

(OPEN ACCESS)

Assessing the Risk of Heavy Metals in *Alosa braschnikowi* and *Sander lucioperca* in the Caspian Sea

Golnaz Mirzapour¹, Parisa Nejatkhah Manavi², Farnaz Rafiei^{*3},
Mehrnaz Baniamam⁴

1. Ph.D. Student of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: zzzzzyasi@yahoo.com
2. Associate Prof., Dept. of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: p_nejatkhah@yahoo.com
3. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Marine Biology, Faculty of Marine Science and Technology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, Iran. E-mail: farnaz.rafiiee47@gmail.com
4. Assistant Prof., Dept. of River and Coastal Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. E-mail: bani.amam@yahoo.com

Article Info	ABSTRACT
Article type: Full Length Research Paper	Background and Objectives: Heavy metal contamination in ecosystems is a significant environmental concern that requires attention. The purpose of this study was to assess the health risks associated with heavy metals in two species of fish, perch, and zalon, found along the southern coast of the Caspian Sea.
Article history: Received: 02.20.2024 Revised: 03.04.2024 Accepted: 03.18.2024	Materials and Methods: In this research, the samples were perch and bream fish from four regions of Sari, Noor, Chalus and Ramsar in Mazandaran province in 1401. Also, the heavy metals studied in this study were lead, cadmium, cobalt, arsenic and chromium. At the time of sampling, 2 of each fish were caught. The fish samples were first washed with double-distilled water in the laboratory. In the next stage, their length was measured with a biometry board with an accuracy of 1 mm and their weight with a digital scale with an accuracy of 0.01. After that, each of them was placed in separate sterile plastic bags and numbered. Then, 20-30 grams were removed from the upper part of the fish body (under the dorsal fin) with a ceramic knife and transferred to completely clean containers (washed with nitric acid). The tissues were placed in an oven at 90 degrees for 24 hours for the drying process.
Keywords: <i>Alosa braschnikowi</i> , Bioaccumulation, Caspian Sea, Heavy metals, <i>Sander lucioperca</i>	Results: In this study, Based on the results of the daily and weekly intake assessment and the non-carcinogenic risk potential, these species do not pose any risk. However, regarding heavy metals such as lead, cadmium, cobalt, arsenic, and chromium, long-term consumption may increase the likelihood of developing various types of cancers.
	Conclusion: Health risk assessment results indicate that daily and weekly consumption of these two species does not pose any health concerns for consumers. Furthermore, all samples showed a non-carcinogenic hazard potential below 1, meaning their consumption carries no risk of non-cancerous diseases. However, the carcinogenic risk potential for

certain heavy metals exceeded acceptable thresholds, suggesting that long-term consumption of these fish may increase the risk of developing various types of cancer.

Cite this article: Mirzapour, Golnaz, Nejatkah Manavi, Parisa, Rafiei, Farnaz, Baniamam, Mehrnaz. 2025. Assessing the Risk of Heavy Metals in *Alosa braschnikowi* and *Sander lucioperca* in the Caspian Sea. *Journal of Utilization and Cultivation of Aquatics*, 14 (2), 161-181.



© The Author(s).

Doi: 10.22069/japu.2024.22220.1857

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ارزیابی خطر برخی فلزات سنگین در ماهیان زالون *Alosa braschnikowi* و سوف *Sander lucioperca* در دریای خزر

گلناز میرزاپور^۱، پریسا نجات‌خواه معنوی^۲، فرناز رفیعی^{۳*}، مهرناز بنی‌اعمام^۴

۱. دانشجوی دکتری زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.
رایانامه: zzzzzyasi@yahoo.com
۲. دانشیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.
رایانامه: p_nejatkhah@yahoo.com
۳. نویسنده مسئول، استادیار گروه زیست‌شناسی دریا، دانشکده علوم و فنون دریایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران.
رایانامه: farnaz.rafiiee47@gmail.com
۴. استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: bani.amam@yahoo.com

چکیده	اطلاعات مقاله
سابقه و هدف: آلودگی فلزات سنگین در اکوسیستم‌ها یک نگرانی زیست‌محیطی مهم محسوب می‌شود که نیازمند توجه ویژه است. هدف از این مطالعه، ارزیابی مخاطرات سلامت ناشی از فلزات سنگین در دو گونه ماهی شامل سوف (<i>Perca fluviatilis</i>) و زالون (<i>Sander lucioperca</i>) در مناطق ساحلی جنوب دریای خزر بوده است. مواد و روش‌ها: در این پژوهش، نمونه‌ها شامل ماهیان سوف و سفید از چهار منطقه ساری، نور، چالوس و رامسر در استان مازندران در سال ۱۴۰۱ بودند. فلزات سنگین مورد مطالعه در این پژوهش شامل سرب، کادمیوم، کبالت، آرسنیک و کروم بودند. در زمان نمونه‌برداری، از هر گونه ماهی ۲ عدد صید شد. در آزمایشگاه، نمونه‌های ماهی ابتدا با آب دیونیزه شستشو داده شدند. در مرحله بعد، طول آن‌ها با صفحه بیومتریک با دقت ۱ میلی‌متر و وزن آن‌ها با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. سپس هر نمونه در کیسه‌های پلاستیکی استریل جداگانه قرار گرفته و شماره‌گذاری شد. پس از آن، ۳۰-۲۰ گرم از بخش فوقانی بدن ماهی (زیر باله پشتی) با چاقوی سرمایی جدا شده و به ظروف کاملاً تمیز (شسته شده با اسید نیتریک) منتقل شد. بافت‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد برای فرآیند خشک کردن قرار داده شدند.	نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸ واژه‌های کلیدی: تجمع زیستی، دریای خزر، فلزهای سنگین، ماهی زالون <i>Alosa braschnikowi</i> ماهی سوف <i>Sander lucioperca</i>

یافته‌ها: براساس نتایج ارزیابی دریافت روزانه و هفتگی و پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی، مصرف این گونه‌های ماهی خطری برای سلامت مصرف‌کنندگان ایجاد نمی‌کند. با این حال،

در مورد فلزات سنگین شامل سرب، کادمیوم، کبالت، آرسنیک و کروم، مصرف طولانی مدت ممکن است احتمال ابتلا به انواع سرطان‌ها را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری: نتایج ارزیابی ریسک سلامت نشان می‌دهد که مصرف روزانه و هفتگی این دو گونه ماهی هیچ نگرانی بهداشتی برای مصرف‌کنندگان ایجاد نمی‌کند. علاوه بر این، تمامی نمونه‌ها پتانسیل خطر غیرسرطانی کم‌تر از ۱ نشان دادند که به این معنی است مصرف آن‌ها خطری از نظر بیماری‌های غیرسرطانی ندارد. با این حال، پتانسیل خطر سرطان‌زایی برای برخی فلزات سنگین از حد مجاز فراتر رفت که نشان می‌دهد مصرف طولانی مدت این ماهی‌ها ممکن است خطر ابتلا به انواع مختلف سرطان را افزایش دهد.

استناد: میرزاپور، گلناز، نجات‌خواه معنوی، پریسا، رفیعی، فرناز، بنی‌اعمام، مهرناز (۱۴۰۴). ارزیابی خطر برخی فلزات سنگین در ماهیان زالون *Alosa braschnikowi* و سوف *Sander lucioperca* در دریای خزر. نشریه بهره‌برداری و پرورش آبزیان، ۱۴ (۲)، ۱۶۱-۱۸۱.

