CC BY

مقاله علمی – پژوهشی:

ارزیابی خطر سلامت و سطوح فلزات سمی در ماهی سفید (*Rutilus kutum*) دریای خزر

یزدان مرادی[۱]، حسن نصراله زاده ساروی*[۲]، مینا سیف زاده[۳]، مریم رضائی[۲]، غلامرضا دریانبرد[۲]، شراره فیروزکندیان[۲]

*hnsaravi@gmail.com

۱- مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
۲ – پژوهشکده اکولوژی دریای خزر، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۳ – مرکز ملی تحقیقات فرآوری آبزیان، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، بندر انزلی، ایران

تاریخ دریافت: شهریور ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: بهمن ۱۴۰۲

چکیده

در مقاله حاضر غلظت کل عناصر سنگین سمی از قبیل سرب، کادمیم، جیوه، و آرسنیک که از عناصر اجباری سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان کشاورزی و غذایی سازمان ملل (FAO) هستند، در بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر از نظر سلامت تعیین گردید. ۹۰ عدد نمونه ماهی سفید در سه استان شمالی (گیلان، مازندران و گلستان) طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹ جمع‌آوری گردید. غلظت فلزات سرب، کادمیم، جیوه و آرسنیک در بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر (*Rutilus kutum*) به روش استاندارد و هضم اسیدی با دستگاه جذب اتمی با استفاده از شعله، کوره گرافیتی و بخار سرد تجزیه‌وتحلیل گردیدند. نتایج نشان داد که غلظت ۹۰ درصد از کل داده‌ها (صدک ۹۰٪) فلزات سمی در بافت ماهی سفید به‌ترتیب Cd>As>Hg>Pb کاهش یافت. مقادیر کادمیم، آرسنیک، سرب و جیوه در بافت ماهی سفید به‌ترتیب ۰/۳۱-۰/۰۰۹، ۰/۱۵-۰/۰۰۱، ۰/۰۶۰-۰/۰۰۱، ۰/۰۲۰-۰/۰۰۱ میلی گرم بر کیلوگرم وزن تر بود. همچنین تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها نشان داد که دو نوع همبستگی بین غلظت فلزات و اندازه طول کل و وزن ماهی سفید به‌دست آمد: برای Cd با طول کل (r=-۰/۴۶) و با وزن ماهی (r=-۰/۵۱)، برای As با طول کل (r=۰/۳۰) و با وزن ماهی (r=۰/۲۷) به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت نشان داد، اما فلزات جیوه و سرب با پارامترهای زیست‌سنجی، همبستگی نشان نداد. مقایسه نتایج حاضر با استانداردهای جهانی نشان داد که چهار فلز سمی کادمیم، آرسنیک، سرب و جیوه کمتر از غلظت استانداردهای WHO و FAO بوده است. یافته‌ها نشان داد که پارامترهای ارزیابی خطر سلامت (EDI، HQ و THQ) برای همه فلزات بسیار پایین‌تر از مقادیر توصیه شده است. این امر نشان داد که مصرف ماهی سفید دریای خزر در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر سلامت انسان ناشی از آلودگی فلزات سمی نداشته است.

لغات کلیدی: فلزات سنگین، بافت خوراکی، ماهی سفید دریای خزر، ارزیابی ریسک خطر

*نویسنده مسئول

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

مقدمه

بسیاری از مردم سراسر جهان به عنوان بخشی از رژیم غذایی روزانه خود به ماهی وابسته هستند. ماهی و غذاهای دریایی اجزاء سالم تغذیه انسان هستند که بسیاری از مواد مغذی ضروری مانند پروتئین‌های با ارزش بالا، ویتامین‌های مختلف، مواد معدنی و اسیدهای چرب غیر اشباع امگا ۳ را تأمین می‌کنند. در برخی از جوامع، ماهی می‌تواند منبع اصلی غذایی باشد که به طور اساسی به امنیت غذایی کمک می‌کند. آبزیان مستقل از محیط زندگی خود نیستند. ماهیان می‌توانند عناصر فلزی ضروری و غیر ضروری را از طریق آب، رسوبات و رژیم غذایی جذب کند. اگرچه ماهی و غذاهای دریایی دارای مزایای متعددی برای سلامتی هستند، اما آلودگی‌های موجود در این گروه غذایی نیز می‌تواند تهدیدی جدی برای سلامت مصرف‌کنندگان باشد. از بین آلاینده‌های مختلف محیطی، فلزات و متالوئیدها از جمله رایج‌ترین سموم انباشته شده در ماهی و غذاهای دریایی هستند که در صورت مصرف بیش از حد مجاز می‌توانند منجر به مشکلاتی در سلامت جوامع انسانی گردد (Ramzy *et al.*, 2021).

