



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir

ISSN: 2476-3683

Research Paper

Risk Assessment of Some Heavy Metals in Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Cultured in the Biofloc System

Akram Bemani^{1*} and Narjes Okati²

¹Assoc. Professor, Department of Environmental Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

²Assist. Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran

Article information

Received: September 23, 2023**Revised:** February 20, 2023**Accepted:** February 21, 2023

Keywords:

Absorption Rate

Biofloc

Consumption Limit

Tilapia

***Corresponding author:**a.bemani@ardakan.ac.ir

Abstract

The purpose of this research is to evaluate the risk of metals (lead, chromium, mercury, arsenic and nickel) on the health of children and adults through the consumption of Nile Tilapia cultured in the Biofloc breeding system. The number of 30 pieces of Tilapia grown in the Biofloc system was caught and analyzed by an atomic absorption device equipped with a graphite furnace system. The average concentration of metals, the daily intake (DI) of metals through the frequency of consumption of Tilapia for different groups (adults and children with an average age of 10 years), the risk index(HQ), the number of allowed servings of Tilapia per month(CRmm) was calculated for people in different groups. The highest and lowest daily absorption rates in the adult group are related to arsenic ($2.08 \times 10^{-3} \mu\text{g/kg/d}$) and mercury ($2.49 \times 10^{-6} \mu\text{g/kg/d}$) in the children group, respectively in the case of lead ($4.93 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/d}$) and mercury ($3.28 \times 10^{-9} \mu\text{g/kg/d}$). The hazard index (HQ) for both study groups was lower than one in all elements. The HI rate was 0.83 for adults and 0.02 for children, which was lower than one. For adults, the HI index was close to 1, which according to the HQ values of each element, the greatest increase in the HI value can be due to the higher HQ value for arsenic.

How to cite this paper: Bemani, A., & Okati, N. (2024). Risk assessment of some heavy metals in nile tilapia (*oreochromis niloticus*) cultured in the biofloc system. *Environ. Water Eng.*, 10(4), 452-465. <https://doi.org/10.22034/EWE.2024.421589.1897> (In Persian)



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** Journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent years, the global consumption of fish has increased dramatically as a result of wider and deeper knowledge of the benefits of fish for human health. However, fish are at the top of the aquatic food chain and may accumulate large amounts of metals in their bodies. For this reason, fish consumption is considered one of the main ways of human contact with heavy metal pollution. Tilapia is the third aquaculture product after carp and salmon. Tilapia farming is developing very fast globally. Few studies have been conducted to evaluate the risk of consuming Tilapia in terms of the amount of heavy metals in Iran, and there is no information about the amount of heavy metals of consumers and assessing the possible risk of consuming this fish daily. Therefore, it is very important to study the risk of consuming this seafood and evaluate it, especially for vulnerable groups such as children and pregnant women. The purpose of this research was to evaluate the risk of metals (lead, chromium, mercury, arsenic, and nickel) on the health of children and adults through the consumption of Nile Tilapia cultured in the Biofloc system. The results of this research will help relevant organizations to maintain health and sustainable development of society.

Material and Methods

30 samples of Tilapia cultured in the Biofloc system with an average weight of 640 g and a total length of 32.5 cm were caught and transported to the laboratory in ice. After preparing the samples, an atomic absorption device was used to measure the concentration of heavy metals. The average

concentration of metals, the daily intake (DI) of metals through the frequency of consumption of Tilapia for different groups (adults and children with an average age of 10 years), the risk index (HQ), the number of allowed servings of Tilapia per month (CRmm) was calculated for people in different groups. The amount of RfD for lead, mercury, chromium, arsenic, and nickel was considered as 0.0035, 0.0001, 0.005, 0.0003, and 0.02 d/μg/kg, respectively. Carcinogenesis risk for each pollutant (CR) and for total pollutants (TCR) was calculated, where CR indicates the lifetime risk of carcinogenesis as a result of exposure to a specific pollutant. EDI is the amount of daily absorption of the target pollutant in mg/kg BW of the body and CSF is the slope factor of carcinogenicity through ingestion, whose values are 0.0058, 0.5, 1.5, and 1.7 d/mg/kg for lead, chromium, arsenic, and nickel, respectively.

Results

The average concentration of metals including lead, nickel, cadmium, mercury, arsenic, and chromium in Tilapia muscle tissue was 0.098, 0.039, 0.006, 0.50, and 0.015 μg/g wet weight, respectively. The results of non-carcinogenic risk indicators of metals in Tilapia for people in different groups (adults and children) are shown in Table 1. The highest and lowest daily absorption rates in the adult group are related to arsenic elements (2.08×10^{-3} μg/kg/d) and mercury (2.49×10^{-6} μg/kg/d) in the children group, respectively. Moreover, the hazard index (HQ) for both study groups was lower than one. The HI rate was 0.83 for adults and 0.02 for children, which was lower than one. For adults, the HI index was close to 1.

Table 1 Values of EDI, HQ, and HI (g/kg/dμ) of the studied elements as a result of consuming Tilapia for adults and children

| Elements | EDI | | HQ | |
|----------|-----------------------|-----------------------|--------|----------|
| | Adults | Children | Adults | Children |
| Pb | 3.75×10^{-5} | 4.93×10^{-5} | 0.010 | 0.014 |
| Cr | 1.04×10^{-4} | 5.47×10^{-6} | 0.104 | 0.005 |
| Hg | 2.49×10^{-6} | 3.28×10^{-9} | 0.024 | 0.0003 |
| Ar | 2.08×10^{-4} | 2.73×10^{-7} | 0.695 | 0.0009 |
| Ni | 3.34×10^{-6} | 4.38×10^{-6} | 0.0001 | 0.047 |
| HI | | | 0.83 | 0.02 |

The maximum permissible amount of consumption for Tilapia was for nickel for adults and children (175 and 80 kg/d, respectively) and the lowest amount of consumption for adults and children was for arsenic (0.042 and 0.01 kg/d,

respectively). In terms of the carcinogenic risk potential for adults, lead was in a very small risk range and, in other words, safe (less than 10^{-4}), chromium and nickel were in a permissible and tolerable range (between 10^{-6} and 10^{-4}). but for

arsenic, it exceeded the value of 10^{-6} , and there is a possibility of creating a risk of carcinogenesis for adults in terms of the amount of this element in the muscle tissue of Tilapia (Table 2).

Table 2. CR index values of studied elements and TCR as a result of consuming Tilapia for adults and children

| Elements | CR | |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| | Adults | Children |
| Pb | $10^{-7} \times 3.19$ | $10^{-7} \times 4.19$ |
| Cr | $10^{-5} \times 5.21$ | $10^{-6} \times 2.73$ |
| Ar | $10^{-4} \times 3.13$ | $10^{-7} \times 4.1$ |
| Ni | $10^{-6} \times 2.80$ | $10^{-6} \times 3.68$ |
| TCR | $10^{-4} \times 3.68$ | $10^{-6} \times 7.25$ |

In the case of children, the carcinogenic risk index for lead and arsenic was within the safe limit, for chromium and nickel within the allowable and tolerable limit. The TCR value for adults was greater than 1×10^{-4} , which indicates the possibility of creating a risk; But for children, the amount was less than this, which indicates a low risk of carcinogenesis.

Conclusions

The hazard index (HQ) for the groups of adults and children was lower than one for all elements. The HI rate for adults and children was lower than one. The value of this index for adults was close to 1, which according to the HQ values of each element, the greatest increase in HI value can be due to the higher HQ value for arsenic. Except for arsenic, there is no restriction on consumption of other elements for any of the groups of adults and children. The carcinogenic risk index (CR) for Pb, Cr, and Ni was in the range of very small risk or safe level for adults. In general, consuming Tilapia has no health risks for adult and children, but considering the results of arsenic and in case of consumption of 4 or 5 servings per month, it is recommended to be cautious about their consumption by adults, especially pregnant women.

