University of Tehran Press

Journal of Natural Environment

Online ISSN: 2423-7817

Homepage: https://jne.ut.ac.ir/

Determining the permissible limit of mercury in the water of Shadegan wetland based on the bioaccumulation factor in fish consumed by the local community

Zahedeh Rahmanikhah[1] | Narjes Okati[2]✉

1. Department of Environment, Faculty of Natural Resources and Marine Science, Tarbiat Modares University, Nour, Iran. E-mail: z.rahmanikhah@modares.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Zabol, Zabol, Iran. E-mail: narjesokati@uoz.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 April 2024

Received in revised form 14 June 2024

Accepted 28 June 2024

Published online 22 July 2024

Keywords:

BAF,

Mercury,

RSC,

Shadegan wetland,

Standard limit.

ABSTRACT

Shadgan wetland is the largest international wetland in Iran and the livelihood needs of local communities depend on it. Therefore, the health of wetland fish is of great importance as the main source of food for marginal residents. Mercury as an accumulating pollutant was studied in aquatic food chains. Based on this, 3 fish species were sampled including binni, carp, and tilapia in the fishing season and the water of wetland was sampled in spring and summer from three selected stations. Mercury concentration in fish tissue was measured using direct mercury analyzer (DMA 80) device and in water samples with atomic absorption device. To determine the permissible limit of mercury in wetland water, based on USEPA guidelines, the mercury bioaccumulation factor (BAF) in the food chain in wetland water and mercury concentration criterion in fish tissue (TRC) were calculated based on the consumption pattern of wetland residents. The average mercury concentration of water samples was 0.11 µg/l in the summer season. The mean concentration of mercury in Shadegan wetland fish was 22.18 µg/kg wet weight. The average BAF of mercury was 41.69 l/kg. The mean of TRC of the wetland was 22 µg/kg, and the permissible limit of mercury in the wetland water was 0.53 µg/l. Although the amount of mercury in the water and fish of the wetland was lower than the USEPA standard limits; but the high consumption of fish by local people and the higher average amount of mercury in wetland fish compared to the calculated TRC indicate the possibility of mercury risk to the health of local consumers. It is also necessary to monitor mercury pollution in this wetland.

Cite this article: Rahmanikhah, Z., & Okati, N. (2024). Factors affecting rural communities' perceived biodiversity loss in the Sorkhabad protected area of the Zanjan Province. *Journal of Natural Environment*, 77 (Special Issue), 127-136. DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.375620.2662

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.375620.2662

محیط زیست طبیعی
شاپای الکترونیکی: ۷۸۱۷-۲۴۲۳
Homepage: https://jne.ut.ac.ir/
انتشارات دانشگاه تهران

تعیین حد مجاز جیوه در آب تالاب شادگان براساس فاکتور تجمع زیستی در ماهیان مصرفی ساکنان محلی

زاهده رحمانی‌خواه[۱] | نرجس اکاتی[۲]✉

۱. گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. رایانامه: z.rahmanikhah@modares.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه محیط‌زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران. رایانامه: narjesokati@uoz.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۶
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۸
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۵/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تالاب شادگان،
جیوه،
حدمجاز،
BAF،
RSC.

چکیده

تالاب شادگان به‌عنوان بزرگترین تالاب بین‌المللی ایران بوده و نیازهای معیشتی جوامع بومی به آن وابسته است. بنابراین سلامت ماهیان تالاب به‌عنوان منبع اصلی غذای حاشیه‌نشینان از اهمیت بالایی برخوردار است. جیوه به عنوان آلاینده‌ای تجمع‌پذیر در زنجیره‌های غذایی آبی هدف مطالعه قرار گرفت. بر این اساس از ۳ گونهٔ ماهی بنی، کپور و تیلاپیا در فصل صید و از آب تالاب در دو فصل بهار و تابستان از ۳ ایستگاه انتخابی نمونه‌برداری شدند. غلظت جیوه در بافت ماهی به کمک دستگاه آنالیز مستقیم جیوه (DMA 80) و در نمونه‌های آب با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شدند. برای تعیین حد مجاز جیوه در آب تالاب، براساس دستورالعمل USEPA، فاکتور تجمع زیستی جیوه (BAF) در زنجیرهٔ غذایی موجود در آب تالاب و معیار غلظت جیوه در بافت ماهی (TRC) براساس الگوی مصرف حاشیه‌نشینان تالاب محاسبه گردید. میانگین غلظت جیوهٔ نمونه‌های آب در فصل تابستان ۰/۱۱ µg/l اندازه‌گیری شد. میانگین جیوه در ماهیان تالاب شادگان در محدودهٔ ۲۴/۱۸ µg/kg وزن تر به‌دست آمد. میانگین BAF جیوه ۴۱/۶۹ l/kg، TRC تالاب ۲۲ µg/kg و حد مجاز جیوه در آب تالاب ۰/۵۳ µg/l به‌دست آمد. هر چند مقادیر جیوه در آب و ماهیان تالاب از حدود استاندارد USEPA کمتر بود؛ اما مصرف زیاد ماهی توسط مردم محلی و مقدار بالاتر میانگین جیوه در ماهیان تالاب در مقایسه با TRC محاسبه شده، احتمال خطر جیوه بر سلامت مصرف‌کنندگان محلی را نشان می‌دهد. همچنین پایش مداوم آلودگی جیوه در این تالاب را الزامی می‌نماید.