عناصر فلزی به طور طبیعی در محیط وجود دارند، اما از طریق فعالیت‌ها و آلودگی‌های صنعتی (عوامل انسان ساخت)، غلظت آنها قابل افزایش هستند. غلظت و جذب این فلزات در آبزیان دریایی به عوامل بیولوژیک اختصاصی گونه، محیط و نیز خصوصیات فلزات وابسته است. بعضی از پژوهشگران نشان داده‌اند که گونه‌های مختلف ماهی، فلزات را با نرخ‌های مختلف و در سطوح مختلف تجمع می‌دهند. از این‌رو، فلزات مختلف در گونه‌های ماهی به طور متفاوتی تجمع می‌یابند. همچنین یک فلز در مقادیر مختلفی در بافت‌های مختلف ماهی تجمع می‌یابد. بنابراین، هنگام تعیین امنیت غذایی (از منظر کیفیت) مصرف کننده ماهی در رابطه با مقادیر فلزات، ضروری است که این عوامل در نظر گرفته شوند (Tuzen, 2009). نکته حائز اهمیت این است که همه فلزات برای ماهیان و انسان خطرناک و سمی نیستند به‌طوری‌که عناصر فلزی به دو گروه ضروری و غیرضروری یا سمی طبقه‌بندی می‌شوند. عناصر ضروری مانند آهن، مس، روی و سلنیوم هستند که نقش ضروری در متابولیسم بدن انسان به‌عهده دارند. ثابت شده است که عناصر غیر ضروری عملکرد اختصاصی در متابولیسم بدن به‌عهده ندارند، اما مصرف آنها در مقادیر قابل‌توجه به منزله سمی برای انسان به‌شمار نمی‌روند. اخیراً عناصر سمی از جمله کروم، نیکل، کادمیوم، جیوه، سرب و آرسنیک معمولاً به آلودگی مرتبط هستند و هنگامی که در غلظت‌های بیش از حد مجاز مصرف شوند، می‌توانند اثرات مضری بر سلامت بافت‌های زنده جوامع انسانی داشته باشند (Bosch *et al.*, 2016).

از آن‌جایی‌که فلزات دارای درجه سمیت متفاوتی هستند، حداکثر مقدار مجاز و جذب هفتگی موقت قابل تحمل فلزات برای حفاظت از مصرف‌کننده به طور اختصاصی تعیین می‌شود. حداکثر مقدار مجاز برای محصولات غذایی اختصاصی هستند و محدودیتی را تجویز می‌کند که بیشتر از آن مصرف‌کنندگان در معرض سطوح آلاینده‌های مضر قرار می‌گیرند درحالی‌که جذب هفتگی موقت قابل تحمل فلزات نشان‌دهنده تماس هفتگی مجاز انسان با آلاینده‌های فلزی است که به طور اجتناب‌ناپذیری با مصرف بعضی از غذاهای مفید و مغذی مرتبط است. همچنین این محدودیت‌ها می‌توانند برای گونه‌های مختلف اختصاصی باشند، زیرا تجمع فلز تحت تأثیر توسعه و متابولیسم موجودات زنده قرار می‌گیرد. به دلیل در نظر گرفتن الگوی مصرف ماهیان در جمعیت‌های مختلف کشورهای جداگانه می‌توانند حداکثر مقدار مجاز منحصربه‌فرد داشته باشند که با مقررات عمومی متفاوت است (Elbeshti *et al.*, 2018).

اگرچه بسیاری از مواد غذایی ممکن است حاوی آلاینده‌های فلزی بالاتر از حد مجاز باشند، اما ماهیان دریایی از مواد غذایی به‌شمار می‌روند که دارای بیشترین میزان فلزات هستند و فلزاتی مانند جیوه، سرب، کادمیم، و آرسنیک اکثر این فلزات را تشکیل می‌دهند. با توجه به گزارش‌های متعدد از غلظت بالای این فلزات در ماهیان دریایی و اثرات زیان‌بار احتمالی آنها برای مصرف کنندگان، آنها در بررسی فعلی مورد توجه قرار گرفتند، از این‌رو، مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت فلزات سمی جیوه، سرب، کادمیم و آرسنیک و آلودگی منابع دریای خزر، پیامدهای آنها بر سلامت انسان با جمع‌آوری داده‌ها و مقایسه نتایج به‌دست آمده با حد مجازهای ملی و بین‌المللی انجام شد.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

مواد و روش کار

تعداد ۹۰ عدد ماهی سفید در فصول پاییز و زمستان دو سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در سه استان شمالی کشور (گیلان، مازندران و گلستان) با اندازه‌های مختلف جمع‌آوری شدند. برای نمونه‌های ماهی جمع‌آوری شده پس از بیومتری (اندازه طول، وزن تر و جنسیت)، بافت خوراکی ماهیان با استفاده از وسایل استریل (تیغ اسکارپل اتوکلاو شده) برش داده شد. نمونه‌های آماده شده سپس به روش خشک کردن به طریق انجماد (فریز درایر) صورت پذیرفت. فلزات Cd، Pb و As با کوره گرافیتی و فلز جیوه (Hg) با بخارات سرد اتمی[1] تعیین غلظت گردید (APHA, 2017). در مطالعات مختلف مقادیر این فلزات با استانداردهایی مانند سازمان بهداشت جهانی، بهداشت ملی و شورای تحقیقات پزشکی استرالیا و وزارت زراعت، شیلات و مواد غذایی انگلستان، شورای ملی تحقیقات بهداشت و درمان و آژانس حفاظت محیطی ایالت متحده سازمان کشاورزی و غذایی سازمان ملل مقایسه شدند (شکل ۱).

شکل ۱: تصویر ماهی سفید دریای خزر در این مطالعه طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Figure 1: The image of the *Rutilus kutum* of the Caspian Sea in this study during the years of 2021-2022

مصرف روزانه قابل تحمل و مصرف تخمینی روزانه

مصرف تخمینی روزانه (EDI) به طور مستقیم با غلظت فلز، مصرف غذا و وزن بدن مرتبط است. مفروضات ذیل در این تحقیق برای تخمین خطر فلزات سنگین ناشی از مصرف ماهی در حد افراطی مطرح شد. دوز مصرفی برابر با دوز آلاینده جذب شده بود. میانگین وزن بدن بزرگسالان ایران ۷۰ کیلوگرم بود. میانگین مصرف روزانه ماهی در ایران براساس سالنامه شیلات ایران برابر ۳۷ گرم در روز است EDI فلزات سنگین برای بزرگسالان به صورت ذیل محاسبه شد:

$$EDI = \frac{CxCcons}{Bw}$$

C: غلظت فلزات سنگین در ماهی (میلی‌گرم برکیلوگرم وزن مرطوب)، Ccons: میانگین مصرف روزانه ماهی در منطقه محلی (۳۷ گرم/روز وزن بدن) و Bw: نشان‌دهنده وزن بدن (۷۰ کیلوگرم) است. در جدول ۱ دستورالعمل‌های بین‌المللی برای هر فلز سنگین ارائه شده است.