Doi: 10.22069/japu.2024.22220.1857



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

بالا رفتن جمعیت، گسترش صنعت و توسعه فعالیت‌های کشاورزی سبب وارد شدن آلودگی‌ها به اکوسیستم‌های آبی می‌شود. فلزات سنگین عمدتاً ترکیباتی سمی هستند که بدن به سختی قادر است تنها میزان کمی از آن‌ها را دفع کند و تجمع میزان بیش‌تر آن عوارض خطرناکی را به همراه دارد (۲۶). فلزات سنگین از روش‌های گوناگون مثل مصرف مواد غذایی، تنفس هوای آلوده و تماس با آب و خاک آلوده وارد بدن انسان می‌شوند. در حالت کلی علائم و نشانه‌های فردی که در معرض فلزات سنگین قرار می‌گیرد بستگی به نوع فلز سنگین، نوع و میزان تماس، سن فرد و وضعیت سلامت آن شخص دارد. فلزات سنگین در اکوسیستم آبی عموماً به حالت محلول در آب نمایان می‌شوند که می‌توانند در رسوبات رودخانه تجمع و در ارگانیزم‌ها ذخیره شوند (۲۶). رسوبات در تثبیت و انتقال انواع آلودگی‌ها نقش زیادی دارند، در نتیجه رسوبات می‌توانند پیشینه آلودگی در گذر زمان و وقایع صورت گرفته برای منابع را نشان دهند. ماهی شاخصی مناسب برای ارزیابی آلودگی اکوسیستم آبی است. چون ماهی‌ها آلودگی‌ها را هم به حالت مستقیم هم از طریق رژیم غذایی در بافت‌های خود انباشته می‌کنند (۱).

فلزات سنگین به دلیل برخورداری از خصوصیت تجمع‌پذیری در بافت‌های گوناگون و عدم تجزیه‌پذیری و نیز مقاومت در برابر تغییرات بیولوژیکی حتی در تجمع‌های کم نیز می‌توانند در طول زنجیره غذایی نیز حضور داشته و پس از وارد شدن به محیط قادرند در چرخه حیات به مسیر خود در زنجیره غذایی ادامه داده و کم‌کم در بافت بدن مصرف‌کنندگان ذخیره گردند و از این راه موجب بروز خطرات متعدد، سمی، حاد، مزمن و حتی اثرات سوء ژنتیکی شوند (۲). در ادامه به معرفی چهار فلز سنگین مورد

پژوهش در این پژوهش و اثرات سو سلامتی آن‌ها پرداخته می‌شود. توجه به انتقال آلودگی‌های فلزی از طریق زنجیره غذایی به دهه ۱۹۶۰ میلادی بر می‌گردد. واقعه مینولیتا که در اواخر دهه ۵ میلادی در کشور ژاپن رخ داد، نگرانی‌ها در مورد انتقال فلزات سنگین از مواد غذایی دریایی و دسترسی انسان به آن را بالا رفتن داد و نقطه شروع خیلی از مطالعات در این زمینه شد (۳). روش معمول در تخمین خطر ایجاد شده بر اثر مواجهه با سطوح شناخته شده آلودگی‌ها استفاده از ابزار ارزیابی ریسک سلامت (HRA) می‌باشند. با استفاده از این ابزار تجمع زیستی در دسترس فلزات سنگین و خطر آن برای انسان قابل ارزیابی می‌باشد (۴).

تولیدمثل ماهی زالون در نزدیکی دهانه رودخانه‌های اصلی در بخش جنوب شرقی دریای کاسپی دیده می‌شود. این ماهی از مهم‌ترین ماهیان خانواده شگ ماهیان می‌باشد که به‌منظور تجاری و تحقیقاتی صید می‌شود. ماهی سوف در اکثر رودخانه‌هایی که به دریای کاسپی می‌ریزد، زیست کرده و در دریا در سواحل و مناطقی که دارای آب شیرین‌تر است زندگی و تغذیه می‌کند. فلزات سنگین به‌عنوان یک شاخص دارای اهمیت برای تخریب اکوسیستم شناخته شده‌اند. فلزات سنگین در رسوب به‌طور مستقیم در طول جذب و فرایندهای رسوب‌گذاری توسط مواد معلق تجمع پیدا می‌کنند. رسوب زیست‌بوم برای خیلی از جانداران آبی و مخزن اصلی برای خیلی از عناصر سمی است و با بزرگنمایی زیستی از طریق زنجیره غذایی آلودگی‌های گوناگون مثل فلزات سنگین را به جانداران گوناگون منتقل می‌نماید (۱). میزان بیش از حد فلزات سنگین سمی می‌تواند مشکلات آلودگی شدید برای مردم و اکوسیستم ایجاد نموده و در نهایت سبب بیماری و به‌خصوص بروز سرطان در انسان گردد. درباره خطر بیماری‌زایی و ایجاد سرطان در نتیجه وجود فلزات سنگین در ایران و دنیا مطالعاتی

نتایج تخمین دریافت روزانه و هفتگی با دریافت روزانه و هفتگی قابل تحمل موقت تعیین شده توسط سازمان جهانی بهداشت/ سازمان خواربار جهانی (۲۰۰۴) مقیاس می‌شود.

میزان دریافت مجاز قابل تحمل موقت روزانه و هفتگی: PTWI و PTDI به میزان دوره مصرف و میزان آن توسط مصرف‌کننده غذا بستگی دارد (۶) و حداکثر میزان دریافت روزانه و هفتگی فلزات سنگین بدون هیچ گونه خطری برای سلامت انسان را نشان می‌دهد (۱). در واقع میزان فلزات سنگین موجود در ماهیچه با این میزان که برگرفته و توصیه شده توسط کمیته مشترک خواربار جهانی و سازمان بهداشت جهانی می‌باشد مقیاس می‌شود. این عمل جهت تعیین میزان ایمن و بدون خطر برای مصرف روزانه و هفتگی فرد انجام می‌شود (۵).

پتانسیل خطر غیر سرطان‌زایی (THQ): این شاخص که برای بیان اثرات غیرسرطان‌زایی آلودگی استفاده می‌شود، توسط آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا از شاخص‌های معتبر جهت اندازه‌گیری دریافت فلزات سنگین از طریق مواد غذایی آلوده معرفی شد و نسبت مصرف میزان معینی فلز سمی از طریق خوراکی به میزان یا دوز مرجع ارائه شده توسط آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا می‌باشد. اگر این شاخص بیش از یک به دست بیاید، به این معنی است که احتمالاً جمعیت مصرف‌کننده ماده غذایی آلوده به فلز اثرات مضر آشکاری را تجربه خواهند کرد. با بالا رفتن میزان این شاخص احتمال خطر سلامتی برای انسان نیز بیش‌تر خواهد شد. ولی اگر کم‌تر از یک به دست بیاید به این معنی است که خطر حاصل از آن قابل چشم‌پوشی می‌باشد. این شاخص از رابطه زیر به دست آمده است (۷):

$$THQ = \frac{EF \times ED \times C \times FIR}{RfD \times BW \times AT} \times 10^{-3}$$

میزان جذب روزانه (EDI): میزان جذب روزانه فلزات سنگین توسط بدن از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم وزن بدن/ روز) آلوده به فلز سنگین از طریق این شاخص به دست آمده است که به سه عامل وزن مصرف‌کننده، تجمع فلز سنگین در عضله ماهی و میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در روز بستگی دارد و طبق رابطه زیر می‌باشد:

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

که در آن، EDI میزان جذب روزانه (میکروگرم بر کیلوگرم)، C_m^2 میزان تجمع فلز در بافت عضله ماهی (میکروگرم/ گرم بر حسب وزن تر)، FIR_D^3 میزان مصرف ماهی در مناطق مورد پژوهش بر حسب گرم در روز (در بزرگسالان: ۳۳/۶ و در کودکان: ۱۳/۱ گرم در روز) (۵)، BW میانگین وزن بدن.