Data Availability

The data generated in this research is presented in the text of the article.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

ارزیابی خطر برخی عناصر سنگین در ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*) پرورشی در سامانه بیوفلاک

اکرم بمانی^{۱*} و نرجس اکاتی^۲

^۱دانشیار، گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران
^۲استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۰۷/۳۰]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۲/۰۹/۲۵]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۹/۲۵]

واژه های کلیدی:

بیوفلاک

حد مجاز مصرف

ماهی تیلاپیا

میزان جذب

نویسنده مسئول:

a.bemani@ardakan.ac.ir

هدف این پژوهش ارزیابی خطر فلزات سرب، کروم، جیوه، آرسنیک و نیکل بر سلامت کودکان و بزرگسالان از طریق مصرف ماهی تیلاپای نیل پرورش یافته در سامانه پرورشی بیوفلاک است. تعداد ۳۰ قطعه ماهی تیلاپیا پرورش یافته در سامانه بیوفلاک صید و به وسیله دستگاه جذب اتمی مجهز به کوره گرافیتی آنالیز شد. میانگین غلظت فلزات، میزان جذب روزانه (DI) فلزات از طریق دفعات مصرف ماهی تیلاپیا برای گروه های مختلف بزرگسالان و کودکان با میانگین سنی ۱۰ سال، شاخص خطر (HQ)، تعداد وعده های مجاز مصرف ماهی تیلاپیا در ماه (CRmm) برای افراد در گروه های مختلف محاسبه شد. بیشترین و کمترین میزان جذب روزانه در گروه بزرگسالان مربوط به عناصر آرسنیک و جیوه به ترتیب با مقادیر $2/08 \times 10^{-3} \mu\text{g/kg/d}$ و $2/49 \times 10^{-6} \mu\text{g/kg/d}$ و در گروه کودکان در مورد سرب و جیوه به ترتیب $4/93 \times 10^{-5} \mu\text{g/kg/d}$ و $3/28 \times 10^{-9} \mu\text{g/kg/d}$ به دست آمد. شاخص HQ برای هر دو گروه مورد مطالعه در همه عناصر پایین تر از یک بود. میزان HI برای بزرگسالان ۰/۸۳ و برای کودکان ۰/۰۲ به دست آمد که پایین تر از یک بود. برای بزرگسالان شاخص HI نزدیک به ۱ بود که با توجه به مقادیر HQ هر یک از عناصر، بیشترین افزایش در مقدار HI می تواند به علت میزان بالاتر HQ برای آرسنیک باشد.

نحوه استناد به این مقاله:

بمانی، اکرم، & اکاتی، نرجس. (۱۴۰۳). ارزیابی خطر برخی عناصر سنگین در ماهی تیلاپای نیل (*Oreochromis niloticus*) پرورشی در سامانه بیوفلاک. محیط زیست و مهندسی آب. 10(4) 452-465. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.421589.1897>



۱- مقدمه

مرگ می‌شود (García-Lestón et al. 2010). اگرچه مس، آهن، منگنز و روی عناصر ضروری برای متابولیسم هستند، اما هنگامی که غلظت‌های آن‌ها در آستانه‌های خاصی تجمع یابند، خطرات قابل‌توجهی برای سلامتی ایجاد خواهند کرد. سطوح نسبتاً بالای مس و روی باعث نفريت، آنوری و ضایعات گسترده در کلیه می‌شود (Sivaperumal et al. 2007). در مطالعه‌ای دیگر، مشخص شد که جیوه به دلیل تأثیرات آن بر دفاع سلولی و تولید انرژی، می‌تواند باعث ایجاد سمیت و علائم گسترده در بسیاری از اندام‌ها مانند دستگاه عصبی، دستگاه قلبی-عروقی و دستگاه گوارش شود (Isangedighi and David 2019). تیلاپیا پس از ماهی کپور و آزادماهیان سومین محصول آبی‌پروری محسوب می‌شود. پرورش تیلاپیا با سرعت بسیار زیادی در سطح جهانی با متوسط افزایش سالانه ۱۲/۲٪ تولید، در حال توسعه هست. اخیراً تیلاپیا در بیش از ۱۴۰ کشور جهان پرورش داده می‌شود. مهم‌ترین شاخصه‌های پرورشی این ماهیان عبارت‌اند از رشد سریع، مقاومت بالا در برابر طیف وسیعی از شرایط زیست‌محیطی مانند دما، دوره نورانی، سرعت جریان، ذرات معلق، شوری، اکسیژن محلول، pH، مقاومت نسبت به بیماری‌ها و استرس، قدرت تولیدمثل بالا و دوره کوتاه تولیدمثلی در اسارت، تغذیه از مواد غذایی کم‌ارزش، دسترسی آسان به منابع غذایی و امکان استفاده از غذای مصنوعی پس از جذب کیسه زرده (Kazemi et al. 2022). از نمونه پژوهش‌های انجام‌گرفته در زمینه ارزیابی خطر بر سلامت انسان در نتیجه مصرف آبزیان می‌توان به مطالعه Okati et al. (2021) اشاره نمود که به ارزیابی خطر فلزات جیوه، آرسنیک و سلنیم در برخی ماهیان دریای عمان پرداختند. آن‌ها بیان کردند که مصرف ماهیان مورد مطالعه، خطری برای سلامت مصرف‌کنندگان از لحاظ عناصر موردنظر ندارد. همچنین مطالعات انجام شده در مورد فلزات سنگین سرب و کادمیوم در بافت عضله ماهیان قزل‌آلای پرورشی سرد آبی در استان گلستان (Mohammadkhani et al. 2022) و مصرف ماهیان سطح‌زی، میان‌زی و کف‌زی برای ساکنان شهر بندرعباس (Sharafi et al. 2021)، نتایج مشابهی را ارائه دادند. همچنین Rafeipoor et al. (2019)، میزان فلزات

توسعه کشاورزی و صنعت سبب افزایش تولید و ورود فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی به محیط‌زیست شده است که به تبع آن آسیب‌های جبران‌ناپذیر و گسترده‌ای به محیط‌زیست را باعث می‌شوند. از جمله آلاینده‌های اصلی محیط‌زیست، فلزات سنگین را می‌توان برشمرد که پس از ورود به منابع آبی، در بافت‌های مختلف آبزیان تجمع می‌یابند (Sayadi and Kharkan 2023). برخلاف ترکیبات آلی، فلزات سنگین قابل‌تجزیه در محیط‌زیست نیستند و به علت تجمع و عدم تجزیه آن‌ها، وارد زنجیره غذایی می‌شوند و سمیت حاد و مزمن را ایجاد می‌کنند (Ekpo et al. 2008). از آنجایی که ماهی در بالای زنجیره غذایی آبزیان قرار دارد و ممکن است مقادیر زیادی از فلزات در بدن آن تجمع یابد، به همین دلیل، مصرف ماهی یکی از راه‌های اصلی تماس انسان با آلودگی فلزات سنگین تلقی می‌شود (Jia et al. 2017).

گوشت ماهی به دلیل وجود اسیدهای چرب و اسیدهای آمینه دارای ارزش غذایی بالایی نسبت به سایر غذاهای جانوری هست؛ اما با وجود این مزیت‌های فراوان، سهم مصرف آبزیان و فراورده‌های شیلاتی در سبد خانوار ایرانی در مقایسه با سایر گوشت‌های مصرفی پایین است (Bemanikharanagh et al. 2018; Kazemi et al. 2022). سازمان بهداشت جهانی و کمیته کدکس آلیمنتاریوس^۱ مشترک سازمان خواربار جهانی به منظور سلامت، بهداشت و امنیت غذایی، سه فرآیند ارزیابی خطرهای احتمالی و مدیریت آن‌ها و ارتباط خطرهای احتمالی را تصویب کردند. فرق اساسی بین خطر و احتمال خطر در این است که خطر، عامل بیولوژیک، شیمیایی یا فیزیکی در غذا و یا وضعیتی از غذاست که به‌طور بالقوه دارای عامل مخاطره‌آمیز است. در مقابل احتمال خطر، برآورد احتمال و شدت اثرهای زیان‌بار برای سلامت افراد در معرض خطر قرارگرفته با غذای حاوی عامل مخاطره‌آمیز است (WHO 1996).