جدول ۱: پارامترهای مواجهه مورد استفاده برای تخمین خطرات سلامتی از طریق مصرف ماهی (USEPA, 2012)

Table 1: Exposure parameters used to estimate health risks from fish consumption (USEPA, 2012)

Parameter	Unit	Adult
Body Weight (BW)	Kg	70
Exposure Frequency (EF)	Days/ years	365
Exposure Duration	Years	30
Ingestion Rate (IRfish)	mg/day	100
Average Time (AT) For carcinogenic	Days/years	365×70
Average Time (AT) For non-carcinogenic	Days/years	365x ED

تعیین ضریب سیبل خطر (THQ)

THQ که نسبت دوز مواجهه به دوز مرجع (RfD) است، نشان‌دهنده خطر اثرات غیر سرطان زاست. اگر کمتر از ۱ باشد، سطح در معرض کمتر از RfD است که نشان می دهد که قرار گرفتن در معرض روزانه در این سطح، به احتمال زیاد اثرات منفی سلامت در طول زندگی فرد ایجاد نمی‌کند و بالعکس. مدل توصیف شده برای تخمین THQ با معادله ذیل استفاده شد:

$$THQ = \frac{EFrxEDtotxFIRxC}{RfDoxBwxATn} x10^{-3}$$

Efr: فرکانس قرار گرفتن در معرض (۳۵۰ روز در سال)؛ EDtot: مدت زمان قرار گرفتن در معرض (۳۰ سال)؛ FIR:

[1] Cold vapor

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

نرخ مصرف غذا (گرم در روز)؛ ۳- ۱۰ ضریب تبدیل واحد؛ C: غلظت فلزات سنگین در ماهی (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر)؛ RfDo: معادل RfD خوراکی است (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)؛ وزن متوسط وزن بدن بزرگسالان (۷۰ کیلوگرم)؛ ATn: میانگین زمان قرار گرفتن در معرض مواد غیر سرطان‌زاست (۳۶۵ روز در سال× تعداد سال‌های مواجهه، با فرض ۳۰ سال).

تعیین ضریب خطر (HQ)

$$HQ = \frac{EDI}{RfD}$$

HQ: ضریب خطر، RfD: دوز مرجع (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) است (جدول ۲). مقادیر HQ<۱ نشان‌دهنده اثرات نامطلوب سلامتی غیر محتمل است درحالی‌که مقادیر HQ>۱ نشان‌دهنده یک اثر نامطلوب سلامتی است.

جدول ۲: دوز مرجع (RfD= Reference Dose) عناصر فلزی (میکروگرم برکیلوگرم در روز)

Table 2: Reference dose (RfD) of heavy metal (µg/kg-day)

Metal	Concentration	Reference
Cd	1.00	EPA, 1989
As	0.30	EPA, 2019
Hg	0.30	EPA, 2001
Pb	0.16	FDA, 2018

تعیین ضریب سیبل خطر کل (HI/TTHQ)

در این مطالعه، THQ کل به صورت مجموع حسابی بیان شد. مقادیر THQ هر فلز با توجه به روش ذیل محاسبه می‌گردد:

Total THQ (TTHQ) = THQ (toxicant 1) + THQ (toxicant 2) + THQ (toxicant n)

شاخص آلودگی فلزی (MPI)[1]

شاخص آلودگی فلزی یک مدل ریاضی است که ارزش تمام فلزات را در یک شکل واحد نشان می دهد. MPI یک شاخص معتبر و دقیق برای نظارت بر آلودگی HMs در غذا و اکوسیستم آبی است. در این مطالعه، مقادیر MPI به عنوان میانگین هندسی مقادیر HMs در ماهیچه ماهی سفید دریای خزر با ریشه ۴ با استفاده از فرمول ۵ گزارش شده از Usero و همکاران (۱۹۹۷) محاسبه شد.

$$MPI=(C_{Cd}*C_{As}*C_{Hg}*C_{Pb})^{\wedge 1/4} \quad \mathbf{5}$$

C: غلظت برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر است.

روش تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها

داده‌های عناصر فلزی به صورت میانگین±انحراف معیار (SD) بیان می شوند. نمودارها از داده‌های میانگین±انحراف معیار (SD) ترسیم شدند. مقادیر P کمتر است از α=۰/۰۵ معنی‌دار در نظر گرفته شد. در ضمن، در این مطالعه از داده‌های صدک ۲۹۰ استفاده شده است. از آنالیز واریانس (واریانس یک طرفه آنالیزها) برای یافتن این‌که آیا تفاوت معنی‌داری بین مقادیر HMs در نمونه‌های بافت ماهی وجود دارد یا خیر، استفاده شده است.