میزان جذب هفتگی (EWI): میزان جذب هفتگی فلزات سنگین توسط بدن از طریق مصرف ماهی (میکروگرم/ کیلوگرم وزن بدن/ هفته) آلوده به فلز سنگین از طریق این شاخص به دست آمده است که به سه عامل وزن مصرف‌کننده، تجمع فلز سنگین در عضله ماهی و میزان مصرف ماهی بر حسب گرم در هفته بستگی دارد و طبق رابطه زیر می‌باشد (۶):

$$EWI = \frac{C_m \times FIR_W}{BW}$$

که در آن، EWI میزان جذب در هفته (میکروگرم بر کیلوگرم)، C_m میزان تجمع فلز در بافت عضله ماهی (میکروگرم/ گرم بر حسب وزن تر)، FIR_W میزان مصرف ماهی در مناطق مورد پژوهش بر حسب گرم در هفته (در بزرگسالان: ۲۳۵/۲ و در کودکان: ۹۱/۷ گرم در هفته) (۵)، BW میانگین وزن بدن (بالغین: ۷۰ کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم).

BW وزن فرد (بالغین: ۷۰ کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم)، AT میانگین زمان که حاصل ضرب ED و روزهای سال می‌باشد.

شاخص خطر (Hazard Index): به منظور ارزیابی ریسک سلامتی در ارتباط با مصرف ماهی، خطرپذیری کل یا شاخص خطر از رابطه زیر محاسبه شد (۹):

$$HI = \sum THQ = THQ_{AS} + THQ_{Pb} + THQ_{Cd} + THQ_{Cu}$$

حد قابل قبول مصرف روزانه ماهی (CRLim) و حد قابل قبول وعده‌های ماهانه ماهی (CRmm): حد مجاز مصرف ماهی به منظور ایجاد تعادل بین فواید مصرف ماهی و حفظ سلامت عمومی ناشی از مصرف ماهی می‌باشد (۶). حد مصرف روزانه ماهی و تعداد وعده‌های ماهانه با استفاده از روش آژانس حفاظت اکوسیستم (EPA) اندازه‌گیری می‌شود. این میزان براساس میزان فلزات سنگین در بافت‌های خوراکی ماهی با استفاده از دوز مرجع براساس رابطه‌های زیر ارزیابی شده‌اند. با استفاده از این روش‌ها، فرد می‌تواند سطح قابل‌پذیرشی از مصرف ماهی و محصولات شیلاتی در طی یک دوره زمانی را، به‌دست بیاورد (۵).

$$CRLim = \frac{RFD \times BW}{Cm}$$

که در آن، CRLim حد مجاز مصرف روزانه ماهی (کیلوگرم در روز)، Cm تجمع فلز سنگین در عضله ماهی (میکروگرم بر گرم)، RfD دوز مرجع (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز)، BW (body weight) وزن فرد (کیلوگرم).

که در آن، EF فراوانی مواجهه (۳۶۵ روز/سال)، ED متوسط دوره مواجهه (۷۰ سال برای بزرگسالان و ۶ سال برای کودکان)، C تجمع فلز سنگین در عضله ماهی، FIR میزان مصرف روزانه، RfD دوز مرجع خوراکی (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) برای فلزات سنگین کادمیوم، آرسنیک، سرب و مس به‌ترتیب ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۴، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۴ می‌باشد (۴ و ۸)،

اگر این شاخص بیش از یک به دست بیاید، به این معنی است که احتمالاً جمعیت مصرف‌کننده ماده غذایی آلوده به فلز اثرات مضر آشکاری را تجربه خواهند کرد، ولی اگر کم‌تر از یک به دست بیاید خطر حاصل از آن قابل چشم‌پوشی می‌باشد (۷).

پتانسیل سرطان‌زایی (TCR): این شاخص ریسک ابتلا به سرطان را در طول زندگی بر اثر مواجهه با یک عامل بالقوه سرطان‌زا نشان می‌دهد. براساس آژانس حفاظت اکوسیستم آمریکا این شاخص از رابطه ارزیابی شد (۷ و ۱۰):

$$TCR = \frac{EF \times ED \times C \times FIR \times CSF}{BW \times AT} \times 10^{-3}$$

که در آن، EF فراوانی مواجهه، ED: متوسط دوره مواجهه، C تجمع فلز سنگین در عضله ماهی، FIR میزان مصرف روزانه، CSF فاکتور شیب سرطان‌زایی خوراکی می‌باشد، برای فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم و سرب به‌ترتیب ۱/۵، ۶/۳ و ۰/۰۰۸۵ (میلی‌گرم بر کیلوگرم در روز) می‌باشد، BW وزن فرد (بالغین: ۷۰ کیلوگرم و کودکان: ۱۶ کیلوگرم)، AT میانگین زمان که حاصل ضرب ED و روزهای سال می‌باشد.

نتایج

تخمین دریافت روزانه (EDI): دریافت تخمینی روزانه (EDI) فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و کروم از طریق مصرف ماهی سوف و زالون برای فرد بالغی با وزن ۷۰ کیلوگرم محاسبه و یافته‌های مرتبط با آن به ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شد.

$$CR_{mm} = \frac{CR_{lim} \times Tap}{Ms}$$

که در آن، CR_{mm} تعداد مجاز وعده‌های ماهانه مصرف ماهی، CR_{lim} حد مجاز مصرف روزانه ماهی بر حسب کیلوگرم در روز، Tap دوره متوسط زمانی (۳۶۵/۲۵ روز+۱۲ ماه) (۳۰/۴۴)، Ms متوسط اندازه وعده ماهی (بزرگسالان: ۰/۲۲۷ کیلوگرم و کودکان: ۰/۱۱۴ کیلوگرم).

جدول ۱- تخمین دریافت روزانه فلزات سنگین در ماهی سوف.

Table 1. Estimated Daily Intake (EDI) of Heavy Metals in European Perch (*Sander lucioperca*).

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.048256	0.07632	0.0033	0.34596	0.000312
نور Noor	-	0.10104	0.00186	0.1716	0.000504
ساری Sari	-	0.12288	0.001344	0.08184	0
چالوس Chaloos	0.002016	0.10416	0.001648	0.04064	0.000208

ماخذ: یافته‌های تحقیق

روزانه متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۲۲۸۸ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان صفر میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۰۴۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۲۰۸ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از دریافت تخمینی روزانه کروم وجود ندارد.

نتایج بررسی دریافت تخمین روزانه فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین میزان دریافت تخمینی روزانه برای فلز سرب به میزان ۰/۳۴۵۹۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۳۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۱۰۱۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۰۵۰۴ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی

جدول ۲- تخمین دریافت روزانه فلزات سنگین در ماهی زالون.

Table 2. Estimated Daily Intake (EDI) of Heavy Metals in Zander (*Alosa braschnikowi*).

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.00852	0.6708	0.003696	0.47456	0.001224
نور Noor	0.03448	0.43936	0.006416	0.2176	0.000608
ساری Sari	0.006128	0.6688	0.006999	0.15712	0.00104
چالوس Chaloos	0.022488	0.88352	0.007408	0.1456	0.002128

ماخذ: یافته‌های تحقیق

میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان $0/88352$ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان $0/000608$ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد.

تخمین دریافت هفتگی (EWI): دریافت تخمینی هفتگی (EWI) فلزات سنگین سرب، کادمیوم، آرسنیک، کبالت و کروم از طریق مصرف ماهی سوف و زالون برای فرد بالغی با وزن ۷۰ کیلوگرم محاسبه و یافته‌های مرتبط با آن به ترتیب در جدول‌های ۳ و ۴ ارائه شد.

نتایج بررسی دریافت تخمین روزانه فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین میزان دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان $0/6708$ میکروگرم بر کیلوگرم و کم‌ترین آن برای فلز کادمیوم به میزان $0/001224$ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی روزانه برای فلز آرسنیک به میزان $0/43936$ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان $0/000608$ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی روزانه متعلق به فلز آرسنیک به میزان $0/6688$ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان $0/006128$ میکروگرم بر کیلوگرم و

جدول ۳- تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین در ماهی سوف.