تاکنون گزارش‌های مختلفی از بیماری‌های ناشی از تجمع فلزات سنگین در ماهیان و اثرات این آلاینده‌ها بر میزان تولیدات آبی‌پروری ارائه شده است. به‌عنوان مثال، سرب باعث نارسایی کلیوی، آسیب کبدی، گم‌ا، عقب‌ماندگی ذهنی و حتی

¹ Codex Alimentarius Commission

این پژوهش ارزیابی خطر مصرف ماهی تیلاپیا نیل پرورش یافته در سامانه پرورشی بیوفلاک بر اساس میزان جذب روزانه (DI) فلزات سرب، کروم، جیوه، آرسنیک و نیکل از طریق دفعات مصرف ماهی تیلاپیا برای گروه‌های بزرگسالان و کودکان با میانگین سنی ۱۰ YI است. همچنین شاخص خطر (HQ)، تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی تیلاپیا در ماه (CRmm) نیز برای افراد در گروه‌های مختلف محاسبه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

باتوجه به اهداف پژوهش، تعداد ۳۰ قطعه ماهی تیلاپیا پرورش یافته در سامانه بیوفلاک از شش حوضچه موجود در نظام گلخانه‌ای در مزرعه تحقیقاتی در شهرستان بافق با میانگین وزن ۶۴۰ g و طول کل ۳۲/۵ cm (جدول ۱) و درون یخ و جهت آماده‌سازی و آنالیز به آزمایشگاه انتقال یافتند. پس از شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر، وزن و طول آن‌ها ثبت شد. در مطالعات ارزیابی خطر بر سلامت انسان، بیشتر تمرکز روی بافت عضلانی خوراکی ماهی است؛ زیرا اندازه‌گیری آن برآورد قابل‌اعتمادی از مواجهه طولانی‌مدت و تجمع زیستی را فراهم می‌کند. علاوه بر این، بافت عضلانی ماهی بخشی است که اغلب توسط افراد خورده شده و با پیامدهای خطر برای سلامتی انسان مرتبط است (Okati et al. 2021). به همین منظور عضله (عضله‌ی مابین بخش جلویی باله‌ی پشتی و خط جانبی) نمونه‌های ماهی جدا شد. پس از جدا کردن فیله‌های همه ماهیان، به مقدار تقریباً مساوی از هر کدام وزن شدند (USEPA 2009).

جهت انجام عمل هضم شیمیایی ۵۱ g پودر بافت عضله ماهیان توزین در بالن حاوی ۱ ml نیتریک اسید (۹۱٪) و آب‌اکسیژنه و با نسبت ۵ به ۳ به مدت ۱ h در دمای حداکثر ۵۰±۱°C در درون دستگاه Heater Digest قرار گرفت. سپس محلول به‌وسیله کاغذ فیلتر واتمن صاف و با آب مقطر به حجم رسانده شد (Moopam 1983). جهت اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه جذب اتمی مدل Germany AAS4 Zeiss مجهز به کوره گرافیتی استفاده شد. محدوده بازیابی دستگاه بین ۹۳/۸ تا ۱۰۲/۸٪ بود که صحت روش آنالیز تأیید می‌شود. جهت بررسی قابلیت تکرارپذیری غلظت‌های به‌دست‌آمده از نمونه‌ها، ۱۰٪ از نمونه‌ها سه بار آنالیز شدند که ضریب تغییرات بین ۰/۵ تا ۲/۵٪ بود.

سنگین جیوه، سرب و کادمیوم را در عضله ماهی‌های هور، شیر و تیلاپیا را در شهرستان جیرفت اندازه‌گیری و با استانداردهای جهانی مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که غلظت جیوه در بافت عضله ماهیان موردبررسی پایین‌تر از استاندارد جهانی است، اما غلظت دو فلز کادمیوم و سرب در بافت ماهیان تیلاپیا و هور بالاتر از استاندارد جهانی است. در همین راستا (Mohammadnabizadeh et al. 2012) غلظت چهار فلز (کادمیم، نیکل، سرب و کروم) در ماهیچه‌ها، آب‌شش‌ها و کبد دو گونه ماهی خوراکی (*Liza klunzingeri* و *Sillago sihama*) سیدشده از بیوسفر حرا در جنوب ایران تعیین کردند. در هر دو گونه ماهی، غلظت فلزات و عوامل تجمع زیستی در توالی کبد < آب‌شش < عضله بود. برخی از سطوح فلزات در عضله از حد توصیه‌شده توسط WHO, FAO و FEPA فراتر رفته بود.

پژوهش‌های اندکی باهدف ارزیابی خطر مصرف تیلاپیا از نظر میزان فلزات سنگین در ایران انجام گرفته است و اطلاعاتی در ارتباط با میزان ورود فلزات سنگین به بدن مصرف‌کنندگان و ارزیابی میزان خطر احتمالی ناشی از مصرف روزانه تیلاپیا پرورش یافته در سامانه بیوفلاک باتوجه به غلظت فلزات تجمع یافته در آن‌ها وجود ندارد؛ بنابراین، مطالعه بر روی خطر مصرف این آبی و ارزیابی آن باتوجه به اهمیت آن برای گروه‌های آسیب‌پذیر از جمله کودکان و زنان باردار بسیار حائز اهمیت است. فناوری بیوفلاک از سامانه‌های آبی‌پروری سازگار با محیط‌زیست است که از مواد مغذی و آلی بازیافت شده، به‌منظور تولید، استفاده مجدد می‌نماید. رویکرد پایدار در این سامانه مبتنی بر رشد میکروارگانیسم‌ها در محیط کشتی است که حداقل تبادل آب مفید را دارد. این فناوری مزیت‌های مهمی از جمله به‌حداقل‌رساندن مصرف آب و بازیافت مواد مغذی و مواد آلی را دارد. علاوه بر این، ورود عوامل بیماری‌زا به سامانه پرورش را کاهش داده و منجر به بهبود امنیت زیستی در مزرعه می‌گردد (Avnimelech 2007). نتایج بررسی جنبه‌های محیط‌زیستی این سامانه نشان داده است که در سامانه بیوفلاک علاوه بر بهبود شاخص‌های کمی آب، میزان مصرف آب کاهش یافته و کیفیت فلاک تولیدی نیز مناسب برای تغذیه ماهی تیلاپیا نیل است، لذا از این روش می‌توان برای پرورش این ماهی در فضای بسته استفاده نمود (Kazemi et al. 2022). در این راستا، هدف

جدول ۱- زیست‌سنجی ماهیان مورد مطالعه

Table 1 Biometry of studied fishes

| Name | Scientific name | Number | SD* ± Mean total length (cm) | SD* ± Mean weight (g) | Moisture content (%) |
|---------|----------------------------------|--------|------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Tilapia | (<i>Oreochromis niloticus</i>) | 30 | 32.5 ± 2.01 | 640 ± 40.03 | 80 |

* انحراف معیار

۲-۳- محاسبه شاخص ریسک

شاخص ریسک (HQ) که اثرات غیرسرطان‌زایی مواجهه با آلاینده‌ها را نشان می‌دهد، بر اساس رابطه (۳) به دست آمد (USEPA 2000).

$$HQ = \frac{DI}{RfD} \quad (3)$$

HQ: شاخص ریسک (بدون واحد)، RfD: دوز مرجع یا مجموع جذب مجاز روزانه آلاینده برحسب $\mu\text{g/kg/d}$.