نتایج

نتایج نشان داد که غلظت صدک ۹۰ فلزات سمی در بافت ماهی سفید به‌ترتیب Cd > As > Hg > Pb کاهش یافت. مقادیر کادمیم، آرسنیک، سرب و جیوه در بافت ماهی سفید به‌ترتیب ۰/۰۰۹-۰/۳۱، ۰/۰۰۱-۰/۱۵، ۰/۰۰۱-۰/۰۶۰، ۰/۰۰۱-۰/۰۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر بود. دو نوع همبستگی بین غلظت فلزات و اندازه طول کل، چنگالی و فورک ماهی سفید دریافت شد: برای As (r=-۰/۳۶)، Pb (r=-۰/۴۳)، منفی و هیچ همبستگی برای Hg و Cd وجود ندارد. کادمیم با درصد رطوبت ارتباط مستقیم دارد، لذا، در محدوده استان مازندران با حداکثر درصد رطوبت، حداکثر غلظت کادمیم نیز دیده می شود. جیوه که با وزن ماهی ارتباط مستقیم دارد، در محدوده استان گلستان غلظت جیوه نیز حداکثر گردید. فلزات سرب و آرسنیک به طور معنی‌داری با متغیرهای طولی همبستگی معکوس نشان

[1] Metal Pollution Index (MPI)
[2] Percentil 90%

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

دادند. لذا، در در محدوده استان گلستان که حداکثر متغیر طولی (ماهیان ماده) ثبت شد، حداقل آرسنیک و سرب ثبت شد.

در جدول ۳ ضریب همبستگی پیرسون پارامترهای زیست‌سنجی ماهی سفید دریای خزر با فلزات سنگین در سه استان ساحلی شمال کشور ارائه شده است. دو نوع همبستگی بین غلظت فلزات کادمیم و آرسنیک با اندازه طول کل و وزن ماهی سفید دریای خزر ثبت شد: برای Cd با طول کل (r=-۰/۴۶) و با وزن ماهی (r=-۰/۵۱)، برای As با طول کل (r=۰/۳۰) و با وزن ماهی (r=۰/۲۷) به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت نشان داد، اما فلزات جیوه و سرب با پارامترهای زیست‌سنجی همبستگی را نشان ندادند.

جدول ۳: ضریب همبستگی پیرسون پارامترهای زیست سنجی ماهی سفید دریای خزر با فلزات سنگین در سه استان ساحلی شمال کشور

Table 3: Pearson correlation coefficient of the biometric parameters of Caspian *Rutilus kutum* with heavy metals in three coastal provinces in the north of Iran

		Weight	Total length	Sex	Cd	As	Hg	Pb
Weight	N	90						
		1						
Total length	N	90						
		0.189	1					
Sex	N	90	91					
		0.020	-0.002	1				
Cd	N	83	84	84				
		-0.457**	-0.505**	0.113	1			
As	N	83	84	84	77			
		0.298**	0.272*	0.061	0.216	1		
Hg	N	85	86	86	79	81		
		-0.092	-0.157	0.173	0.150	0.228*	1	
Pb	N	86	86	86	80	80	81	
		-0.092	-0.157	0.173	0.150	0.228*	0.018	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

در جدول ۴ نتایج به‌دست آمده برای محاسبه EDI، HQ، THQ برای گونه ماهی سفید دریای خزر ارائه شده که EDI در محدوده ۰/۰۴۳-۰/۰۰۸ میلی گرم/کیلوگرم وزن بدن/روز متغیر است. مقادیر Hazard Quotient نیز در محدوده $۱/۸۹\times۱۰^{-۲}$–$۷/۵۷\times۱۰^{-۲}$ متغیر بود. علاوه‌براین، مقادیر ضریب سیبل خطر در محدوده ۰/۰۲۲-۰/۰۰۱ برای بزرگسالان است. مقادیر محاسبه شده برای ضریب سیبل خطر کل (TTHQ) بزرگسالانی که این گونه ماهی را مصرف می کنند، کمتر از یک بود. مقادیر ثبت شده برای گونه ماهی سفید دریای خزر ۰/۰۳۸ بود (جدول ۵).

در شکل ۲ تغییرات میانگین غلظت صدک ۹۰ چهار فلز سمی در بافت ماهی سفید دریای خزر نشان داده شده است که با توجه به شکل، در استان‌های مازندران و گلستان همانند حوزه جنوبی دریای خزر حداکثر غلظت مربوط به کادمیم و حداقل آن برای فلز سرب ثبت شده اما در استان گیلان حداکثر غلظت با اندکی بیشتر نسبت به فلظ کادمیم مربوط به فلز آرسنیک بوده است.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

جدول ۴: میزان مصرف تخمینی روزانه (EDI) و تجزیه‌وتحلیل خطر برای ارزیابی خطر سرطان‌زایی (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز) برای ماهی سفید دریای خزر در سه استان ساحلی شمال کشور

Table 3: Estimated daily intake (EDI) and risk analysis to evaluate carcinogenesis risk expressed (mg/kg body weight/day) for Caspian Sea *Rutilus kutum* in the three coastal provinces of the north of the country

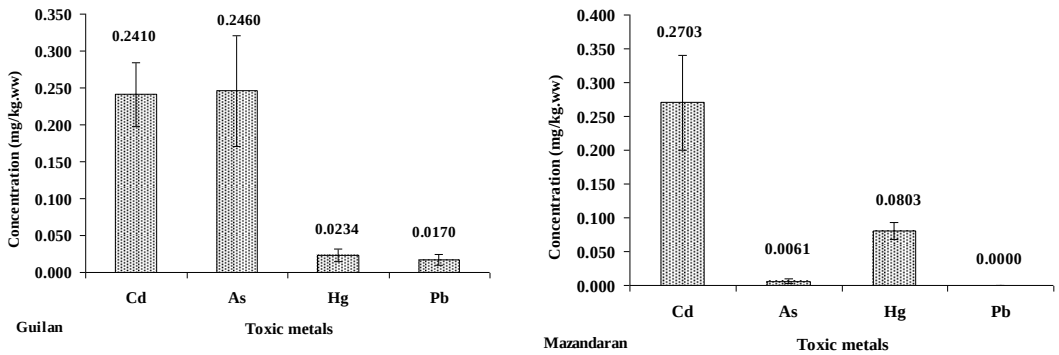
Toxic Metal	Province	EDI (mg/kg Bw/day)	HQ	THQ (adult)
Cd	Gilan	0.026	2.64×10^{-2}	0.013
	Mazandaran	0.056	6.44×10^{-2}	0.029
	Golestan	0.046	4.90×10^{-2}	0.024
	Total	0.043	4.55×10^{-2}	0.022
As	Gilan	0.021	6.89×10^{-2}	0.003
	Mazandaran	0.030	1.31×10^{-1}	0.005
	Golestan	0.012	4.07×10^{-2}	0.002
	Total	0.021	7.57×10^{-2}	0.003
Hg	Gilan	0.008	2.54×10^{-2}	0.011
	Mazandaran	0.005	2.01×10^{-2}	0.007
	Golestan	0.012	4.02×10^{-2}	0.017
	Total	0.008	2.89×10^{-2}	0.012
Pb	Gilan	0.003	1.89×10^{-2}	0.0013
	Mazandaran	0.003	1.76×10^{-2}	0.0005
	Golestan	0.003	1.80×10^{-2}	0.0003
	Total	0.003	1.82×10^{-2}	0.001