Table 3. Estimated Weekly Intake (EWI) of Heavy Metals in European Perch (*Sander lucioperca*).

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.337792	0.53424	0.0231	2.42172	0.02184
نور Noor	-	0.70728	0.01302	1.2012	0.003528
ساری Sari	-	0.86016	0.009408	0.57288	0
چالوس Chaloos	0.014112	0.72912	0.011536	0.28448	0.001456

ماخذ: یافته‌های تحقیق

هفتگی متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۰/۸۶۰۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان ۰ میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۰/۷۲۹۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۱۴۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. همچنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از دریافت تخمینی هفتگی کروم وجود ندارد.

نتایج بررسی دریافت تخمین هفتگی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی هفتگی برای فلز سرب به میزان ۲/۴۲۱۷۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۲۱۸۴ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز سرب به میزان ۱/۲۰۱۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۳۵۲۸ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی

جدول ۴- تخمین دریافت هفتگی فلزات سنگین در ماهی زالون.

Table 4. Estimated weekly intake of heavy metals in zander fish.

کادمیوم Cadmium	سرب Lead	کبالت Cobalt	آرسنیک Arsenic	کروم Chromium	فلز/منطقه Metal/Area
0.008568	3.32192	0.025872	4.6956	0.05964	رامسر Ramsar
0.004256	1.5232	0.044912	3.07552	0.24136	نور Noor
0.00728	1.09984	0.048944	4.6816	0.042896	ساری Sari
0.014896	1.0192	0.051856	6.18464	0.157416	چالوس Chaloos

ماخذ: یافته‌های تحقیق

میکروگرم بر کیلوگرم برای فلز کادمیوم بود. در منطقه چالوس بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۶/۱۸۴۶۴ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۱۴۸۹۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد.

ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین (THQ): میزان پتانسیل خطرپذیری THQ هر یک از فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب، کادمیوم و کروم برای مصرف‌کنندگان بزرگسال ماهیان سوف و زالون صید شده از چهار ایستگاه صیادی محاسبه و در جدول‌های ۵ و ۶ نشان داده شد.

نتایج بررسی دریافت تخمین هفتگی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیشترین میزان دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۴/۶۹۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمترین آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۸۵۶۸ میکروگرم بر کیلوگرم بود. در منطقه نور بیشینه دریافت تخمینی هفتگی برای فلز آرسنیک به میزان ۳/۰۷۵۵۲ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن برای فلز کادمیوم به میزان ۰/۰۰۴۲۵۶ میکروگرم بر کیلوگرم ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه دریافت تخمینی هفتگی متعلق به فلز آرسنیک به میزان ۴/۶۸۱۶ میکروگرم بر کیلوگرم و کمینه آن به میزان ۰/۰۰۷۲۸ میکروگرم بر کیلوگرم

جدول ۵- پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی در بالغین ماهی سوف.

Table 5. Non-carcinogenic risk potential in adult perch.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.016085	0.2544	0.000165	0.08649	0.000312
نور Noor	-	0.3368	0.000093	0.0429	0.000504
ساری Sari	-	0.4096	-	0.02046	0
چالوس Chaloos	0.000672	0.3472	-	0.01016	0.000208

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج بررسی پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین و کم‌ترین پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۰/۲۵۴۴ و ۰/۰۰۰۱۶۵ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۰/۳۳۶۸ و ۰/۰۰۰۵۰۴ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب

برای فلزات سنگین آرسنیک و سرب به میزان ۰/۴۰۹۶ و ۰/۰۲۰۴۶ بود. هم‌چنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۰/۳۴۷۲ و ۰/۰۰۲۰۸ ثبت شد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در مناطق نور و ساری اثری از کروم وجود نداشته و برای ساری و چالوس اثری از کبالت مشاهده نگردید.

جدول ۶- پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی در بالغین ماهی زالون.

Table 6. Non-carcinogenic risk potential in adult zander fish.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.00284	2.236	0.000185	0.11864	0.001224
نور Noor	0.011493	1.464533	0.000321	0.03928	0.00104
ساری Sari	0.002043	2.229333	0.00035	0.03928	0.00104
چالوس Chaloos	0.007496	2.945067	0.00037	0.0364	0.002128

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج بررسی پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین و کم‌ترین پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کادمیوم به میزان ۲/۲۳۶ و ۰/۰۰۱۲۲۴ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۱/۴۶۴۵۳۳ و ۰/۰۰۰۳۲۱ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب

برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۲/۲۲۹۳۳۳ و ۰/۰۰۰۳۵ بود. هم‌چنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به‌ترتیب برای فلزات سنگین آرسنیک و کبالت به میزان ۲/۹۴۵۰۶۷ و ۰/۰۰۰۳۷ ثبت شد.

خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین (TCR): نتایج به‌دست آمده از محاسبه شاخص خطر سرطان‌زایی در جدول‌های ۷ و ۸ نشان داده شد.

جدول ۷- پتانسیل خطر سرطان‌زایی در بالغین ماهی سوف.

Table 7. Potential carcinogenic risk in adult perch fish.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	2.4128E-05	0.00114	-	2.94E-06	1.9656E-06
نور Noor	-	0.000152	-	1.46E-06	-
ساری Sari	-	0.000184	-	1.96E-07	3.1752E-06
چالوس Chaloos	1.008E-06	0.000156	-	3.45E-07	-

ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان $6/96 \text{ E}-07$ و $0/000184$ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان $1/45 \text{ E}-07$ و $0/000156$ ثبت شد.

نتایج بررسی پتانسیل خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین و کم‌ترین پتانسیل خطر سرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان $2/94 \text{ E}-06$ و $0/000114$ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین سرب و آرسنیک به میزان $1/46 \text{ E}-06$ و $0/000152$ ثبت شد.

جدول ۸- پتانسیل خطر سرطان‌زایی در بالغین ماهی زالون.

Table 8. Potential carcinogenic risk in adult zander fish.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	0.00000426	0.001006	-	4.03E-06	7.7112E-06
نور Noor	1.724E-05	0.000659	-	1.85E-06	3.8305E-06
ساری Sari	3.064E-06	0.001003	-	1.34E-06	6.5521E-06
چالوس Chaloos	1.1244E-05	0.001325	-	1.24E-06	1.3406E-05

ماخذ: یافته‌های تحقیق

$0/000659$ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان $6/552 \text{ E}-06$ و $0/001003$ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان $1/3406 \text{ E}-06$ و $0/001325$ ثبت شد.

نتایج بررسی پتانسیل خطر سرطان‌زایی فلزات سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر بیش‌ترین و کم‌ترین پتانسیل خطر سرطان‌زایی به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و کروم به میزان $7/7112 \text{ E}-06$ و $0/00000426$ ثبت شد. در منطقه نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کادمیوم و آرسنیک به میزان $3/8305 \text{ E}-06$ و $0/000659$ ثبت شد.

حد مجاز مصرف روزانه ماهی (CRLim): میزان
حد مجاز مصرف روزانه سه گونه ماهی مورد پژوهش
برای دو گروه بالغین با وزن ۷۰ کیلوگرم برای هر یک
از پنج فلز مس، آرسنیک، کادمیوم، کبالت و کروم
مورد محاسبه قرار گرفته است و نتایج آن در
جدول‌های ۹ و ۱۰ نشان داده شد.

جدول ۹- حد مجاز مصرف روزانه (CRLim) در بالغین ماهی سوف.