میزان RfD برای عناصر سرب، جیوه، کروم، آرسنیک و نیکل به ترتیب 0.0003 ، 0.0005 ، 0.0001 ، 0.0035 و 0.002 $\mu\text{g/kg/d}$ در نظر گرفته شد (USEPA 2000). با به دست آوردن شاخص خطر می‌توان میزان ریسک ناشی از مصرف هر یک از گونه‌های ماهیان را برای جمعیت موردنظر بررسی کرد. اگر نتیجه حاصل از این رابطه کمتر از ۱ باشد (به بیان دیگر میزان جذب روزانه کمتر از دوز مرجع باشد)، نشان‌دهنده آن است که مصرف ماهی اثر مضر بر روی سلامتی ندارد (USEPA 2011; USEPA 2000). از آنجایی که افراد در طول زندگی ممکن است در معرض انواع مختلفی از آلاینده‌ها از طریق مصرف ماهیان قرار گیرند، بنابراین مجموع شاخص خطر برای هر یک می‌تواند مخاطره کلی خطر^۲ (HI) از مجموع آلاینده های موردنظر را ارائه نماید که به صورت رابطه (۴) است (Traina et al. 2019):

$$HI = \sum_i^n HQ_{i-n} \quad (4)$$

۲-۴- حد مجاز مصرف آبزیان

برای محاسبه حداکثر میزان مجاز مصرف (CR_{lim}) برای هر گونه از ماهیان از رابطه (۵) استفاده شد (USEPA 2000).

$$CR_{lim} = \frac{RfD \times BW}{C_{avg}} \quad (5)$$

که، CR_{lim} حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی برحسب kg/d است.

از آنجایی که اغلب ماهی به صورت وزن تر مصرف می‌شود، محاسبات فلزات نیز باید برحسب وزن تر باشد. طبق توزین نمونه‌های ماهی قبل و بعد از خشک نمودن، درصد رطوبت محاسبه شد که حدود ۸۰٪ بود. برای به دست آوردن فاکتور تصحیح تبدیل وزن خشک به وزن تر می‌توان از رابطه (۱) استفاده نمود. در این رابطه CF برابر 0.2 محاسبه شد که با ضرب نمودن فاکتور تصحیح در مقادیر فلزات مورد مطالعه در عضله ماهیان برحسب وزن تر به دست می‌آید (Norouzi and Bagheri Tavani 2019).

$$CF = 1 - \frac{w}{100} \quad (1)$$

که، CF: فاکتور تصحیح و w میزان رطوبت در بافت ماهی است.

۲-۲- میزان جذب روزانه عناصر سمی در بافت عضله ماهیان

تخمین جذب روزانه^۱ بر اساس رابطه (۲) تعیین شد (US EPA 2000).

$$EDI = \frac{C_{avg} \times IR \times EF \times ED \times 10^{-3}}{BW \times EF \times ED} \quad (2)$$

که، EDI: میزان جذب عناصر در بدن در روز از طریق مصرف ماهی ($\mu\text{g/kg}$) وزن بدن جمعیت هدف در روز، C_{avg} : میانگین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در بافت عضله ماهیان ($\mu\text{g/g}$) wet weight وزن تر، IR: نرخ مصرف روزانه ماهی که g/d در $29/23$ در نظر گرفته شد (USEPA 2000; AFS 2010); EF: فراوانی مواجهه (365 روز سال)، ED: سال‌های مواجهه (برای بزرگسالان 70 ys و برای کودکان 10 ys در نظر گرفته شد)، BW: وزن بدن (Kg): (میانگین وزن برای افراد بالغ 70 Kg و کودکان با میانگین سنی 10 ys، kg ۳۲ در نظر گرفته شد) (US EPA 2000).

²Hazard Index

¹Estimated Daily Intake

۳- یافته‌ها و بحث

میانگین غلظت فلزات سرب، کروم، جیوه، آرسنیک و نیکل در بافت عضله ماهی تیلاپیا به ترتیب به ترتیب ۰/۰۳۹، ۰/۰۰۶، ۰/۵۰ و ۰/۱۵ $\mu\text{g/g}$ وزن تر به دست آمد که در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین حدود استاندارد فلزات مورد مطالعه در جدول (۲) آورده شده است. مقایسه مقادیر میانگین به دست آمده فلزات مورد مطالعه با مقادیر استاندارد نشان می‌دهد که میانگین غلظت همه عناصر مورد بررسی کمتر از حدود مجاز اعلام شده هستند.

جدول ۲- میانگین و محدوده غلظت‌های عناصر سرب، کروم جیوه، آرسنیک و نیکل ($\mu\text{g/g wet weight}$) در بافت عضله ماهی

تیلاپیا و حدود استاندارد ($\mu\text{g/g wet weight}$)

Table 2 Mean and range of concentrations of lead, chromium, mercury, arsenic and nickel ($\mu\text{g/g wet weight}$) in Tilapia muscle tissue and standard limits ($\mu\text{g/g wet weight}$)

| Element | $\pm\text{SE}^a$ Mean | Highest concentration | Lowest concentration | Standard limit |
|---------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| Pb | 0.09 \pm 0.028 | 0.14 | 0.07 | 0.3 ^b |
| Cr | 0.03 \pm 0.029 | 0.063 | 0.014 | 1 ^b |
| Hg | 0.0 \pm 0.00106 | 0.01 | 0.003 | 0.5 ^b |
| Ar | 0.09 \pm 0.50 | 0.68 | 0.36 | 1.4 ^b |
| Ni | 0.0 \pm 0.00315 | 0.022 | 0.011 | 0.5 ^c |

^a خطای معیار، ^b حد استاندارد USEPA (USEPA 2009)، ^c حد استاندارد FAO/WHO (FAO/WHO 2007)

در این مطالعه مقایسه مقادیر میانگین به دست آمده عناصر اندازه‌گیری شده با مقادیر استاندارد نشان می‌دهد که میانگین غلظت همه عناصر از حدود مجاز اعلام شده توسط USEPA (USEPA 2009) و FAO/WHO (FAO/WHO 2007) کمتر هستند. بنابراین می‌توان گفت مصرف این ماهی از لحاظ غلظت فلزات مورد مطالعه برای انسان خطری ندارد و از نظر سازمان‌های بهداشتی مذکور قابل قبول است (جدول ۲). در پژوهشی که میزان جیوه را در ماهی شانک زرد باله (*Acanthopagrus latus*) صید شده از خور موسی اندازه‌گیری کردند، غلظت جیوه در نمونه‌های آن‌ها در محدوده‌ای بین ۱/۴۶-۰/۴۴ $\mu\text{g/g}$ به دست آمد که بسیار

۲-۵- تعداد وعده‌های مجاز مصرف آبزیان در هر ماه

برای محاسبه تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی (CR_{mm}) در هر ماه از رابطه (۶) استفاده شد (USEPA 2000).

$$\text{CR}_{\text{mm}} = \frac{\text{CR}_{\text{lim}} \times T_{\text{ap}}}{\text{MS}} \quad (6)$$

که، CR_{mm} : حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی به صورت وعده در هر ماه، T_{ap} : روزهای هر ماه (۳۰/۴ روز در ماه)، MS : (۱۳)؛ میزان مصرف ماهی در هر وعده غذایی بر حسب kg . اندازه هر وعده غذایی برای افراد بزرگسالان 0.227 kg و برای کودکان با میانگین وزن 32 kg ، ۶۰٪ بزرگسالان یعنی 0.136 kg در نظر گرفته شد. (USEPA 2000; AFS 2010; USEPA 2011).