استناد: رحمانی‌خواه، زاهد؛ و اکاتی، نرجس (۱۴۰۳). تعیین حد مجاز جیوه در آب تالاب شادگان براساس فاکتور تجمع زیستی در ماهیان مصرفی ساکنان محلی. *محیط زیست طبیعی*، ۷۷ (ویژه نامه)، ۱۳۶-۱۲۷.

DOI: http//doi.org/10.22059/jne.2024.375620.2662

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
© نویسندگان.

مقدمه

تالاب‌ها یکی از مهمترین انواع اکوسیستم‌ها هستند که در معرض تهدیدند. این منابع اکولوژیک با ارزش در خدمت نیازهای انسانی بوده و فرصت‌های زیادی را برای زندگی آنها فراهم می‌کنند. تأمین معاش و پروتئین حیوانی افراد زیادی به‌شدت وابسته به این آب‌هاست (Hu *et al*., 2017). از طرفی، یکی از مضرترین آلاینده‌های شیمیایی در محیط‌زیست مطمئناً جیوه است و درک مکانیسم‌های تنظیم‌کنندهٔ تجمع آن در شبکهٔ غذایی آبی طی چند سال گذشته به یکی از ضروری‌ترین چالش‌های جهانی در زمینهٔ فلزات سنگین تبدیل شده است (Denaro *et al*., 2023). منشأ عمدهٔ جیوه در محیط‌های آبی از اتمسفر و به شکل جیوهٔ معدنی است. فرآیندهای بیوژئوشیمیایی در تالاب، جیوهٔ معدنی را به متیل جیوه تبدیل می‌کنند که سمیت بسیار بالایی داشته و هدف تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی بوده و می‌تواند تهدیدی برای موجودات در سطوح مختلف زنجیرهٔ غذایی باشد. به‌طوری‌که ماهیان آلوده به متیل جیوه منشأ اصلی انتقال متیل جیوه از محیط‌زیست آبی به پرندگان و پستانداران ماهی‌خوار و همچنین انسان محسوب می‌شوند (UNEP, 2018). به‌گونه‌ای که عمده مواجههٔ انسان با جیوه از طریق مصرف موجودات دریایی یا آب شیرین خصوصاً ماهی رخ می‌دهد و می‌تواند بر سلامت انسان تأثیرگذار باشد (Okati *et al*., 2021). ماهی‌ها دو مسیر جذب جیوه دارند. آن‌ها جیوه را از آب و از طریق رژیم غذایی خود (تجمع زیستی) جذب می‌کنند و معمولاً فقط مقادیر کمی جیوه را از طریق بافت آبشش و مستقیماً از ستون آب می‌گیرند (Alemayehu *et al*., 2023).

شادگان به‌عنوان بزرگترین تالاب ایران با مساحتی حدود ۴۰۰ هزار هکتار از جمله تالاب‌های بین‌المللی محسوب می‌شود. معیشت حدود ۱۰۰ هزار نفر از ساکنان محلی وابسته به این تالاب بوده و شغل اغلب آنها، صیادی و غذای غالب‌شان ماهیان تالاب است. منابع اصلی آلودگی‌ها در منطقهٔ شادگان، کودهای کشاورزی مورد استفاده، علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها و آلاینده‌هایی است که از پساب پالایشگاه‌ها و پتروشیمی بندر امام به آن وارد می‌شود (Zolfaghari *et al*., 2007). سرعت حذف مواد سمی از سیستم‌های نیمه‌بسته بسیار پایین بوده و این پدیده، ساکنان این مناطق را بیشتر در خطر مواجهه با مواد شیمیایی ثانویه قرار می‌دهد (Davodi *et al*., 2011).