TTHQ Gilan (0.013)Cd+ (0.003)As+ (0.0013)Pb+ (0.011)Hg =0.028
TTHQ Mazandaran (0.029)Cd+ (0.005)As+ (0.0005)Pb+ (0.007)Hg= 0.042
TTHQ Golestan (0.024)Cd+ (0.002)As+ (0.0003)Pb+ (0.017)Hg= 0.043
TTHQ Total (0.022)Cd+ (0.003)As+ (0.001)Pb+ (0.012)Hg =0.038

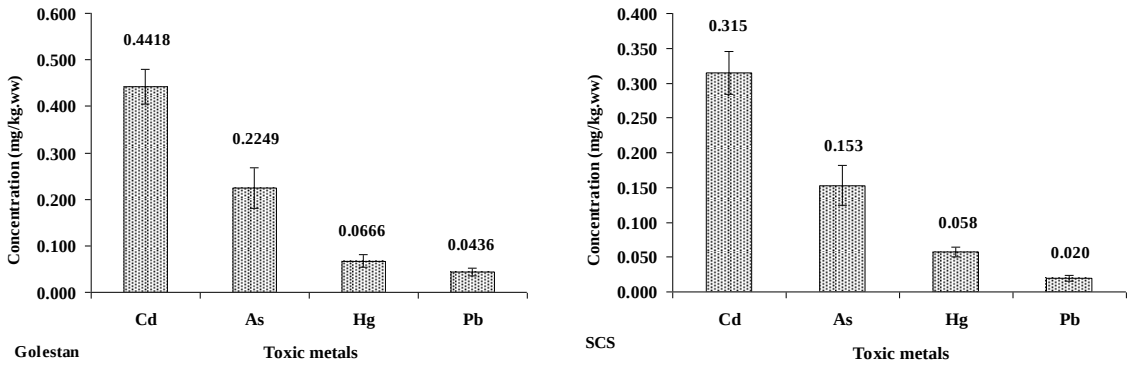
جدول ۵: برآورد ضریب سیبل خطر کل (TTHQ) گونه ماهی سفید دریای خزر در استانهای شمالی کشور

Table 5: Estimation of total target hazard quotient (TTHQ) of Caspian Sea *Rutilus kutum* species in the northern provinces of the country

Fish species	Province	TTHQ/HI
Rutilus kutum	Gilan	0.028
	Mazandaran	0.042
	Golestan	0.043
	Total	0.038



[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]



شکل ۲: غلظت فلزات سمی در نمونه‌های ماهی سفید (*Rutilus kutum*) در استان‌های شمالی و حوزه جنوبی دریای خزر. میانگین±انحراف معیار(n=90)

Figure 2: Concentrations of toxic metals in *Rutilus kutum* samples at Northern Provinces and Southern Caspian Sea (SCS). Mean± standard deviation (n=90)

بحث

مواد شیمیایی که منجر به نقاط پایانی سمی به‌جز سرطان و جهش‌های ژنی می‌شوند، به دلیل تأثیر آنها بر عملکرد سیستم‌های اندام‌های مختلف، اغلب به عنوان سموم سیستماتیک شناخته می‌شوند. علاوه‌براین، مواد شیمیایی که باعث سرطان و جهش‌های ژنی می‌شوند، معمولاً اثرات سمی دیگری (سمیت سیستماتیک) را نیز برمی‌انگیزند. بر اساس درک ما از مکانیسم‌های تطبیقی، مسمومیت سیستماتیک به‌گونه‌ای تلقی می‌شود که گویی یک آستانه مواجهه قابل شناسایی (برای فرد و جمعیت)، وجود دارد که در زیر آن هیچ اثر نامطلوب قابل مشاهده‌ای وجود ندارد. این ویژگی نقاط پایانی سیستماتیک را از نقاط پایانی سرطان‌زا و جهش‌زا متمایز می‌کند که اغلب به عنوان فرآیندهای غیر آستانه در نظر گرفته می‌شوند. اثرات سیستماتیک به طور سنتی با استفاده از عباراتی مانند مصرف روزانه قابل قبول (ADI)، ضریب ایمنی (SF) و حاشیه ایمنی (MOS) ارزیابی می‌شوند که با محدودیت‌های خاص که در ادامه توضیح داده می‌شوند، مرتبط هستند. سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده، گروه کاری دوز مرجع (RfD) را برای رسیدگی به این نگرانی‌ها ایجاد کرد. در تهیه این گزارش، گروه کاری RfD از گزارش سنتی ارزیابی ریسک استفاده کرده است تا استفاده از داده‌های تجربی غیر سرطانی و غیرجهش‌زا را به طور کامل‌تر در تصمیم گیری‌های نظارتی در مورد اهمیت قرار گرفتن در معرض مواد شیمیایی بیان کند. این مفاهیم در حال حاضر در بسیاری از بخش‌های EPA ایالات متحده استفاده عمومی می‌شود (NRC, 1983).