۲-۶- اثرات سرطان‌زایی

آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان^۱ (IARC) عناصر سرب، آرسنیک، کادمیوم و نیکل را به عنوان عناصر با خطر سرطان‌زایی معرفی نموده است. در مورد جیوه، هنوز شواهدی مبنی بر خطر سرطان‌زایی آن مشخص نشده است (USEPA 2011). خطر سرطان‌زایی برای هر یک از آلاینده‌ها^۲ (CR) با استفاده از رابطه (۷) و برای مجموع آلاینده‌ها (TCR) با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (USEPA 2000):

$$\text{CR} = \text{EDI} \times \text{CSF} \quad (7)$$

$$\text{TCR} = \sum_{i=1}^n \text{CR}_{i-n} \quad (8)$$

که، CR : میزان خطر سرطان‌زایی در طول عمر را در نتیجه مواجهه با آلاینده خاص نشان می‌دهد. EDI : میزان جذب روزانه آلاینده مورد نظر بر حسب mg/kg BW بدن و CSF ^۳: فاکتور شیب سرطان‌زایی از طریق بلع است که مقادیر آن به ترتیب برای فلزات سرب، کروم، آرسنیک و نیکل، ۰/۰۵۸، ۰/۵، ۱/۵ و $1/7 \text{ mg/kg/d}$ است (USEPA 2000). TCR : مجموع خطر سرطان‌زایی همه آلاینده‌های مورد نظر است. اگر $10^{-6} < \text{CR} < 10^{-4}$ باشد، احتمال خطر سرطان‌زایی بسیار ناچیز^۴، $10^{-4} < \text{CR} < 10^{-2}$ خطر در حد مجاز یا قابل تحمل است اما اگر $\text{CR} > 10^{-2}$ خطر قابل توجه است (USEPA 2000; AFS 2011; USEPA 2010).

³ Cancer Slop Factor

¹International Agency for Research into Cancer

²Cancer Risk

بنگلادش نشان داد که غلظت فلزات سنگین Zn, Pb, Cr و Cd در ماهیان مورد مطالعه از حد مجاز تعیین شده توسط سازمان‌های بین‌المللی (FAO/WHO) فراتر رفته بود. اثرات تجمعی همه فلزات نیز از حد مجاز ۱ برای شاخص خطر در هر سه گونه فراتر رفته بود؛ بنابراین آن‌ها بیان داشتند وجود سرب، کادمیوم، نیکل و آرسنیک در این ماهیان خطر ابتلا به سرطان را در اثر مصرف آن‌ها افزایش می‌دهد. در نهایت پیشنهاد کردند که نظارت بر میزان فلزات سنگین در ماهیان رودخانه‌های آلوده به‌طور مکرر از طریق مقامات مدیریت بهداشت محیطی دولتی برای اجرای معیارهای نظارتی انجام شود. در سنجش غلظت فلزات سنگین جیوه، سرب و کادمیوم در عضله ماهی‌های هوور، شیر و تیلپیا در شهرستان جیرفت مشخص شد که مقدار سرب در بافت عضله ماهیان شیر، هوور و تیلپیا به ترتیب ۰/۱۹، ۰/۸۱ و ۰/۴۳ $\mu\text{g/g dry weight}$ و به‌دست‌آمد که در ماهی شیر از استانداردهای WHO FDA و FAO و استاندارد ملی ایران کمتر بود. حال آنکه مقدار سرب در ماهی هوور از استاندارد WHO و FAO بیشتر و از استاندارد FDA کمتر بود (Rafeipoor et al. 2019). در ماهی تیلپیا نیز مقدار سرب از استانداردهای WHO و FDA کمتر و از استاندارد FAO بیش‌تر بود. هم‌چنین در مطالعه Yılmaz and Doğan (2008) که بر روی برخی فلزات سنگین در کبد، عضله و آب‌شش ماهی تیلپیا در دریاچه کوپس قیز انجام شد، کمترین غلظت فلزات سرب، روی و کادمیوم، در بخش خوراکی (عضله) ماهی تیلپیا مشاهده شد. هم‌چنین، غلظت‌های سرب و روی در تیلپیا بیشتر از مقدار توصیه‌شده توسط WHO برای مصرف انسان بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت نداشت (Yılmaz and Doğan 2008). در مطالعه Rafeipoor et al. (2019) میزان کادمیوم نیز در ماهی تیلپیا از استانداردهای جهانی و مؤسسه ملی استاندارد ایران به مقدار قابل‌توجهی بیشتر بود که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت نداشت.

سمیت سرب برای ماهی و سایر موجودات آبی تحت‌تأثیر کیفیت آب بوده و به قابلیت انحلال ترکیبات سرب و نیز غلظت‌های کلسیم و منیزیم در آب بستگی دارد. سمیت سرب با افزایش غلظت کلسیم و منیزیم در آب کاهش می‌یابد. گلبول‌های قرمز خون، سرب واردشده به بدن را در تمام‌اندام‌ها پخش می‌کنند و در کلیه و پوست تجمع می‌یابد و سپس به

بالتر از میانگین‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش است (Safahieh et al. 2013). در همین راستا پژوهشی توسط Sadighara et al. (2022) بر روی فلزات سنگین ازجمله جیوه، سرب، کادمیوم و قلع در کنسرو ماهی تن در ایران انجام شد که غلظت فلزات سنگین شناسایی‌شده در محدوده مجاز بود، به‌جز اینکه غلظت سرب بالاتر از حد مجاز تشخیص داده شد. بااین‌حال، THQ و TTHQ برای همه نمونه‌های آزمایش‌شده کمتر از یک بودند و برای مصرف‌کنندگان ایمن بودند که مطابق با نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش است.

میزان آرسنیک در عضله دو گونه ماهی بیاح (liza) و *macrolepis* (مید *Liza klunzingeri*) بندر هندیجان به ترتیب ۰/۰۹۷ $\mu\text{g/g}$ و ۰/۰۸۶ گزارش شده است که در محدوده و گاهی پایین‌تر از ماهی مورد مطالعه در این تحقیق هستند (Beheshti et al. 2012). هم‌چنین میزان آرسنیک در عضله ماهیان *Tilapia*, *Labeo gonitus*, *Labeo rohita* و *Cirrhinus reba* و *Cirrhinus mrigala mossabicus* به ترتیب ۲/۷، ۲/۳، ۲ و ۲/۶ $\mu\text{g/g}$ گزارش شده است (Rosemond et al. 2008) که از نتایج به‌دست‌آمده برای فلز آرسنیک در بافت عضله ماهی تیلپیا در این تحقیق بالاتر هستند که علت آن می‌تواند به‌خاطر شرایط اکولوژیک و زیستی و فعالیت‌های متابولیک متفاوت ماهیان مورد بررسی و هم‌چنین تفاوت در ویژگی‌های بیوشیمیایی عناصر باشد.

فلزات سنگین کادمیوم، جیوه، سرب، آرسنیک و کروم متعلق به گروه فلزات سمی و غیرضروری هستند و هیچ عملکرد شناخته‌شده‌ای در فرایندهای بیوشیمیایی ندارند و این فلزات دارای پتانسیل بالا برای تجمع زیستی و انباشته‌شدن در اندام‌های مختلف آبیان هستند. فلزات سنگین روی، مس، آهن، قلع، وانادیوم، تالیوم، نیکل، منگنز، آلومینیوم و کبالت به‌عنوان یک ماده ضروری برای بدن محسوب می‌شوند؛ اما ورود بیش از اندازه آن به بدن می‌تواند منجر به عوارض نامطلوبی گردد (Sivaperumal et al. 2007).