معیار کیفی آب‌های داخلی (AWQC[1]) بالاترین مقدار آلاینده را در منابع آبی برای اهداف مشخص در شرایط طبیعی تعیین می‌کند. این معیار با هدف سلامت انسانی میزان آلاینده را در آب به‌گونه‌ای تعیین می‌کند که اثر سوئی بر سلامت انسان نداشته باشد. در این راستا حداکثر غلظت قابل توصیه مواد شیمیایی تجمع‌پذیر در عضلهٔ ماهی‌های آب شیرین و مصبی (TRC[2]) برای اهداف حفاظتی جمعیت مصرف‌کننده تعیین می‌شود و به کمک فاکتور تجمع زیستی آلاینده (BAF[3]) از آب به بافت ماهی، به معیار کیفی آب ترجمه می‌شود. USEPA روش تعیین این معیار را در سندی اجرایی ارائه نموده است (USEPA, 2016).

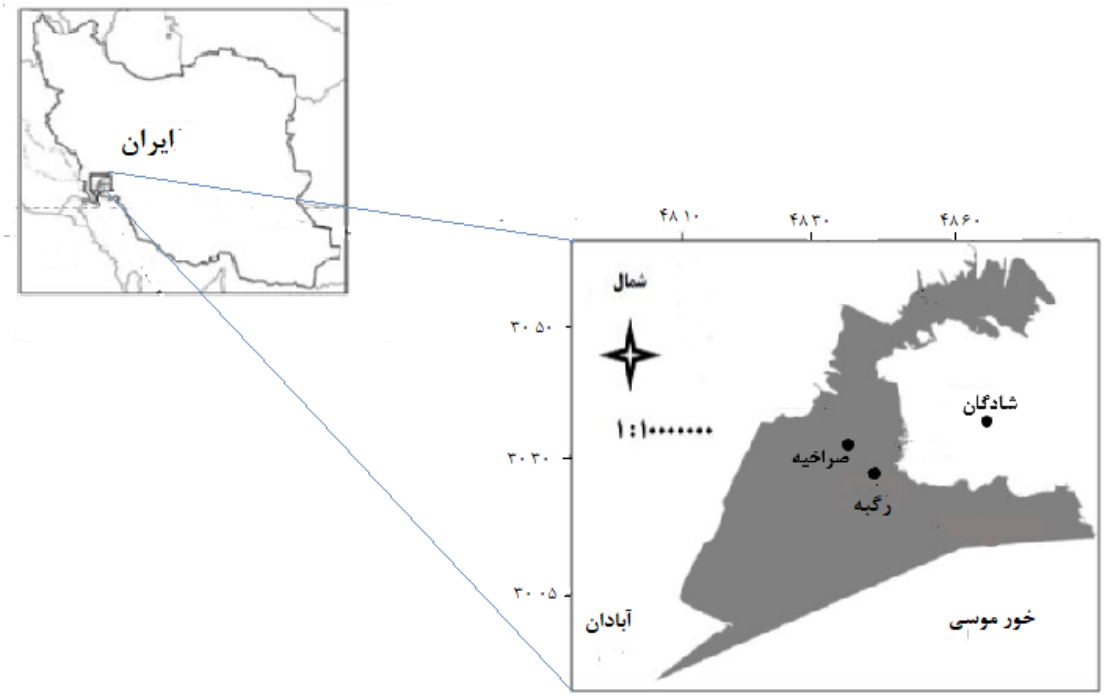
مطالعات مختلفی با هدف ارزیابی خطر جیوه در ماهیان جنوب کشور انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به پژوهش انجام گرفته توسط Agah و همکاران (۲۰۱۰) اشاره نمود که در آن میزان جیوه در ۵ گونه از ماهیان خلیج فارس اندازه‌گیری شده است که میزان جیوه در ۹ درصد ماهیان بالاتر از حد بالای قابل قبول سازمان بهداشت جهانی (WHO)[4] (۰/۵ mg/kg) گزارش شد. همچنین در تحقیق Okati و Esmaili-Sari (۲۰۱۷) میانگین غلظت جیوه در سه گونه ماهی در ماهشهر بیش از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی توصیه شده بود. در همین راستا Cheraghi و Almasieh (۲۰۱۴) میزان جیوه را در بافت عضله و کبد ماهی شوریده (*Otolithes ruber*) صید شده از خلیج فارس اندازه‌گیری نمودند. نتایج آنها نشان داد که میزان جیوه در بافت عضله از حدود استانداردهای USEPA و WHO پایین‌تر است؛ اما میانگین غلظت جیوه در بافت کبد از مقادیر استانداردها فراتر بود. همچنین در پژوهش Bemani و Okati (۲۰۲۴) روی ماهی تیلاپیای نیل پرورشی، میانگین جیوه ۰/۰۰۶ میکروگرم بر گرم وزن تر گزارش شد که از حد استاندارد USEPA کمتر بود. از نمونه مطالعات انجام گرفته در خصوص آلاینده‌ها در تالاب شادگان می‌توان به مطالعهٔ Bemanikharanagh و همکاران (۲۰۱۷) اشاره داشت که با هدف ارزیابی سمیت و تعیین منشأ هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAH) در رسوبات سطحی این منطقه انجام شد. آن‌ها گزارش نمودند که میزان آلودگی نفتی در این منطقه