Table 9. Permissible daily intake limit (CRLim) for adult perch.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	2.08886	0.132075	203.6364	0.388484	107.6923
نور Noor	-	0.099762	361.2903	0.783217	66.66667
ساری Sari	-	0.082031	500	1.642229	-
چالوس Chaloos	50	0.096774	407.7709	3.307085	161.5509

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج بررسی حد مجاز مصرف روزانه فلزات
سنگین برای ماهی سوف نشان داد که در منطقه رامسر
بیشترین و کمترین حد مجاز مصرف روزانه فلزات
سنگین به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک
به میزان ۲۰۳/۶۳۶۴ و ۰/۱۳۲۰۷۵ ثبت شد. در منطقه
نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین
کبالت و آرسنیک به میزان ۳۶۱/۲۹۰۳ و ۰/۰۹۹۷۶۲
ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به ترتیب
برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان ۵۰۰ و
۰/۰۸۲۰۳۱ بود. هم‌چنین در منطقه چالوس بیشینه و
کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و
آرسنیک به میزان ۴۰۷/۷۷۰۹ و ۰/۰۹۶۷۷۴ ثبت شد.

جدول ۱۰- حد مجاز مصرف روزانه (CRLim) در بالغین ماهی زالون.

Table 10. Permissible daily intake (CRLim) for adult zander fish.

فلز/منطقه Metal/Area	کروم Chromium	آرسنیک Arsenic	کبالت Cobalt	سرب Lead	کادمیوم Cadmium
رامسر Ramsar	11.83099	0.015027	181.8182	0.28321	27.45098
نور Noor	2.923435	0.022942	104.7349	0.617647	55.2617
ساری Sari	16.44904	0.015072	96.10962	0.855397	32.3072
چالوس Chaloos	4.482391	0.011409	90.71294	0.923077	15.78959

ماخذ: یافته‌های تحقیق

نتایج بررسی حد مجاز مصرف روزانه فلزات
سنگین برای ماهی زالون نشان داد که در منطقه رامسر
بیشترین و کمترین حد مجاز مصرف روزانه فلزات
سنگین به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک
به میزان ۱۸۱/۸۱۸۲ و ۰/۰۱۵۰۲۷ ثبت شد. در منطقه
نور بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین
کبالت و آرسنیک به میزان ۱۸۱/۸۱۸۲ و ۰/۰۱۵۰۲۷ ثبت شد.

کبالت و آرسنیک به میزان $104/739$ و $0/22943$ ثبت شد. در منطقه ساری بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان $96/10962$ و $0/15072$ بود. همچنین در منطقه چالوس بیشینه و کمینه آن به ترتیب برای فلزات سنگین کبالت و آرسنیک به میزان $90/71294$ و $0/11409$ ثبت شد.

بحث و نتیجه گیری

روش مرسوم در تخمین ریسک خطر ایجاد شده در اثر مواجهه با سطوح شناخته شده آلودگی ها استفاده از ابزار ارزیابی ریسک سلامت می باشند که با استفاده از آن ها خطر بالقوه برای سلامت انسان قابل ارزیابی می باشد (۴). از استانداردها و روش های پذیرفته شده بین المللی جهت تعیین خطر سرطان زایی و غیرسرطان زایی مصرف ماهی روشی است که توسط آژانس حفاظت محیط زیست (EPA) مورد استفاده قرار می گیرد (۵). از این رو از شاخص های EDI و EWI برای تعیین دریافت تخمینی روزانه و هفتگی فلزات سنگین توسط کودکان و بالغین استفاده شد. جذب روزانه عنصر از طریق مصرف مواد غذایی به تجمع عنصر در غذا و میزان غذای مصرفی بستگی دارد (۱۱). یک عامل دارای اهمیت در ارزیابی خطرات مواد شیمیایی موجود در غذا، دانستن میزان جذب این مواد مضر توسط بدن و نگه داشتن آن در حاشیه امن می باشد (۶). نتایج به دست آمده از پژوهش های پیشین سازمان شیلات ایران نشان می دهد که میزان مصرف ماهی برای هر فرد بالغ $33/6$ و برای کودکان $13/1$ گرم به حالت روزانه می باشد (۵).

در پژوهشی که در کشور اسلوانی بر روی آلودگی ماهیان کپور معمولی و کلمه صید شده از مجموعه دریاچه های سالک به فلزات سنگین سرب، کادمیوم و آرسنیک انجام شد، الگوی آلودگی به حالت

سرب < آرسنیک < کادمیوم بوده است. در این پژوهش مثل پژوهش حاضر میزان آلودگی سرب در این دو گونه بیش از آرسنیک و کادمیوم به دست آمده است. به طور کلی میزان تجمع فلزات سنگین سرب و کادمیوم در پژوهش حاضر بیش از این مطالعه بوده و تنها تجمع آرسنیک به عدد به دست آمده از پژوهش حاضر نزدیک است. در ارزیابی دریافت تخمینی هفتگی (EWI) میزان به دست آمده از این پژوهش بسیار کم تر از پژوهش حاضر بوده است (۱۲). میزان کم تر آلودگی در این پژوهش می تواند نشان دهنده این مسأله باشد که آلودگی های کشاورزی و صنعتی برخلاف خلیج گرگان وارد دریاچه های مورد پژوهش نمی شوند. حتی با وجود بیش تر بودن آلودگی سرب نسبت به دو فلز دیگر در این پژوهش میزان آن بسیار کم تر از حداکثر حد قابل قبول بوده است. در پژوهشی که به روی ماهی کفال صید شده در جنوب نیجریه انجام شد، تجمع فلزات سنگین کادمیوم، سرب و مس به ترتیب $17/44$ ، $6/75$ و $32/98$ به دست آمده است. با وجود این که براساس مرتبه آلودگی فلزات سنگین در این پژوهش و نیز پژوهش حاضر فلز مس بیش از سایر فلزات سنگین سهم دارد، ولی میزان آلودگی به این سه فلز در این پژوهش بسیار بیش تر از پژوهش حاضر بوده است، ولی میزان آلودگی به آرسنیک در این پژوهش کم تر از پژوهش حاضر بوده است. دریافت تخمینی روزانه فلز کادمیوم بین اعداد $7/49$ و $10/700$ ، سرب بین $3/222$ و $4/590$ و فلز مس بین $10/185$ و $14/50$ به دست آمده است، که از میزان به دست آمده در پژوهش حاضر بیش تر بوده است. محیط آبی انتخاب شده در این پژوهش یک مسیر حمل و نقل کالا و نیز مواد نفتی می باشد و از طرف دیگر از منابع تامین پروتئین مردم منطقه است. دلیل آلودگی بالای ماهی در این پژوهش می تواند همین نکته نیز باشد (۱۳).

در مطالعه‌ای بر روی ۸ نوع ماهی مورد مصرف در بنگلادش انجام شد، آلودگی فلزات سنگین مس، کادمیوم، سرب و آرسنیک مورد پژوهش قرار گرفته است. در این پژوهش ترتیب آلودگی فلزات سنگین به حالت کادمیوم < سرب < مس < آرسنیک بوده و متفاوت از نتایج پژوهش حاضر بوده است. میزان آلودگی کادمیوم و سرب در این پژوهش بسیار بیش‌تر از پژوهش حاضر به‌دست آمده است. میزان آلودگی ماهیان به فلز مس بین $0.3-2.23$ ، کادمیوم $0.52-1.4/0.9$ ، سرب $0.11-0.92/8$ و آلودگی آرسنیک نیز 0.08 < بوده است.