بر اساس نتایج این تحقیق، میزان جیوه، کادمیم و سرب در بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر کمتر از حد مجاز است (به‌خصوص براساس حد مجاز سازمان بهداشت جهانی). یافته‌ها نشان داد که پارامتر ارزیابی خطر سلامت (EDI) بسیار پایین‌تر از مقادیر توصیه شده است. این امر نشان داد که مصرف بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر در منطقه مورد مطالعه هیچ‌گونه اثر نامطلوبی بر سلامت انسان ناشی از آلودگی فلزات سنگین سمی نداشته است.

در مطالعه Amankwaa و همکاران (۲۰۲۱) مقادیر HQ<۰/۲۰ نشان‌دهنده هیچ اثر نامطلوب بالقوه سلامتی نیست درحالی‌که مقادیر HQ>۰/۲۰ نشان‌دهنده یک اثر نامطلوب سلامتی بالقوه است. نتایج نشان داد که ضریب خطر در محدوده ۰/۰۰۸-۰/۰۰۲ در استان‌های مختلف شمالی کشور متغیر بود که کمتر حد ایمنی ۰/۲۰ است. این مقادیر بیانگر این است غلظت این چهار فلز سمی هیچ اثر نامطلوب بالقوه سلامتی بر انسان ندارد و مصرف ماهی سفید اثرات مضری بر سلامت مصرف‌کنندگان ندارد. همچنین TTHQ>۱ نشان‌دهنده احتمال زیاد اثر غیر سرطان‌زایی بر سلامت انسان است درحالی‌که TTHQ<۱ نشان‌دهنده عدم

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

بروز اثرات غیر سرطان‌زا بر سلامت انسان ناشی از قرار گرفتن در معرض غلظت‌های فلزات سنگین در گونه‌های ماهی است. در مطالعه حاضر، خطر انسانی ناشی از مصرف ماهی سفید دریای خزر در جدول ۶ خلاصه شده است. با این‌حال، شاخص خطر ثبت شده برای کل نمونه‌های تجزیه‌وتحلیل شده ماهی سفید دریای خزر از یک (TTHQ<۱) فراتر نبوده است که نشانه‌ای از خطر غیر سرطانی برای مصرف‌کنندگان است. به بیان دیگر، دلالت بر علت احتمالی اثرات نامطلوب در طول زندگی یک فرد ندارد. در مطالعه Bela Hossain و همکاران (۲۰۲۳) نمونه‌هایی از چهار ماهی منتخب از یکی از بزرگترین تالاب‌های آب شیرین (منتخب سایت رامسر) در جنوب آسیا برای ارزیابی وضعیت آلودگی PTEs و ارزیابی خطر سلامت انسان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. نتایج آنها نشان داد که مقادیر شاخص خطر (HI، THQ، TTHQ) برای سه فلز سمی (Hg, As, Pb) کمتر از ۱ بود که نشان می‌دهد هیچ خطر قابل‌توجهی برای سلامتی مصرف‌کنندگان وجود ندارد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

جدول ۶: شاخص آلودگی فلزی (MPI) گونه‌های ماهی محاسبه شده در سراسر جهان و مقایسه با تحقیق حاضر

Table 6: Worldwide calculated metal pollution index (MPI) of fish species

Reference	MPI	Country
Carpene *et al.*, 1998	5.84	Italy
Vicente-Martorell *et al.*, 2009	2.11	Spain
Schnitzler *et al.*, 2011	0.77	Belgium
Schnitzler *et al.*, 2011	0.67	France
Lourenço *et al.*, 2012	2.38	Portugal
Castritsi-Catharios *et al.*, 2015	1.87	Greece
Tore *et al.*, 2021	1.38	Turkey
Tore *et al.*, 2021	1.67	Turkey
Bela Hossain *et al.*, 2023	8.00	Bangladesh
Njinga *et al.*, 2023	0.025	Nigeria
Abbas *et al.*, 2023	1-5	Egypt
Pinkey *et al.*, 2024	0.50	Bangladesh
This study (Caspian Sea)	0.001	Iran

شاخص آلودگی فلزی (MPI) یک اندازه گیری کمی است که برای ارزیابی سطح آلودگی عناصر بالقوه سمی در بافت خوراکی ماهی استفاده می شود. غلظت فلزات سنگین مختلف موجود در بافت ماهی را در نظر می‌گیرد و یک مقدار واحد را ارائه می دهد که سطح کلی آلودگی را نشان می دهد (Bela Hossain *et al.*, 2023). مقدار MPI بیشتر به تجمع فلزات تجمعی بیشتر در نمونه ماهی اشاره می کند (Rabiul Islam *et al.*, 2017). مصرف ماهی با مقدار MPI بالا ممکن است یک خطر بالقوه برای سلامت عمومی باشد. MPI برای بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر محاسبه شد. مقادیر MPI در بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر برابر ۰/۰۰۱ بود. در مطالعه حاضر، مقادیر MPI در ماهی بسیارکمتر از مقادیر MPI گزارش شده در کشورهای ترکیه، بلژیک، فرانسه، یونان، پرتغال، اسپانیا، ایتالیا، بنگلادش و نیجریه بوده است (جدول ۶).

نتایج غلظت فلز کادمیم در بافت خوراکی ماهی سفید دریای خزر در سه استان شمالی و کل داده‌ها از سطوح مجاز EC، CHM، IAEA و TFC بیشتر بوده، اما از سایر حد مجازها به‌خصوص سازمان بهداشت جهانی (WHO) کمتر ثبت گردیده است (جدول ۶). در مورد فلز As غلظت آن بیشتر از استاندارد CHM و FAO/WHO/ECFA بیشتر بود. اما فلزات Hg و Pb از تمامی حد مجاز مندرج در جدول ۷ کمتر ثبت گردیده است.