[1]Ambient Water Quality Criteria
[2]Tissue Residue Criterition
[3]Bioaccumulation Factor
[4]World Health Orgenization

بسیار بالا است که می‌تواند سلامت آبزیان کف تالاب را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد. در مطالعهٔ حاضر از طریق سنجش میزان جیوه در ماهیان مصرفی که بیشتر مورد توجه اغلب محققان در گذشته بوده است، میزان حد مجاز جیوه در آب تالاب شادگان براساس فاکتور تجمع زیستی در ماهیان و میزان مصرف ماهیان توسط جوامع محلی محاسبه شده است.

روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور تعیین ایستگاه‌های مطالعاتی، روستاهای وابسته‌تر به تالاب و مناطق اصلی صیادی مشخص و در هر ایستگاه از آب و ماهی نمونه‌برداری گردید. بر این اساس، ۳ ایستگاه صراخیه، شادگان و رگبه انتخاب شدند. نقشهٔ ایستگاه‌های مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- نقشهٔ منطقهٔ مورد مطالعه

برای تعیین بیشترین گونه‌های ماهیان مصرفی توسط جامعهٔ محلی نزدیک به تالاب، میزان استفادهٔ هفتگی از ماهی، میزان مصرف در هر وعده، میانگین وزن افراد و ... پرسشنامه‌ای تدوین شد. برای اطمینان از پاسخ‌های داده شده از سؤالات کنترلی استفاده گردید.

نمونه‌برداری ماهی مطابق با فصل صید منطقه انجام شد (USEPA, 2010). صیادی در تالاب شادگان در همهٔ فصول انجام می‌شود، اما بیشترین آن پس از فصل بارندگی است (Hashemi *et al*., 2015). بر اساس نتایج پرسش‌نامه‌ها در هر ایستگاه سه گونه ماهی پرمصرف نمونه‌برداری گردید. در مجموع ۳ نوع ماهی بنی (*Mesopotamichthys sharpeyi*)، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) و تیلاپیا (*Tilapia zillii*) صید شدند. در هر ایستگاه از هر گونه ماهی ۸ نمونه و در مجموع در یک ایستگاه ۲۴ نمونه ماهی صید شد. ماهی‌ها در هر ایستگاه به کمک تور شبکه‌ای صید شدند و سپس در فویل و دو کیسهٔ نایلونی قرار گرفته و تا زمان انتقال به آزمایشگاه روی یخ نگهداری شدند. در آزمایشگاه قسمتی از فیلهٔ پشتی هر ماهی جدا و در فویل و کیسه پلاستکی گذاشته شد و تا زمان آنالیز در فریزر نگهداری گردید. نتایج زیست‌سنجی ماهیان مورد مطالعه و میزان مصرف آن‌ها توسط جامعه محلی در جدول ۱ ارائه شده است.