تجمع و ذخیره فلزات سنگین در ماهیان باتوجه‌به شرایط اکولوژیک و زیستی و فعالیت‌های متابولیکی و ویژگی‌های بیوشیمیایی فلز متفاوت است (Canli and Alti 2003). همان‌گونه که در پژوهش Hasan et al. (2022) بر روی سه گونه ماهی بومی که از رودخانه آلوده صنعتی شیتالاکیا در

استخوان‌ها، دندان‌ها و مغز انتشار پیدا می‌کند. مسمومیت حاد سرب ابتدا باعث آسیب به اپی‌تلیوم آب‌شش شده و ماهی مبتلا، به علت خفگی تلف می‌شود (Bani-Said and Jafarzadeh-Haghighi-Fard 2004).
 نتایج شاخص‌های خطر غیرسرطان‌زایی عناصر سرب، کروم، جیوه، آرسنیک و نیکل در ماهی تیلاپیا برای افراد در گروه‌های مختلف (بزرگسالان و کودکان) در جدول (۳) نشان داده شده است. بیشترین و کمترین میزان جذب روزانه در گروه بزرگسالان به ترتیب مربوط به عناصر آرسنیک ($\mu\text{g/kg/d}$)

و جیوه ($2/08 \times 10^{-3}$ و $2/49 \times 10^{-6}$ $\mu\text{g/kg/d}$) و در گروه کودکان به ترتیب در مورد سرب ($4/93 \times 10^{-5}$ و $3/28 \times 10^{-9}$ $\mu\text{g/kg/d}$) به دست آمد. همچنین شاخص خطر (HQ) برای هر دو گروه مورد مطالعه در مورد همه عناصر پایین‌تر از یک بود. میزان HI برای بزرگسالان $0/83$ و برای کودکان $0/02$ به دست آمد که کوچک‌تر از ۱ بود. برای بزرگسالان شاخص HI نزدیک به ۱ بود که باتوجه به مقادیر HQ هر یک از عناصر، بیشترین افزایش در مقدار HI می‌تواند به‌خاطر میزان بالاتر HQ برای آرسنیک باشد.

جدول ۳- مقادیر EDI، HQ و HI عناصر مورد مطالعه در نتیجه مصرف ماهی تیلاپیا برای بزرگسالان و کودکان
 Table 3 Values of EDI, HQ and HI (g/kg/d) of the studied elements as a result of consuming Tilapia for adults and children

| Element | EDI | | HQ | |
|---------|-----------------------|-----------------------|--------|----------|
| | Adults | Children | Adults | Children |
| Pb | 3.75×10^{-5} | 4.93×10^{-5} | 0.010 | 0.014 |
| Cr | 1.04×10^{-4} | 5.47×10^{-6} | 0.104 | 0.005 |
| Hg | 2.49×10^{-6} | 3.28×10^{-9} | 0.024 | 0.0003 |
| Ar | 2.08×10^{-4} | 2.73×10^{-7} | 0.695 | 0.0009 |
| Ni | 3.34×10^{-6} | 4.38×10^{-6} | 0.0001 | 0.047 |
| HI | | | 0.83 | 0.02 |

شناوری و pH قرار دارد (Siraj et al. 2014; Barone et al. 2022).

جدول ۴- مقادیر CR_{lim} و CR_{mm} عناصر مورد مطالعه در نتیجه مصرف ماهی تیلاپیا برای بزرگسالان و کودکان

Table 4 CR_{lim} and CR_{mm} values of studied elements as a result of consuming Tilapia for adults and children

| Element | CR_{lim}^1 | | CR_{mm}^2 | |
|---------|----------------------------|----------|---------------------------|----------|
| | Adults | Children | Adults | Children |
| Pb | 2.72 | 1.24 | 365 | 278 |
| Cr | 7 | 3.2 | 938 | 716 |
| Hg | 1.66 | 0.53 | 156 | 119 |
| Ar | 0.042 | 0.01 | 5 | 4 |
| Ni | 175 | 80 | 2346 | 1790 |

^۱ حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی (kg/d)

^۲ حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی (تعداد وعده در هر ماه)

به عبارتی افزایش غلظت آلاینده‌ها مانند آرسنیک در ماهیان می‌تواند متأثر از عادات تغذیه‌ای گونه مورد مطالعه و حضور منابع آلودگی آرسنیک در محیط‌های زندگی آن‌ها باشد. به‌غیر از

حداکثر میزان مجاز مصرف برای ماهی تیلاپیا در مورد نیکل برای بزرگسالان و کودکان (به ترتیب 175 و 80 kg/d) و کمترین میزان مجاز مصرف برای بزرگسالان و کودکان در مورد آرسنیک (به ترتیب $0/042$ و $0/01$ kg/d) بود (جدول ۴). کم‌ترین دفعات مصرف ماهانه به ترتیب برای آرسنیک برای بزرگسالان و کودکان (به ترتیب 5 و 4 وعده در ماه) محاسبه شد. به‌جز آرسنیک در مورد بقیه عناصر برای هیچ‌کدام از گروه‌های بزرگسالان و کودکان محدودیت مصرف وجود ندارد؛ بنابراین، مصرف ماهی تیلاپیا به‌صورت کلی مخاطراتی از لحاظ سلامتی برای مصرف‌کنندگان بزرگسال و کودکان به دنبال نخواهد داشت، اما به‌خاطر مقادیر موجود آرسنیک در آن، توصیه می‌شود در مورد میزان مصرف آن‌ها توسط بزرگسالان خصوصاً زنان باردار با احتیاط و کم مصرف شود. تجمع فلزات سنگین در بافت ماهی تحت تأثیر عوامل متفاوتی از جمله میزان غلظت فلز در آب، زمان در معرض قرارگیری، فعالیت متابولیک و عوامل محیطی شامل درجه حرارت،

شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) برای تمامی عناصر به‌جز آرسنیک، در محدوده خطر بسیار ناچیز و به عبارتی بی‌خطر (کوچک‌تر از 10^{-6}) قرار داشت و در مورد کودکان این شاخص برای تمامی عناصر مورد مطالعه در حد مجاز و قابل تحمل بود. در برخی مطالعات نیز که بر روی ارزیابی خطر فلزات در ماهیان مصرفی بررسی‌هایی انجام شده است، با وجود پایین بودن غلظت فلزات از استانداردهای بین‌المللی، به دلیل حساس بودن برخی گروه‌های جمعیت، موارد احتیاطی را در نظر گرفته‌اند. به‌عنوان مثال؛ در ارتباط با ارزیابی خطر مصرف ماهی کفار

طلایی صیدشده از سواحل جنوبی دریای خزر مشخص شد که غلظت فلزات در این ماهی برای مصرف انسان در مقایسه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی پذیرفته‌شده و قابل قبول بوده است و مصرف ماهی مخاطراتی از لحاظ سلامتی برای مصرف‌کننده به دنبال نداشته است، اما توصیه شده است که در مورد میزان مصرف آن‌ها توسط زنان باردار و کودکان باید ملاحظات را رعایت نمود؛ زیرا جنین، نوزادان شیرخوار و کودکان زیر ۱۰ ys حساس‌تر هستند (Norouzi and Bagheri Tavani 2019). در پژوهش‌هایی که مقادیر آلاینده‌ها در ماهیان از حدود مجاز فراتر رفته بوده است نیز محدودیت‌های مصرف اعمال شده است. در همین راستا مصرف در مورد انواع مختلف اردک‌ماهی Lac la Nonne برای زنان در سن باروری، کودکان در سن ۱-۱۱ ys توصیه کردند. همین‌طور Kannan et al. (1998) بیان داشتند که مصرف ماهیان صیدشده از مصب‌های جنوب فلوریدا به میزان بیش از ۷۰ g/d می‌تواند برای سلامت افراد خطرناک باشد.

۴- نتیجه‌گیری

۱- شاخص خطر (HQ) برای گروه‌های بزرگسالان و کودکان در مورد همه عناصر شامل سرب، کروم، جیوه، آرسنیک و نیکل کوچک‌تر از ۱ بود.

۲- میزان HI برای بزرگسالان و کودکان پایین‌تر از یک به دست آمد. مقدار این شاخص برای بزرگسالان نزدیک به ۱ بود که با توجه به مقادیر HQ هر یک از عناصر، بیش‌ترین افزایش در مقدار HI می‌تواند به خاطر میزان بالاتر HQ برای آرسنیک باشد.

زیستگاه، رژیم غذایی نیز عامل تعیین‌کننده برای تجمع آلاینده‌ها در بافت ماهی است (Okati et al. 2021). در پژوهش حاضر نیز دلایل ذکر شده می‌تواند سبب افزایش میزان آرسنیک در بافت عضله ماهی تیلاپیا باشند. با این وجود، مقایسه مقادیر میانگین به‌دست‌آمده فلزات مورد مطالعه از جمله آرسنیک با مقادیر استاندارد نشان داد که میانگین غلظت همه عناصر مورد بررسی کمتر از حدود مجاز اعلام شده هستند و احتمال ایجاد خطر سرطان‌زایی در صورت مصرف ۵ و یا ۴ وعده در ماه وجود دارد.

شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) برای عناصر سرب، کروم، آرسنیک و نیکل و TCR در جدول (۵) محاسبه شده است. از لحاظ پتانسیل خطر سرطان‌زایی برای بزرگسالان، سرب در محدوده خطر بسیار ناچیز و به عبارتی بی‌خطر (کوچک‌تر از 10^{-4}) قرار داشت، کروم و نیکل در محدوده مجاز و قابل تحمل (بین 10^{-6} تا 10^{-4}) بودند، اما برای آرسنیک از مقدار 10^{-6} فراتر رفته بود و احتمال ایجاد خطر سرطان‌زایی برای بزرگسالان از لحاظ مقدار این عنصر در بافت عضله ماهی تیلاپیا وجود دارد.

جدول ۵- مقادیر شاخص CR عناصر مورد مطالعه و TCR در نتیجه مصرف ماهی تیلاپیا برای بزرگسالان و کودکان
Table 5 CR index values of studied elements and TCR as a result of consuming Tilapia for adults and children

| Element | CR | |
|---------|-----------------------|-----------------------|
| | Adults | Children |
| Pb | 3.19×10^{-7} | 4.19×10^{-7} |
| Cr | 5.21×10^{-5} | 2.73×10^{-6} |
| Ar | 3.13×10^{-4} | 4.1×10^{-7} |
| Ni | 2.80×10^{-6} | 3.68×10^{-6} |
| TCR | 3.68×10^{-4} | 7.25×10^{-6} |

در مورد کودکان شاخص خطر سرطان‌زایی برای سرب و آرسنیک در حد بی‌خطر، برای کروم و نیکل در حد مجاز و قابل تحمل بود. مقدار TCR برای بزرگسالان بیش‌تر از 10^{-4} بود که احتمال ایجاد خطر را نشان می‌دهد؛ اما برای کودکان مقدار آن از این حد کمتر بود که نشان‌دهنده احتمال کم خطر سرطان‌زایی در نتیجه مواجهه با مجموع این عناصر از طریق مصرف ماهی تیلاپیا برای کودکان است. در این بررسی

توصیه می‌شود در مورد میزان مصرف آن‌ها توسط بزرگسالان خصوصاً زنان باردار با احتیاط مصرف شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Ahmadi, K. Z., Hamidian, A., Hosseini, S. V., & Ashrafi, S. (2013). Risk assessment of mercury due to consumption of edible aquatic species. *J. Mar. Biol.*, 5(1), 63-70. [In Persian].
- Alberta Health & Wellness. (2009). Human health risk assessment. The regional aquatics monitoring program (RAMP). Available at: https://open.alberta.ca/dataset/a433adb5-a84e-438f-9e73-8c095fe728dd/resource/76afa7a2-4f59-4900-b7da-35e449f754b5/download/mercury_in_fish_ramp_report.pdf
- Annual fisheries statistics of Iran (AFS). (2010). *Consumption of fish in Iran*. Ministry of agriculture, 36-40 pp. [In Persian]. Available at: <https://www.fao.org/fishery/en/facp/irn>
- Avnimelech, Y. (2007). Feeding with microbial flocs by Tilapia in minimal discharge bio-flocs technology ponds. *Aquacul.*, 264(1-4), 140-147. DOI: [10.1016/j.aquaculture.2006.11.025](https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.11.025)
- Bani-Said, N., & Jafarzadeh-Haghighi-Fard, N. (2004). Investigation of water quality in Ahvaz drinking water distribution network. 7th National Congress on Environmental Health. Shahrekord, Iran [In Persian].
- Barone, G., Storelli, A., Garofalo, R., Mallamaci, R., & Storelli, M. M. (2022). Residual levels of mercury, cadmium, lead and arsenic in some commercially key species from Italian coasts (*Adriatic Sea*): focus on human health. *Toxics*, 10(5), 223. DOI: [10.3390/toxics10050223](https://doi.org/10.3390/toxics10050223)

۳- به‌جز آرسنیک در مورد بقیه عناصر برای هیچ‌کدام از گروه‌های بزرگسالان و کودکان محدودیت مصرف وجود ندارد. شاخص خطر سرطان‌زایی (CR) برای عناصر سرب، کروم و نیکل برای بزرگسالان، سرب در محدوده خطر بسیار ناچیز و به عبارتی بی‌خطر قرار داشت.

۴- مصرف ماهی تیلاپا به‌صورت کلی مخاطراتی از لحاظ سلامتی برای مصرف‌کنندگان بزرگسال و کودکان به دنبال نخواهد داشت، اما به خاطر مقادیر موجود آرسنیک در آن،

- Beheshti, M., Askari Sari, A., & Velayatzadeh, M. (2012). Assessment of heavy metals concentration of fish (*Liza abu*) in Karoon River, Khuzestan province. *J. W. Waste.*, 23(3), 125-33. [In Persian].
- Bemanikharanagh, A., Alizadeh, M., & Khanjani, M. H. (2018). Environment impact assessment (EIA) of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fish farming in some areas of Yazd Province. *J. Aquat. Ecol.*, 7(4), 68-81. [In Persian]. DOI: [10.1001.1.23222751.1397.7.4.7.2](https://doi.org/10.1001.1.23222751.1397.7.4.7.2)
- Canli, M., & Atli, G. (2003). The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environ. Pollut.*, 121(1), 129-136. DOI: [10.1016/S0269-7491\(02\)00194-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00194-X)
- Ekpo, K.E., Asia, I.O., Amayo, K.O., & Jegede, D.A. (2008). Determination of lead, cadmium and mercury in surrounding water and organs of some species of fish from Ikpoba River in Benin city, Nigeria. *Int. J. Phys. Sci.*, 3(11), 289-292. DOI: <https://doi.org/10.5897/IJPS.9000161>
- FAO/WHO. (2007). Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Methylmercury. WHO Food Additives Series, 58: 269-315. Available at: <https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Document/Index/9006>
- Kannan, K., Smith, Jr, R. G., Lee, R. F., Windom, H. L., Heitmuller, P. T., Macauley, J. M., & Summers, J. K. (1998). Distribution of total mercury and methyl mercury in water, sediment, and fish from south Florida