در این پژوهش شاخص EDI بین 1.28×10^{-4} تا 5.25×10^{-5} برای فلز مس، 1.08×10^{-3} تا 2.66×10^{-4} برای فلز کادمیوم، 1.95×10^{-5} تا 1.56×10^{-3} برای فلز سرب و کم‌تر از حد تشخیص برای آرسنیک به‌دست آمده است (۱۴). در پژوهشی که در دو منطقه ساحلی کشور مالزی روی ۲ گونه ماهی دریایی انجام شد، میزان تجمع فلزات سنگین کادمیوم، سرب، مس و آرسنیک در منطقه اول مورد پژوهش به‌ترتیب بین $0.04-0.16$ ، $0.49-1.81$ ، $1.84-3.36$ ، $4.17-3.54$ و در منطقه دوم $0.03-0.43$ ، $1.64-0.81$ ، $2.07-2.69$ ، $6.38-23.52$ میکروگرم بر گرم به‌دست آمده است. محاسبه دریافت تخمینی روزانه (EDI) نشان داده است که میزان این شاخص در ارتباط با فلزات سنگین سرب و کادمیوم کم‌تر از دریافت قابل تحمل موقت روزانه بوده است. در مورد آرسنیک به غیر از یک مورد میزان این شاخص در باقی نمونه‌ها بیش از دریافت قابل تحمل موقت روزانه به‌دست آمد. میزان EDI مس تقریباً دو برابر میزان دریافت قابل تحمل موقت روزانه تعیین شده برای این فلز بوده است (۱۵).

در پژوهشی که طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ بر روی آلودگی ماهیان و سایر آبزیان صید شده از نقاط

گوناگون کشور چین به فلزات سنگین انجام شد، میانگین میزان تجمع فلز کادمیوم در ماهیان بین 0.006 در شمال‌غربی تا 0.008 در شرق و جنوب‌غربی، تجمع فلز سرب بین 0.022 در شمال‌غربی تا 0.05 در جنوب‌غربی و تجمع فلز آرسنیک بین 0.017 در جنوب‌غربی و بخش مرکزی چین تا 0.026 در بخش شرقی بوده است. به غیر از منطقه شرق چین در سایر نقاط مورد پژوهش میزان تجمع سرب بیش از دو فلز دیگر بوده است. در محاسبه میزان دریافت تخمینی روزانه (EDI) نیز تمام میزان به‌دست آمده در این پژوهش کم‌تر از دریافت قابل تحمل موقت روزانه گزارش شد و از این لحاظ با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد (۷).

خطر غیرسرطان‌زایی (THQ): ارزیابی خطر فلزات سنگین از طریق مصرف محصولات دریایی اغلب به‌وسیله THQ محاسبه می‌شود (۶). THQ شاخص ارزیابی خطر می‌باشد و دریافت آلودگی را با یک دوز مرجع استاندارد مقیاس می‌کند و اغلب در ارزیابی خطر غیرسرطان‌زایی فلزات سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرد (۱۶). اگر میزان این شاخص بیش از عدد یک به‌دست بیاید بدین معناست که فلز سنگین مورد پژوهش در ماده غذایی دارای پتانسیل خطر (خطر بالقوه) برای سلامت مصرف‌کننده می‌باشد و اگر کم‌تر از عدد یک به‌دست بیاید این خطر قابل چشم‌پوشی خواهد بود (۷) و بیانگر آن است که در اثر مصرف ماهیان مورد ارزیابی احتمال بروز خطر بیماری‌های غیرسرطانی در افراد مصرف‌کننده این گونه ماهیان بسیار کم است (۶). برای محاسبه این شاخص دو مورد به‌عنوان پیش فرض دانسته می‌شود:

۱. میزان فلز وارد شده برابر میزان جذب شده توسط بدن است.

۲. عمل پختن تأثیری بر آلودگی ندارد (۱۷).

محاسبه شاخص HI برای تمام فلزات سنگین مورد پژوهش کم‌تر از عدد یک به‌دست آمده است. نتایج پژوهش شاخص خطر غیرسرطان‌زایی و HI با پژوهش حاضر همخوانی دارد (۷).

در پژوهشی که بر روی گونه‌های صید شده در جزیره سنت مارتین بنگلادش انجام شد، نتایج ارزیابی شاخص THQ به غیر از فلز کادمیوم در دو گونه از ماهی‌ها در سایر گونه‌ها کم‌تر از یک گزارش شد که نشان‌دهنده عدم خطر بالقوه غیرسرطان‌زایی مصرف آن‌ها بوده است. نتایج ارزیابی این شاخص برای فلز مس $1/31 \times 10^{-3}$ تا $9/75 \times 10^{-3}$ ، فلز کادمیوم $2/66 \times 10^{-1}$ تا $2/4679$ ، فلز سرب $9/78 \times 10^{-4}$ تا $1/51 \times 10^{-2}$ به‌دست آمده است. با این وجود محاسبه شاخص HI که مجموع THQ فلزات سنگین موجود را نشان می‌دهد در دو گونه مذکور بیش از عدد یک به‌دست آمده است و بیانگر این مسأله می‌باشد که مصرف آن‌ها می‌توانست در درازمدت اثرات غیرسرطان‌زایی در مصرف‌کننده داشته باشد (۱۴). در پژوهشی که در مالزی انجام شد، در برآورد میزان THQ فلزات سنگین در ماهیان صیدشده به غیر از فلز مس و آرسنیک در گونه‌های صید شده در منطقه دوم باقی موارد کم‌تر از عدد یک به‌دست آمده است. هرچند محاسبه شاخص HI که حاصل مجموع میزان THQ همه فلزات سنگین در یک گونه ماهی می‌باشد نیز در تمام موارد مورد پژوهش بیش از عدد یک بوده است و از این بابت با نتایج پژوهش حاضر مغایرت داشته و نشان داده است که مصرف گونه‌های مورد پژوهش می‌توانست دلیل ایجاد خطرات بالقوه‌ای برای سلامت مصرف‌کنندگان شود (۱۵). در پژوهشی که در جنوب نیجریه بر روی ماهی کفال صید شده انجام شد، ارزیابی شاخص غیرسرطان‌زایی در مورد فلز کادمیوم بین $7/49$ تا $10/7$ ، سرب بین $0/092$ تا $0/130$ و مس بین $0/025$ تا $0/040$ متغیر بوده است.

میزان THQ محاسبه شده برای فلزات سنگین آرسنیک، کادمیوم، سرب و مس در اثر مصرف گونه‌های صید شده از هر سه ایستگاه برای بزرگسالان و کودکان در پژوهش حاضر کم‌تر از یک به‌دست آمده است که نشان می‌دهد، مصرف آن‌ها از میزان بهداشتی خطری برای مصرف‌کنندگان به لحاظ ابتلا به بیماری‌های غیرسرطانی ندارد. در پژوهشی که بر روی آلودگی تعدادی از گونه‌های صید شده در بندرعباس به فلزات سنگین انجام شد، میزان شاخص THQ برای فلز سرب بین $4/32 \times 10^{-4}$ تا $1/03 \times 10^{-3}$ و میزان این شاخص برای فلز کادمیوم بین $1/76 \times 10^{-4}$ تا $6/7 \times 10^{-4}$ به‌دست آمده و از نتایج پژوهش حاضر کم‌تر بوده است (۱۸). در پژوهشی که بر روی ماهی کپور در کشور لهستان، میزان پتانسیل خطر غیرسرطان‌زایی (THQ) و مجموع آن‌ها (HI) کم‌تر از یک به‌دست آمد و مشابه پژوهش حاضر خطری را از جهت بیماری‌های غیرسرطانی ایجاد نمی‌کرده است (۱۹). در پژوهشی که بر روی آلودگی عضله چند گونه ماهی در خلیج کاتانیا در شرق دریای مدیترانه به فلزات سنگین انجام شد میزان شاخص THQ برای فلز کادمیوم کم‌تر از یک بوده و با پژوهش حاضر همخوانی دارد، ولی شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز آرسنیک برخلاف پژوهش حاضر بیش از یک به‌دست آمده است (۲۰).