نمونه‌برداری آب در دو فصل بهار (اوایل اردیبهشت ماه ۹۹) و تابستان (اوایل تیرماه ۹۹) و در گسترهٔ خانگی ماهی‌ها نسبت به منطقهٔ صید ماهی و از منطقهٔ نزدیک به کف تهیه شدند. گسترهٔ خانگی ماهی در هر ایستگاه نمونه‌برداری، به کمک صیادان محلی تعیین شد و در هر ایستگاه از سه نقطهٔ مختلف که شامل گسترهٔ خانگی ماهیان باشد، نمونه‌برداری گردید. مختصات این مناطق

به‌کمک GPS ثبت شد. نمونه‌ها در ظروف شیشه‌ای با درب تفلون در دو کیسهٔ پلاستیکی و سپس در صندوق یخچالی و بر روی یخ جمع‌آوری شدند. برای استخراج و اندازه‌گیری غلظت جیوهٔ کل موجود در آب، تمامی نمونه‌ها، استانداردها و نمونهٔ بلانک (شاهد) را به‌صورت ۳۰٪ حجمی–حجمی با اسید HCl به حجم رسانده و غلظت جیوهٔ کل محلول نمونه‌های هضم شده به‌وسیلهٔ دستگاه جذب اتمی مجهز به بخار سرد (CVAAS savantAA, GBC with HG 3000) قرائت شدند.

نمونه‌های ماهی حدود یک ساعت قبل از آنالیز از فریزر خارج شدند تا به دمای محیط برسند (Ipolyi *et al*., 2004). سپس همگن‌سازی انجام شد و حدود ۰/۰۲ گرم از بافت تر وزن شده و در ظرف نیکلی دستگاه Direct Mercury Analyzer (DMA 80; Milestones SrL) قرار گرفته و قرائت شدند. تکنیک این دستگاه براساس Thermal Decomposition، amalgamation/atomic absorption spectrophotometry (TDA/AAS) و براساس روش استاندارد شماره ۷۴۷۳ می‌باشد (USEPA, 2007).

جدول ۱- نتایج زیست‌سنجی و میزان مصرف ماهیان مورد مطالعه توسط جامعهٔ محلی تالاب

ایستگاه	گونه ماهی	نام علمی	تعداد	وزن(g)	طول(cm)	درصد مصرف در جامعه محلی
صراخیه	بنی	*Mesopotamichthys sharpeyi*	۸	۳۷۰/۵±۶۳/۶	۲۸/۳±۴/۲	۷۸/۵٪
	کپور	*Cyprinus carpio*	۸	۵۶۷/۵±۴۳/۲	۳۱/۲±۷/۱	۱۱/۲٪
	تیلاپیا	*Tilapia zillii*	۸	۱۲۵/۲±۲۳/۵	۱۷/۵±۳/۱	٪۱۰/۳
رگبه	بنی	*Mesopotamichthys sharpeyi*	۸	۲۹۰/۷±۸۳/۲	۲۷/۱±۵/۲	٪۵۸/۲
	کپور	*Cyprinus carpio*	۸	۴۹۵/۳±۲۳/۸	۳۰/۶±۵/۷	۲۷/۴٪
	تیلاپیا	*Tilapia zillii*	۸	۱۵۷/۵ ± ۳۳/۸	۲۳/۵±۴/۳	٪۱۴/۴
شادگان	بنی	*Mesopotamichthys sharpeyi*	۸	۳۸۴/۲ ± ۳۷/۴	۳۰/۳±۳/۱	٪۴۲/۲
	کپور	*Cyprinus carpio*	۸	۶۴۲/۵ ± ۳۶/۶	۳۳/۵±۶/۳	٪۱۷/۴۲
	تیلاپیا	*Tilapia zillii*	۸	۱۴۴/۷ ± ۲۱/۲	۱۹/۸±۷/۶	٪۴۰/۳۸

روش محاسبهٔ حد مجاز جیوه آب تالاب: برای محاسبهٔ میانگین غلظت جیوه هر ایستگاه از فرمول میانگین وزنی (فرمول ۱) استفاده شد (USEPA, 2010):

$$C_{avg} = \frac{FI1 \times C1 + FI2 \times C2 + FI3 \times C3 \ldots}{FI1+FI2+FI3+\cdots} \qquad \text{فرمول ۱}$$

C_{avg}: غلظت میانگین جیوه در ماهی‌های مصرفی هر ایستگاه (µg/kg)

FI_i: نرخ مصرف هر ماهی (kg/day)

Ci: میانگین غلظت جیوه در ماهی‌های مربوطه (µg/kg)

نرخ مصرف هر ماهی در هر ایستگاه با تحلیل پاسخ‌های پرسشنامه‌ها تعیین و در میانگین غلظت جیوهٔ کل موجود در آن ضرب و سپس به مجموع مصرف روزانهٔ ماهی توسط افراد تفسیم گردید تا غلظت میانگین جیوهٔ کل حاصل شده و در محاسبهٔ BAF قرار گیرد.