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

جدول ۷: حداکثر غلظت فلزات سنگین شناسایی شده در مطالعه حاضر و حداکثر سطوح مجاز برای بافت خوراکی ماهیان (میلی‌گرم/کیلوگرم وزن تر)

Table 7: The maximum concentrations of heavy metals detected in the present study and maximum permissible levels for fish muscle tissues (mg/kg Fresh Weight)

	Cd	As	Hg	Pb
This study (Gilan Province)	0.24	0.25	0.023	0.017
This study (Mazandaran Province)	0.27	0.01	0.080	0.001
This study (Golestan Province)	0.44	0.22	0.070	0.044
This study (Caspian Sea)	0.31	0.15	0.060	0.020
Food Standards Australia New Zealand (FSANZ)		2.00		0.50
World Health Organization (WHO)	1.00			2.00
Chinese Health Ministry (CHM)	0.10	0.10		0.50
European Commission (EC)	0.05			0.30
United Nations Environmental Programme (UNEP)	0.30			0.30
International Atomic Energy Agency (IAEA)	0.18			0.12
Turkish Food Codes (TFC)	0.05			0.20
Food and Agriculture Organization/ World Health Organization (FAO/WHO)	0.50		0.50	0.50

(Tore *et al*., 2021, Kortei *et al*., 2020)

منابع

Abbas, M.M.M., EL-Sharkawy, S.M., Mohamed, H.R., Elaraby, B.E., Shaban, W.M., Metwally, M.G. and Farrag, D.M.G., 2023. Heavy metals assessment and health risk to consumers of two commercial fish species from polyculture fishponds in El-Sharkia and Kafr El-Sheikh, Egypt: Physiological and biochemical study. *Biological Trace Element Research*, 202 (4):1-16. DOI:10.1007/s12011-023-04007-1

Amankwaa, G., Lu, Y., Liu, T., Wang, N., Luan, Y., Cao, Y., Huang, W., Ni, X. and Gyimah E., 2021. Heavy metals concentration profile of an aquatic environment and health implications of human exposure to fish and prawn species from an urban river (Densu). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 20(2):529-546. DOI:10.22092/ijfs.2021.351023.0

APHA (American Public Health Association)., 2017. Standard method for examination of water and wastewater. American public health association publisher, 18th edition, Washington, USA.1113 P.

Belal Hossain, M., Moudud Ahmed, Md., Nahar Jolly, Y., Ujjaman Nur, As-Ad., Sultana, S., Akter, Shi, Yu, J., Ahamad Paray, B. and Arai, T., 2023. Potential toxic elements and their carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment in some commercially important fish species from a Ramsar Site. *Biology*, 12(8):1-13. DOI:10.3390/biology12081072

Bosch, A.C., Neill, B.O., Sigge, G.O., Kerwathb, S.E. and Hoffman, L.C., 2016. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal Science Food Agriculture*, 96:32-48. DOI:10.1002/jsfa.7360

Carpene, E., Martin, B. and Dalla Libera, L., 1998. Biochemical differences in lateral muscle of wild and farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata* L). *Fish Physiology and Biochemistry*, 19: 229–238.DOI:10.1023/A:1007742328964

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

Castritsi-Catharios, J., Neofitou, N. and Vorloou, A.A., 2015. Comparison of heavy metal concentrations in fish samples from three fish farms (Eastern Mediterranean) utilizing antifouling paints. *Toxicology Environmental Chemistry*, 97: 116–123. DOI:10.1080/02772248.2014.943226

Elbeshti, R.T.A., Elderwish, N.M., Abdelali, K.M.K. and Tastan, Y., 2018. Effects of heavy metals on fish. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, 4(1):36-47.

EPA (Environmental Protection Agency)., 1989. Cadmium (CASRN 7440-43-9). IRIS US EPA. Retrieved August 8, 2019, from Integrated Risk Information System (IRIS) website. Avialable at: https: //cfpub. epa.gov/nce a/iris/iris _documents/ documents/subst/0141_summary.pdf#named dest=rfd. 11 P.

EPA, 2001. Chronic Health Hazard Assessments for Noncarcinogenic Effects I.A. Reference Dose for Chronic Oral Exposure (RfD). USA. 43 P.

FDA (Food and Drug Administration)., 2018. Lead in food, food wares, and dietary supplements FDA. Retrieved August 27, 2019. Available at: https://www.fda.gov/food/metals/lead-food-foodwares-and-d ietary-supplements.

EPA., 2019. IRIS Toxicological review of ingested inorganic arsenic-History/ Chronology. Retrieved August 19, 2019. Available at: https: //cfpub .epa.gov /ncea/ iris_dra fts/recordisplay.cfm?deid=219106

Kortei, N.K., Heymann, M.E., Essuman, E.K., Kpodo, F.M., Akonor, P.T., Lokpo, S.Y., Boadi, N.O., Akonor, M.A. and Tettey, C., 2020. Health risk assessment and levels of toxic metals in fishes (*Oreochromis noliticus* and *Clarias anguillaris*) from Ankobrah and Pra basins: Impact of illegal mining activities on food safety. *Toxicology Reports*, 7:360-369. DOI:10.1016/j.toxrep.2020.02.011

Lourenço, H.M., Afonso, C., Anacleto, P., Martins, M.F., Nunes, M.L. and Lino, A.R., 2012. Elemental composition of four farmed fish produced in Portugal. *International Journal Food Science and Nutrition*, 63: 853–859. DOI:10.3109/09637486.2012.681632

Njinga, R.L., Adebayo1, A.S. and Olufemi, A.P., 2023. Bioaccumulation of heavy metals in water and organs of *Tilapia brevimanus* and *Euthynnus alletteratus* from a coaster water in southwestern Nigeria. *Environmental Sciences Europe*, 35(85): 1-10. DOI: 10.1186/s12302-023-00794-5

NRC (National Research Council), 1983. Risk Assessment in the Federal GOVemnlenl. National Academy Press, Washington. DC. 191 P.