در مطالعه‌ای که در مناطق گوناگون کشور چین در ارتباط با آلودگی گونه‌های گوناگون ماهی به فلزات سنگین انجام شد، میزان شاخص پتانسیل غیرسرطان‌زایی آلودگی (THQ) برای سه فلز آرسنیک، سرب و کادمیوم و همچنین شاخص HI برای تمام فلزات سنگین مورد پژوهش محاسبه شده و تمامی میزان کم‌تر از یک به‌دست آمد. این بدان معناست که مصرف این ماهیان خطر بالقوه‌ای برای سلامتی مصرف‌کنندگان ندارد. به‌علاوه، نتایج حاصل از

نتایج شاخص خطر غیرسرطان‌زایی فلز کادمیوم مغایر با پژوهش حاضر بوده و بسیار بیش‌تر نیز به‌دست آمده است. نتایج شاخص HI فلزات سنگین مس، کادمیوم، سرب و کروم بین ۷/۶۱۲ تا ۱۰/۱۰۸۴۲ نیز متغیر بوده است. براساس نتایج مصرف گونه مورد پژوهش در این پژوهش می‌توانست خطراتی را به دنبال داشته باشد (۱۳).

ارزیابی شاخص سرطان‌زایی (TCR): شاخص سرطان‌زایی می‌باشد و نشان‌دهنده احتمال ابتلای یک فرد بر اثر مواجهه با یک عامل بالقوه سرطان‌زا در طول زندگی به سرطان می‌باشد (۱۸). اگر میزان آن بیش از 1×10^{-4} به‌دست بیاید بدین معناست که خطر سرطان‌زایی بر اثر مصرف آن ماده غذایی دارای فلز مورد پژوهش وجود دارد.

اگر عدد به‌دست آمده بین 1×10^{-4} و 1×10^{-6} باشد، خطر سرطان‌زایی آن آلودگی قابل‌قبول می‌باشد و اگر کم‌تر از 1×10^{-6} به‌دست بیاید به این معنی است که خطر سرطان‌زایی بر اثر مصرف ماده غذایی دارای فلز مورد پژوهش قابل چشم‌پوشی است (۷). در پژوهشی که بر روی آلودگی گونه‌های صید شده در بندرعباس به فلزات سنگین انجام شد، نتایج ارزیابی شاخص سرطان‌زایی (TCR) برای فلز کادمیوم بین $2/54 \times 10^{-7}$ تا $6/68 \times 10^{-8}$ و برای فلز سرب بین $3/51 \times 10^{-8}$ تا $1/47 \times 10^{-8}$ به‌دست آمده است، که از نتایج پژوهش حاضر بسیار کم‌تر بوده و خطری را در خصوص سرطان‌زایی برای مصرف‌کننده در پی ندارد (۲۱). به‌علاوه میزان پتانسیل خطر سرطان‌زایی (TCR) در پژوهشی آلودگی ماهی کپور معمولی به فلزات سنگین در گروه بالغین در کشور لهستان بسیار کم‌تر از بازه تعیین شده و برای فلز سرب برابر با $4/39 \times 10^{-8}$ و برای فلز آرسنیک $4/50 \times 10^{-7}$ به‌دست آمده است. این میزان کم‌تر از بازه قابل‌پذیرش بوده‌اند، به این معنی که خطر سرطان‌زایی

فلزها از طریق مصرف ماهی کپور معمولی قابل چشم‌پوشی بوده و مصرف این ماهی خطری به لحاظ ابتلا به بیماری‌های سرطانی ندارد (۱۹). درحالی‌که در پژوهش حاضر میزان این شاخص در در گروه بالغین در محدوده قابل پذیرش بوده است.

در پژوهشی که بر روی دو گونه ماهی صید شده از دو خط ساحلی در کشور مالزی انجام شد، شاخص سرطان‌زایی (TCR) فلز آرسنیک بین $6/25 \times 10^{-7}$ و $35/30 \times 10^{-7}$ ، فلز کادمیوم بین $163/03 \times 10^{-3}$ و $12/33 \times 10^{-3}$ و فلز سرب بین $13/90 \times 10^{-3}$ و $6/77 \times 10^{-3}$ برای دو گروه بالغین و کودکان متغیر بوده است. این میزان بیش از بازه مورد پذیرش بوده و بیان‌کننده این مسأله بوده است که مصرف ماهیان مورد پژوهش می‌توانست خطر جدی سرطان‌زایی را به‌دنبال داشته باشد (۱۵). در پژوهشی که در چین انجام شد، نتایج حاصل از ارزیابی شاخص سرطان‌زایی (TCR) فلزات سنگین سرب، کادمیوم و آرسنیک در ماهیان مورد پژوهش نشان داده است که میزان به‌دست آمده بین $8/02 \times 10^{-5}$ تا $2/97 \times 10^{-7}$ متغیر بوده و در مورد فلز سرب، میزان به‌دست آمده از میزان سرطان‌زایی قابل چشم‌پوشی و در مورد دو فلز دیگر در محدوده قابل‌قبول بوده است (۷).

حد مجاز روزانه و حداکثر وعده‌های مجاز در طول یک ماه: میزان نرخ مجاز مصرف روزانه در واقع حداکثر میزان مصرف مجاز روزانه را بدون داشتن انتظار اثرات مضر غیرسرطان‌زا در طول عمر فرد نشان می‌دهد. با توجه به این‌که در عضله ماهیان مورد پژوهش فلزات سنگین تشخیص داده شد، در نتیجه ضروری است که معین شود مصرف‌کنندگان چه میزان از این گونه‌ها مصرف نمایند، بدون این‌که برای آن‌ها اثرات مضر به وجود بیاید (۶). میزان حد مجاز روزانه و به‌علاوه حداکثر وعده‌های مجاز در طول یک ماه مصرف ماهیان مورد پژوهش از میزان فلزات

به ترتیب اعداد ۰/۴۴ و ۰/۰۹ کیلوگرم در روز به دست آمده است. به علاوه نتایج ارزیابی تعداد وعده های مجاز در ماه (CRmm) برای فلز سرب و کادمیوم در بالغین و کودکان به ترتیب ۱/۵۹، ۰/۳۳ و ۰/۵۹، ۱۲/۱۵ به دست آمد (۲۱).

نتایج ارزیابی شاخص های بهداشتی نشان داده است که مصرف روزانه و هفتگی این دو گونه از نظر سلامتی مسأله ای برای افراد ایجاد نمی کند، علاوه بر این اندازه گیری پتانسیل خطر غیرسرطانزایی تمام نمونه ها کم تر از عدد یک به دست آمد و این بدان معناست که مصرف آن ها خطری به لحاظ ابتلا به بیماری های غیرسرطانی در پی نخواهد داشت. با این وجود اندازه گیری پتانسیل خطر سرطانزایی برخی فلزات سنگین بیش از بازه قابل قبول بوده و در نتیجه نشان می دهد که مصرف این ماهیان در درازمدت می تواند خطر ابتلا به انواع بیماری های سرطانی را به دنبال داشته باشد. به علت مصرف ماهی توسط افراد در گروه های سنی مختلف و تأثیر آن در سلامت افراد، ضروری است که پایش های زیستی مداوم در مناطق مختلف که درگیر ورود آلودگی ها و فلزات سنگین هستند در تمامی گروه های سنی صورت بگیرد، چرا که ممکن است در اثر ورود حجم بالای این موارد به اکوسیستم های آبی میزان آن ها در بدن ماهی افزایش یابد و در نتیجه با مصرف آن توسط انسان خطر سرطانزایی نیز افزایش یابد. امید است که در آینده پژوهش های جامعی در این زمینه انجام شود.

سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم و مس برای افراد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان با وزن ۱۶ کیلوگرم محاسبه و نتایج آن در جدول های ۹ تا ۱۰ نشان داده شد. حد مجاز مصرف ماهیان مورد پژوهش در روز برای کودکان تقریباً ۴/۴ برابر کم تر از حد مجاز مصرف در روز برای بالغین می باشد و دلیل این تفاوت اختلاف وزنی افراد است. در پژوهشی که بر روی آلودگی ماهی قزل آلا ی رنگین کمان به فلزات سنگین سرب و کادمیوم انجام شد، میانگین میزان آلودگی عضله ماهیان به فلز سرب ۲۳/۶۵ میکروگرم بر گرم وزن تر و میزان آلودگی به فلز کادمیوم برابر ۰/۱۶ میکروگرم بر گرم وزن تر به دست آمده است. میزان آلودگی به فلز سرب از پژوهش حاضر بسیار بیش تر بوده و علاوه بر این میزان آن بیش از آلودگی به کادمیوم بوده است. تخمین دریافت روزانه برای یک فرد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم در ارتباط با فلز سرب ۷/۴ و در ارتباط با فلز کادمیوم ۰/۰۵ و تخمین دریافت هفتگی به ترتیب ۵۱/۸۲ و ۰/۳۵ به دست آمد. تمامی میزان به دست آمده کم تر از میزان جذب مجاز قابل تحمل موقت هفتگی و روزانه بود. در ارزیابی شاخص خطر غیرسرطانزایی برای دو فلز سرب و کادمیوم و شاخص HI اعداد به دست آمده همه کم تر از یک و به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۰۷ و ۰/۲۱ به دست آمد و خطری برای مصرف کنندگان نداشته است. در ارزیابی حد مجاز مصرف روزانه ماهی (CRLim) برای دو گروه بالغین و کودکان در ارتباط با فلز سرب به ترتیب اعداد ۰/۰۱ و ۰/۰۰۲ و در ارتباط با فلز کادمیوم

منابع

- 1.Karpinsky, M. G., Shiganova, T. A., & Katunin, D. N. (2005). Introduced species. *The Caspian Sea Environment*, 175-190.
- 2.Korshenko, A., & Gul, A. G. (2005). Pollution of the Caspian Sea. *The Caspian Sea Environment*, 109-142.
- 3.Zonn, I. S. (2005). Economic and international legal dimensions. *The Caspian Sea Environment*, 243-256.
- 4.Ermolin, I., & Svolkinas, L. (2016). Who owns Sturgeon in the Caspian? New theoretical model of social responses towards state conservation

- policy. *Biodiversity and Conservation*, 25, 2929-2945.
5. Farhangi, M. (2016). The effects of sturgeon culture in confined waters on water quality and benthic communities in the breeding area (Gorgan Bay). PhD thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. [In Persian]
6. Mirhashemi-Rostami, S. A., Amini, K., Khani, F., & Kolangi-Miandareh, H. (2015). Proliferation of immature Persian sturgeon (*Acipenser persicus*) using plant LHRH-A hormone. *Utilization and Cultivation of Aquatics*, 4(2), 63-78. [In Persian]
7. Raeisi, H., Moradi-Nasab, A. A., Patimar, R., Kamrani, E., & Haghparast, S. (2019). Population dynamic of *Acipenser persicus* by Monte Carlo simulation model and Bootstrap method in the southern Caspian Sea (Case study: Guilan province). *Journal of Applied Ichthyological Research*, 7(3), 31-44. [In Persian]
8. Shokouhinia, M. (2018). Analysis of feeding types for sturgeon fish. The First National Conference on Sustainable Development in Agriculture and Natural Resources, Focusing on Environmental Culture. Tehran. International Center for Conferences and Seminars on Sustainable Development of Islamic World Sciences. [In Persian]
9. Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., Garcia, A., Pringle, R. M., & Palmer, T. M. (2015). Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science advances*, 1(5), e1400253.
10. Jalali, M. A., Ierodiconou, D., Monk, J., Gorfine, H., & Rattray, A. (2015). Predictive mapping of abalone fishing grounds using remotely-sensed LiDAR and commercial catch data. *Fisheries research*, 169, 26-36.
11. Moghim, M. (2003). Stock assessment and population dynamics of *Acipenser persicus* in the southern Caspian Sea (Iranian waters). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 11(4), 98-117. [In Persian]
12. Tavakoli, M., Parafkande Haghighi, F., & Behrouz Khoshqalb, M. (2012). Sturgeon Stock Assessment in the Iranian Waters of the Caspian Sea Using Swept area Method (2009-2010). *Fisheries*, 66(3), 271-282. [In Persian]
13. Sumaila, U. R., Lam, V., Le Manach, F., Swartz, W., & Pauly, D. (2016). Global fisheries subsidies: An updated estimate. *Marine Policy*, 69, 189-193.
14. Bronzi, P., & Rosenthal, H. (2014). Present and future sturgeon and caviar production and marketing: a global market overview. *Journal of Applied Ichthyology*, 30(6), 1536-1546.
15. Pourkazemi, M. (2006). Caspian Sea sturgeon conservation and fisheries: past present and future. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(1), 12-16.
16. IFSY (Iranian Fishery Statistics Yearbook). (2008). Sturgeons fishing statistic insouthwest Caspian Sea. Statistic and Informatics office Iranian fishery, Tehran, 60p. [In Persian]
17. Aghilinejad, M. (2016). Evaluation of factors affecting the occurrence of illegal fishing in the southern part of the Caspian Sea. PhD thesis. Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources. [In Persian]
18. IUCN. (2015). International Union for Conservation of Nature. <https://www.iucn.Org/content/sturgeon-more-critically-endangered-any-other-group-species>.
19. McCarthy, M. A. (1996). Red kangaroo (*Macropus rufus*) dynamics: effects of rainfall, density dependence, harvesting and environmental stochasticity. *Journal of Applied Ecology*, 33, 45-53.
20. Fazli, H., Tavakoli, M., Khoshqalb, M. R., Moghim, M., & Valinasab, T. (2020). Population dynamics and the risk of stock extinction of Persian sturgeon (*Borodin*) in the Caspian Sea. *Fisheries and Aquatic life*, 28(2), 62-72.
21. Laplanche, C., Elger, A., Santoul, F., Thiede, G. P., & Budy, P. (2018). Modeling the fish community population dynamics and forecasting the eradication success of an exotic fish from an

- alpine stream. *Biological Conservation*, 223, 34-46.
22. Dick, E. J., & MacCall, A. D. (2011). Depletion-Based Stock Reduction Analysis: A catch-based method for determining sustainable yields for data-poor fish stocks. *Fisheries Research*, 110(2), 331-341.
23. Ye, Y., & Valbo-Jorgensen, J. (2012). Effects of IUU fishing and stock enhancement on and restoration strategies for the stellate sturgeon fishery in the Caspian Sea. *Fisheries Research*, 131-133, 21-29.
24. Sweka, J. A., Neuenhoff, R., Withers, J., & Davis, L. (2018). Application of a Depletion-Based Stock Reduction Analysis (DB-SRA) to lake sturgeon in Lake Erie. *Journal of Great Lakes Research*, 44(2), 311-318.
25. Mirrasooli, E., Ghorbani, R., Gorgin, S., Jalali, M., & Aghilinejad, S. M. (2020). Identification study of Factors affecting the Reduction of Sturgeon Stocks in the southern Caspian Sea Based on Fishermen's Viewpoints Using Smart Pls Structural Equation. *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 29(5), 89-98.
26. Kazemi Darsenaki, R., & Naimi, A. S. (1401). Heavy metal contamination in water and sediments of the Persian Gulf coast: a narrative review. *Sea Medicine*, 4(4), 198-205. <https://sid.ir/paper/1095499/fa>.