BAF از طریق فرمول ۲ محاسبه شد.

$$BAF = C_t/C_w \qquad \text{فرمول ۲}$$

BAF: فاکتور تجمع زیستی به‌دست آمده از نمونه‌های بافت و آب جمع‌آوری شده میدانی خاص هر مکان (L/Kg)

C_t: غلظت مادهٔ مورد نظر در بافت ماهی براساس میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر ماهی

C_w: غلظت ماده در آب (mg/L)

در هر ایستگاه از تقسیم غلظت میانگین جیوهٔ نمونه‌های ماهی به غلظت میانگین نمونه‌های آب (فرمول ۲)، BAF مربوط به هر ایستگاه تعیین گردید و با میانگین‌گیری از BAF ها، BAF کل تالاب محاسبه و در فرمول WQC (فرمول ۳) قرار داده شد.

$$WQC = TRC/BAF \qquad \text{فرمول ۳}$$

WQC: معیار کیفی آب مورد نظر برای مادهٔ آلاینده (میلی‌گرم در لیتر)

TRC: غلظت مجاز آلاینده در بافت موجود آبزی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

BAF: فاکتور تجمع زیستی (لیتر بر کیلوگرم) (USEPA, 2010).

TRC موجود در فرمول WQC برای متیل جیوه بر طبق فرمول ۴ محاسبه می‌گردد (USEPA, 2010):

$$TRC = {BW \times (RfD^{5} - RSC)} \Big/ {\sum_{i=1}^{n} FIi} \qquad \text{فرمول ۴}$$

TRC: غلظت معیار آلاینده برای بافت ماهیان غیر دریایی (میلی‌گرم در کیلوگرم ماهی) که اثرات غیرسرطانی را موجب نشود.

RfD[1]: (حد مجاز استاندارد) براساس اثرات غیرسرطانی سلامت انسان ۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز بیان شده است.

RSC[6]: سهم نسبی مصرف ماهی دریا براساس میلی‌گرم در کیلوگرم وزن بدن در روز

BW[7]: وزن متوسط بدن (کیلوگرم)

FI: مقدار مصرف ماهی برای افراد جمعیت (کیلوگرم ماهی در روز)

مقدار RSC در صورت مصرف ماهی دریا توسط جامعهٔ محلی محاسبه خواهد شد. جامعهٔ مطالعه شده صرفاً ماهی تالاب را مورد مصرف قرار می‌دادند از این‌رو مقدار RSC صفر درنظر گرفته شد.

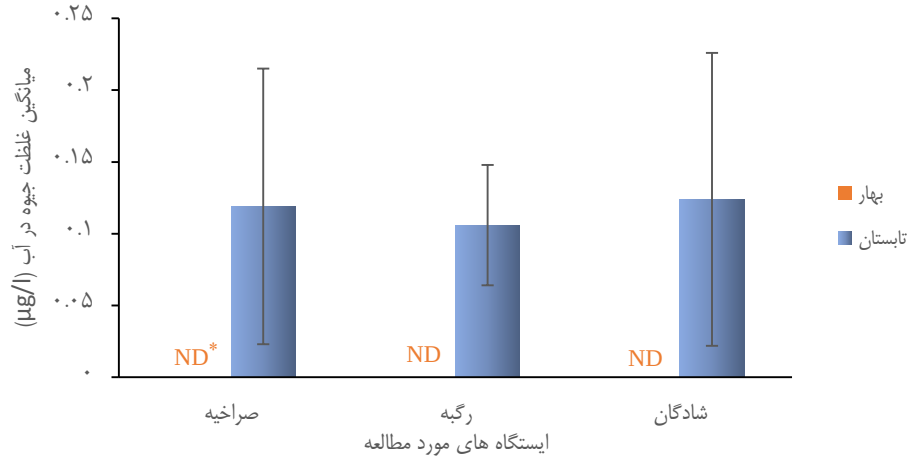
مقدار حد مجاز جیوه در آب (WQC) معمولاً به‌صورت مقدار کل فلز بیان می‌شود.