Pinkey, P.D., Nesha, M., Bhattacharjee, Sh., Zaman Chowdhury, M.A., Fardous, Z., Bari, L. and Koley, N.J., 2024. Toxicity risks associated with heavy metals to fish species in the Transboundary River – Linked Ramsar Conservation Site of Tanguar Haor, Bangladesh. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 269:115736. DOI:10.1016/j.ecoenv.2023.115736

Rabiul Islam, G.M., Habib, M.R., Waid, J.L., Rahman, M.S., Kabir, J., Akter, S. and

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

Jolly, Y.N., 2017. Heavy metal contamination of freshwater prawn (*Macrobrachium rosenbergii*) and prawn feed in Bangladesh: a market-based study to highlight probable health risks. *Chemosphere*, 170:282-289. DOI:10.1016/j.chemosphere.2016.11.163

Ramzy, A.Y., Muhammad, I.C., Shakel, A. and Quratulan, A., 2021. Bioaccumulation of heavy metals in fish and other aquatic organisms from Karachi Coast, Pakistan. *Nusantara Bio Science*, 3(1):73-84. DOI**:**10.13057/nusbiosci/n130111

Tore, Y., Ustaoglu, F., Tepe, Y. and Kalipci, E., 2021. Levels of toxic metals in edible fish species of the Tigris River (Turkey); Threat to public health. *Ecological Indicators*, 123:107361. DOI:10.1016/j.ecolind.2021.107361

Sanchez-Rodrıguez, A., Sosa-Ferrera, Z., Santana-del Pino, A. and Santana-Rodrıguez. J.J. 2011. Probabilistic risk assessment of common booster biocides in surface waters of the Harbors of Gran Canaria (Spain). *Marine Pollution Bulletin*, 62: 985-991. DOI:10.1016/j.marpolbul.2011.02.038.

Tuzen, M., 2009. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea. *Turkey Food and Chemical Toxicology*, 47(9):2302-2307. DOI: 10.1016/j.fct.2009.04.029

USEPA, 2012. Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories. EPA 822-S-12-001, 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories, Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. 20 P.

Usero, J., Gonzalez-Regalado, E. and Gracia, I., 1997. Trace metals in the bivalve mollusks *Ruditapes decussatus* and *Ruditapes philippinarum* from the Atlantic Coast of Southern Spain. *Environment International*, 23:291-298.DOI:10.1016/S0160-4120(97)00030-5.

Vicente-Martorell, J.J., Galindo-Riaño, M.D., García-Vargas, M. and Granado-Castro, M.D., 2009. Bioavailability of heavy metals monitoring water, sediments and fish species from a polluted estuary. *Journal of Hazardous Materials*, 162 (2-3): 823-836. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.05.16

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]

Health risk assessment and levels of toxic metals in whitefish (*Rutilus kutum*) in the Caspian Sea

Moradi Y.[1]; Hassan Nasrollahzadeh Saravi H.[2*]; Seifzadeh M.[3]; Rezaei M.[2]; Daryanabard G.R.[2]; Firuzkandian S.[2]

[*]hnsaravi@gmail.com

1-Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AEEO), Tehran, Iran
2-Caspian Sea Ecology Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AEEO), Sari, Iran
3-Aquatics Fish Processing Research Center, Iranian Fisheries Science Research Institute (IFSRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AEEO), Bandar Anzali, Iran

Abstract

In this article, the total concentration of toxic heavy metals such as lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg), and arsenic (As), which are mandatory elements of the World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), were determined to measure the health of the edible tissue of the Caspian Sea *Rutilus kutum*. 90 samples of *Rutilus kutum* were collected in three northern provinces (Gilan, Mazandaran, and Golestan) during 2021-2022. The concentration of Pb, Cd, Hg, and As of Caspian Sea *Rutilus kutum* samples were prepared by standard method and acid digestion. All samples were analyzed using flame, graphite furnace, and cold steam of the atomic absorption spectroscopy instrument. The results showed that 90% of all data samples (90th percentile) concentration of toxic metals in *Rutilus kutum* tissue decreased in the order of Cd >As>Hg>Pb. The amounts of Cd, As, Pb, and Hg in *Rutilus kutum* tissue were observed at not detected-0.31, 0.001-0.15, 0.001-0.060, and 0.001-0.020 mg/kg wet body weight, respectively. Also, the statistical analysis showed that two types of correlations were found between the concentration of metals and the total length and weight of *Rutilus kutum*: for Cd with total length (r=-0.46) and with fish weight (r=-0.51), for As with total length (r=0.30) and with fish weight (r=0.27), It showed negative and positive, respectively, but mercury and lead metals did not show correlation with biometric parameters. Comparing the current results with international standards showed that the four toxic metals Cd and As, Pb, and Hg were lower than the FAO and WHO standards concentration. The findings showed that the health risk assessment parameters (EDI, HQ, and THQ) for all metals were much lower than the recommended values. This showed that the consumption of Caspian *Rutilus kutum* in the study area did not have any adverse effects on human health due to the contamination of toxic metals.

Keywords: Heavy metals, Edible tissue, Caspian Sea whitefish, Health risk assessment

[*]Corresponding author

[Downloaded from isfj.ir on 2026-06-28]