- estuaries. *Arch. Environ. Cont. & Tox.*, 34, 109-118. DOI: [10.1007/s002449900294](https://doi.org/10.1007/s002449900294)
- García-Lestón, J., Méndez, J., Pásaro, E., & Laffon, B. (2010). Genotoxic effects of lead: an updated review. *Environ. Int.*, 36(6), 623-636. DOI: [10.1016/j.envint.2010.04.011](https://doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.011)
- Hasan, G. A., Satter, M. A., Das, A. K., & Asif, M. (2022). Detection of heavy metals in fish muscles of selected local fish varieties of the Shitalakshya River and probabilistic health risk assessment. *Measure. Food*, 8, 100065. DOI: [10.1016/j.meafoo.2022.100065](https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2022.100065)
- Isangedighi, I. A., & David, G. S. (2019). Heavy metals contamination in fish: effects on human health. *J. Aquat. Sci. Mar. Biol.*, 2(4), 7-12. DOI: [10.22259/2638-5481.0204002](https://doi.org/10.22259/2638-5481.0204002)
- Jia Y, Wang L., & Qu, Z. (2017). Effects on heavy metal accumulation in freshwater fishes: species, tissues, and sizes. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 24: 9379-9386. DOI: [10.1007/s11356-017-8606-4](https://doi.org/10.1007/s11356-017-8606-4)
- Kazemi, C., Bemani, A., Alizadeh, M., Siyahati, G., & Ardakani, T. (2022). Environmental sustainability assessment of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) breeding in biofloc system. *Iran. J. Fish. Sci.*, 21(6), 1508-1526. DOI: [10.1001.1.15622916.2022.21.6.11.7](https://doi.org/10.1001.1.15622916.2022.21.6.11.7)
- Mohammadkhani, N., Hedayati, S. A., Mazandarani, M., Bitar, S., & Hoseini, S. S. (2022). Study on bioaccumulation of lead and cadmium heavy metals at edible tissue of cold-water fishes of Golestan province. *Utili. Culti. Aquat.*, 11(3), 1-11. [In Persian]. DOI: [10.22069/JAPU.2022.19590.1613](https://doi.org/10.22069/JAPU.2022.19590.1613)
- Mohammadnabizadeh, S., Pourkhabbaz, A., Afshari, R., & Nowrouzi, M. (2012). Concentrations of Cd, Ni, Pb, and Cr in the two edible fish species *Liza klunzingeri* and *Sillago sihama* collected from Hara biosphere in Iran. *Toxicol. Environ. Chem.*, 94(6), 1144-1151. DOI: [10.1080/02772248.2012.693494](https://doi.org/10.1080/02772248.2012.693494)
- Moopam, M. (1983). Manual of Oceanographic Observation and Pollution Analysis. *Regional Organization for the protection of Marine Environment (ROPME)*. Available at: https://memac-rsa.org/assets/fileManager/Publications_10.pdf
- Norouzi, M., & Bagheri Tavani, M. (2019). Assessment of the consumption risk of fifteen heavy metals in *Liza aurata* in the Caspian Sea. *J. Aquat. Ecol.*, 8(3), 96-107. DOI: [20.1001.1.23222751.1397.8.3.10.6](https://doi.org/10.1001.1.23222751.1397.8.3.10.6)
- Omata, M., Cheng A. L., Kokudo, N., Kudo, M., Lee, J. M., Jia. J., Tateishi, R., Han, K. H., Chawla, Y. K., Shiina, S., Jafri, W., Payawal, D. A., Ohki, T., Ogasawara, S., Chen, P. J., Lesmana, C. R. A., Lesmana, L. A., Gani, R. A., Obi, S., Dokmeci, A. K., & Sarin, S. K. (2017). Asia-Pacific clinical practice guidelines on the management of hepatocellular carcinoma: a 2017 update. *Hepatol. Int.*, 11, 317-370. DOI: [10.1007/s12072-017-9799-9](https://doi.org/10.1007/s12072-017-9799-9)
- Okati, N., & Esmaili-Sari, A. (2018). Hair mercury and risk assessment for consumption of contaminated seafood in residents from the coast of the Persian Gulf, Iran. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25: 639-657. DOI: [10.1007/s11356.017.0432.1](https://doi.org/10.1007/s11356.017.0432.1)
- Okati, N., Moghadam, M. S., & Einollahipeer, F. (2021). Mercury, arsenic and selenium concentrations in marine fish species from the Oman Sea, Iran, and health risk assessment. *Toxicol. Environ. Health. Sci.*, 13, 25-36. DOI: [10.1007/s13530-020-00062-6](https://doi.org/10.1007/s13530-020-00062-6)
- Rafeipoor, A., Dehghan, R., & Nejadshadi, H. (2019). Concentration measurement of heavy metals mercury, lead and cadmium in fish muscle Tuna, Tap and Tilapia in the city of Jiroft. *Iran. J. Environ. Health. Sci.*, 5(1), 21-30. [In Persian]. DOI: [10.22038/jreh.2019.39940.1298](https://doi.org/10.22038/jreh.2019.39940.1298)
- Sadighara, P., Mofid, V., Mahmudiono, T., Rahmani, A., Tajdar-Oranj, B., Peivasteh-Roudsari, L., Farhangfar, A., Moradi, M. & Fakhri, Y. (2022). Concentration of heavy metals in canned tuna fish and probabilistic health risk assessment in Iran. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 104(8), 1719-1729. DOI: [10.1080/03067319.2022.2045589](https://doi.org/10.1080/03067319.2022.2045589)
- Sharafi, P., Dindarloo, K., Davoodi, S. H., Heidari, M., & Shamsedini, M. (2021). Evaluation of heavy metals carcinogenesis due to fish consumption in Bandar Abbas City. *J. Prev. Med.*, 8(2), 16-4. DOI: [10.22069/JAPU.2022.19590.1613](https://doi.org/10.22069/JAPU.2022.19590.1613)

- Sayadi, M. H., & Kharkan, J. (2023). Investigating the toxicity potential of heavy metals on blood and biochemical indices of desert scraper (*Capoeta fusca*). *J. Nat. Environ*, 76 (2), 365-378. [In Persian]. DOI: [10.22059/jne.2022.349964.2483](https://doi.org/10.22059/jne.2022.349964.2483)
- Sivaperumal, P., Sankar, T. V., & Nair, P. V. (2007). Heavy metal concentrations in fish, shellfish and fish products from internal markets of India vis-a-vis international standards. *Food chem.*, 102(3), 612-620. DOI: [10.1016/j.foodchem.2006.05.041](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.041)
- Siraj, M., Shaheen, M., Sthanadar, A. A., Khan, A., Chivers, D. P., & Yousafzai, A. M. (2014). A comparative study of bioaccumulation of heavy metals in two fresh water species, *Aorichthys seenghala* and *Ompok bimaculatus* at River Kabul, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan. *J. Biodivers. Env. Sci.*, 4(3), 40-54. DOI: [10.15829/1.5.1.40-54](https://doi.org/10.15829/1.5.1.40-54)
- Safahieh, A., Babadi, S., Nabavi, S. M. B., Ronagh, M. T., & Ghanemi, K. (2013). Assessment of mercury intake through consumption of yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*) from Musa Estuary. *J. Life Sci. Technol.*, 1(2), 142-146. DOI: [10.12720/jolst.1.2.142-146](https://doi.org/10.12720/jolst.1.2.142-146)
- Tepanosyan, G., Maghakyan, N., Sahakyan, L., & Saghatelian, A. (2017). Heavy metals pollution levels and children health risk assessment of Yerevan Kindergartens soils. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 142, 257-265. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2017.04.013](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.04.013)
- Traina A., Bono G., Bonsignore M., Falco F., Giuga M., Quinci E.M., Vitale S., & Sprovieri, M. (2019). Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): Potential human health risk estimation. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 168:466-478. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.10.056](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.056)
- USEPA. (2000). Per capita fish consumption estimates in the U.S., March 2000. Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-04/documents/estimated_per_capita_fish_consumption-2000.pdf
- USEPA. (2009). The National Study of Chemical Residues in Lake Fish Tissue, EPA-823-R-09-006. Washington, DC. Available at: https://www.epa.gov/sites/default/files/2018-11/documents/national_study_chemical_residues_lake_fish_tissue.pdf
- USEPA. (2011). Exposure actor's handbook. National Center for Environmental Assessment, Washington, DC (EPA/600/R-09/052F). Accessed on May 12, 2022. <https://cfpub.epa.gov/ncea/risk/recordisplay.cfm?deid=236252>
- USEPA. (2013). Fish consumption advisories-general information. <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/fishshellfish/fishadvisories/general.cfm#tabs-2> accessed online on the 21 Feb 2001
- WHO. (1996). Cancer pain relief: with a guide to opioid availability. World Health Organization. Available at: <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=2656586>
- Yılmaz, A. B., & Doğan, M. (2008). Heavy metals in water and in tissues of himri (*Carasobarbus luteus*) from Orontes (Asi) River, Turkey. *Environ. Monit. Assess.*, 144, 437-444. DOI: [10.1007/s10661-007-0005-8](https://doi.org/10.1007/s10661-007-0005-8)
- Yozukmaz, A., & Yabanli, M. (2022). Health risk assessment of arsenic contamination from the consumption of commercially important european sea bass (*Dicentrarchus labrax* L., 1758). *M. J. Sci. Technol.*, 8(1), 51-62. DOI: [10.22531/muglajsci.1001878](https://doi.org/10.22531/muglajsci.1001878)