 145(3): 766-777.
 26. Zhuang P, Li ZA, McBride MB, Zou B, Wang G. Health risk assessment for consumption of fish originating from ponds near Dabaoshan mine, South China. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013; 20(8): 5844-5854.
 27. Sankar T, Zynudheen A, Anandan R, Nair PV. Distribution of organochlorine pesticides and heavy metal residues in fish and shellfish from Calicut region, Kerala, India. *Chemosphere* 2006; 65(4): 583-590.
 28. Sivaperumal P, Sankar T, Nair PV. Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food Chem* 2007; 102(3): 612-620.

29. Cirillo T, Fasano E, Viscardi V, Arnese A, Amodio-Cocchieri R. Survey of lead, cadmium, mercury and arsenic in seafood purchased in Campania, Italy. *Food Addit Contam Part B Surveill* 2010; 3(1): 30-38.
30. Galimberti C, Corti I, Cressoni M, Moretti VM, Menotta S, Galli U, et al. Evaluation of mercury, cadmium and lead levels in fish and fishery products imported by air in North Italy from extra-European Union Countries. *Food Control* 2016; 60: 329-337.
31. Alina M, Azrina A, Mohd Yunus A, Mohd Zakiuddin S, Mohd Izuan Effendi H, Muhammad Rizal R. Heavy metals (mercury, arsenic, cadmium, plumbum) in selected marine fish and shellfish along the Straits of Malacca. *Food research international* 2012; 19(1): 59-66.
32. Olmedo P, Pla A, Hernández A, Barbier F, Ayouni L, Gil F. Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environ Int* 2013; 59: 63-72.
33. Shahryari A, Golfirozy K, Noshin S. Muscular concentration of cadmium and lead in crap mullet and Kutum of the Gorgan Bay Caspian sea. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 2010; 19(2): 95-91 (Persian).
34. Najm M, Shokrzadeh M, Fakhar M, Sharif M, Hosseini SM, RahimiEsboei B, et al. Concentration of heavy metals (Cd, Cr and Pb) in the tissues of *Clupeonella cultriventris* and *Gasterosteus aculeatus* from Babolsar coastal waters of Mazandaran Province, Caspian Sea. *J Mazandaran Univ Med Sci* 2014; 24(113): 185-192 (Persian).
35. Kerdthep P, Tongyongk L, Rojanapantip L. Concentrations of cadmium and arsenic in seafood from Muang District, Rayong Province. *J Health Res* 2009; 23(4): 179-184.
36. Asgari Q, Kamarei B. Study of heavy metals concentration Cd, Cr, Pb and Ni, in cultured ponds fishes of Khorramabad city in 2006. *Yafte* 2009; 11(1): 71-78 (Persian).
37. Bandany Gh, Khoshbavar H, Yelghi S, Shokrzadeh M, Nazari H. Concentration of heavy metals (Cd, Cr, Zn, and Pb) in muscle and liver tissues of common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758) from coastal waters of Golestan Province. *Iranian Scientific Fisheries Journal* 2010; 19(4): 1-10 (Persian).
38. Yilmaz Ab. Comparison of heavy metal levels of grey mullet (*Mugil cephalus* L.) and sea bream (*Sparus aurata* L.) caught in Iskenderun Bay (Turkey). *Turk J Vet Anim Sci* 2005; 29(2): 257-262.
39. Raja P, Veerasingam S, Suresh G, Marichamy G, Venkatachalapathy R. Heavy metals concentration in four commercially valuable marine edible fish species from Parangipettai Coast, South East Coast of India. *Asian J Anim Vet Adv* 2009; 1(1): 10-14.
40. Al-Majed NB, Preston MR. An assessment of the total and methyl mercury content of zooplankton and fish tissue collected from Kuwait territorial waters. *Mar Environ Res* 2000; 40(4): 298-307.
41. Naeem M, Salam A, Tahir S, Rauf N. The effect of fish size and condition on the contents of twelve essential and non essential elements in *Aristichthys nobilis*. *Pak Vet J* 2011; 31(2): 109-112.
42. Hassanpour M, Rajaei G, Sinka Karimi MH, Ferdosian F, Maghsoudloorad R. Determination of heavy metals (Pb, Cd, Zn and Cu) in Caspian kutum (*Rutilus frisii kutum*) from Miankaleh International Wet-land and human

- health risk. J Mazandaran Univ Med Sci 2014; 24(113): 176-183 (Persian).
43. Sadeghi Bajgiran S, Pourkhabbaz AR, Hasanpour M, Sinka Karimi MH. A study on Zinc, Nickel, and Vanadium in fish muscle of Alosa caspia and Sander lucioperca and food risk assessment of its consumption in the southeast of the Caspian Sea. IJHE 2016; 8(4): 423-432.

Archive of SID