یافته‌های پژوهش

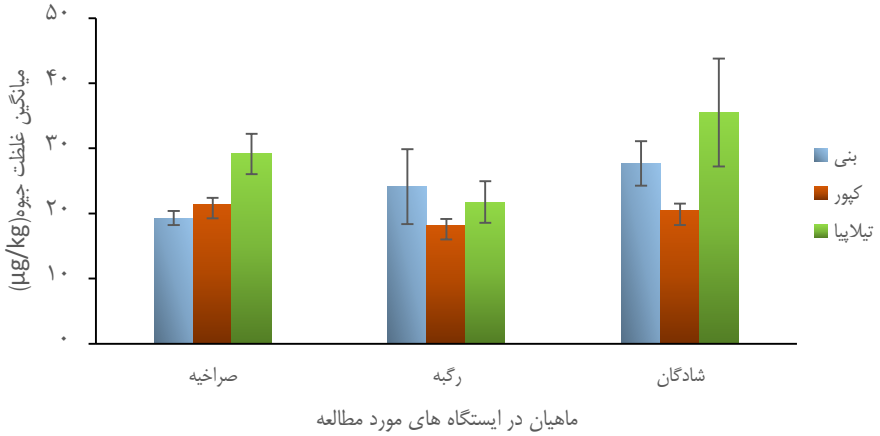
میانگین‌های غلظت جیوه در آب و ماهیان در ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همان‌طور که شکل ۱ نشان می‌دهد، مقادیر جیوه در ایستگاه‌های مورد نظر در فصل بهار بسیار ناچیز و غیرقابل اندازه‌گیری بود. به‌عبارتی سنجش جیوه در نمونه‌های آب تالاب پس از اتمام بارندگی‌های سالانه و رقیق شدن آلاینده، نتیجه‌ای به‌دنبال نداشت و تنها در زمان بالابودن میزان تبخیر آب، آلایندهٔ مدنظر از غلظت قابل اندازه‌گیری برخوردار شد. برای مقایسهٔ جیوه در آب و ماهیان، از میانگین غلظت جیوه آب در دو فصل اندازه‌گیری استفاده شد. مقدار جیوهٔ کل در نمونه‌برداری اول معادل صفر در نظر گرفته شد. بیشترین و کمترین میزان جیوه آب در فصل تابستان به‌ترتیب مربوط به ایستگاه‌های شادگان (µg/l ۰/۱۰۲±۰/۳۷۶) و رگبه (µg/l ۰/۰۴۲±۰/۱۵۶) بود. همچنین بیشترین میانگین غلظت جیوه در ماهی تیلاپیا در ایستگاه شادگان (µg/kg ۸/۳۰±۳۵/۵۱) و کمترین مربوط به ماهی کپور در ایستگاه رگبه(µg/kg ۲/۱۶±۱۸/۱۸) به‌دست آمد (شکل ۳).

تحلیل پرسشنامه‌ها نشان داد که حدود ۶۰ درصد جامعهٔ محلی وابسته به تالاب، ۲ وعده در هفته و۴۰ درصد آنها ۳ وعده در هفته ماهی مصرف می‌کنند. آنها تنها ماهیان تالاب را مورد استفاده قرار می‌دادند. ۳ گونه از ماهیان شامل ماهی بنی، کپور و تیلاپیا بیشترین مصرف را در بین جامعهٔ مورد مطالعه داشتند. مقدار مصرف ماهی حاشیه‌نشینان تالاب بسیار بالاست به‌گونه‌ای که در مواردی مصرف بیش از یک کیلوگرم ماهی در هر وعدهٔ غذایی گزارش شد. میانگین مصرف بومیان ۹۵۰ گرم ماهی در هر وعدهٔ غذایی است. میانگین وزنی افراد مورد بررسی ۷۴/۵ کیلوگرم بود. همان‌طور که در جدول ۲ ارائه شده است، بیشترین و کمترین میزان BAF در ایستگاه‌های مورد مطالعه به‌ترتیب ۴۵/۰۱ در ایستگاه شادگان و ۳۹/۴۷ (l/kg) در ایستگاه شادگان به‌دست آمد. میزان TRC و WQC در ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین و کمترین میزان TRC به‌ترتیب ۰/۰۲۴ mg/kg در ایستگاه رگبه و ۰/۰۱۹ mg/kg در ایستگاه شادگان به‌دست آمد. بیشترین مقدار WQC_{Hg} در ایستگاه رگبه (mg/l ۰/۰۰۰۵۹) و کمترین مربوط به ایستگاه شادگان (۰/۰۰۰۴۲mg/l) بود.

[1]Reference Dose
[2]Relative Source Contribution
[3]Body Weight



شکل ۲- میانگین جیوه در نمونه‌های آب در ایستگاه‌های مورد مطالعه



شکل ۳- میانگین غلظت جیوه در ماهیان در ایستگاه‌های مورد مطالعه

جدول ۲- مقادیر BAF جیوه در هر ایستگاه بر اساس میزان مصرف ماهی و میانگین غلظت جیوه در ماهی و آب

ایستگاه	وعده هفتگی	FI (g/day)	FI_i (g/day)	$C_{Fish.}$ (µg/kg)	$C_{water.}$ (µg/l)	BAF ($C_{fish.}$ /$C_{water.}$) (l/kg)
صراخیه	۲/۳۵	۳۱۹	بنی: ۲۵۰ کپور: ۳۶ تیلاپیا: ۳۳	۲۳/۲۹	۰/۵۹	۳۹/۴۷
رگبه	۲/۳۴	۳۱۷	بنی: ۱۸۴ کپور: ۸۷ تیلاپیا: ۴۶	۲۱/۳۶	۰/۵۳	۴۰/۳۰
شادگان	۲/۸۶	۳۸۸	بنی: ۱۶۴ کپور: ۶۸ تیلاپیا: ۱۵۷	۲۷/۹۱	۰/۶۲	۴۵/۰۱

جدول ۳- میزان TRC و WQC(TRC/BAF) در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه	BW (kg)	RfD (mg/kg)	RSC (mg/kg)	FI (kg/day)	TRC (mg/kg)	WQC_{Hg} (mg/l)
صراخیه	۷۴/۷۲	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۳۱۹	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۵۸
رگبه	۷۵/۲	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۳۱۷	۰/۰۲۴	۰/۰۰۰۵۹
شادگان	۷۳/۶	۰/۰۰۰۱	۰	۰/۳۸۸	۰/۰۱۹	۰/۰۰۰۴۲

بحث و نتیجه‌گیری

ماهی جزء ضروری یک رژیم غذایی متعادل برای انسان است؛ زیرا به‌عنوان منبع پروتئین سالم، اسیدهای چرب غیراشباع چندگانه، مواد معدنی و ویتامین‌ها است (Brodziak-Dopierała and Fischer, 2023). از طرفی، گوشت ماهی علاوه بر ارزش غذایی می‌تواند منبع آلاینده‌هایی از جمله جیوه باشد. سطوح قابل قبول آلاینده‌ها در غذا توسط استانداردهای مختلف تعیین شده است. به‌عنوان مثال، حداکثر غلظت مجاز جیوه در اکثر گونه‌های ماهی ۰/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم توسط USEPA و WHO توصیه شده است (USEPA, 2022). در این مطالعه میانگین غلظت جیوهٔ اندازه‌گیری شده در ماهیان مصرفی تالاب شادگان ۲۴/۱۸ µg/kg به‌دست آمد که در مقایسه با حد مجاز USEPA بسیار کمتر است و نشان می‌دهد خطر بر سلامت مصرف‌کنندگان در مورد این آلاینده وجود ندارد. همچنین میانگین جیوه در ماهیان مصرفی تالاب شادگان در این تحقیق نسبت به مقدار جیوه در ماهیان تالاب شادگان که توسط Taravati و همکاران (۲۰۱۰) (۴۲ میکروگرم در کیلوگرم وزن خشک) گزارش شده نیز کمتر است. مقایسهٔ مقادیر غلظت به‌دست آمده جیوه در ماهیان در تحقیق حاضر از میانگین به‌دست آمده برای ماهی کاراس صید شده از بندر انزلی (Alidoust *et al*., 2015) و همین‌طور مقادیر میانگین جیوه در ماهیان صید شده از بندرعباس، بوشهر و ماهشهر (Okati and Esmaili, 2018) کمتر بود. بیشترین میانگین غلظت جیوه در ماهی تیلاپیا در ایستگاه شادگان و کمترین مربوط به ماهی کپور در ایستگاه رگبه بود. در این مطالعه ۳ گونه که در سطح تغذیه‌ای بالا در زنجیرهٔ غذایی تالاب قرار دارند، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت به‌طور کلی این گونه‌ها غلظت جیوهٔ بالاتری نسبت به سطوح تغذیه‌ای پایین‌تر دارند. تفاوت در تجمع جیوه موجود در این گونه ماهی‌ها ممکن است به تفاوت ریخی، نیازمندی‌های زیست و فیزیولوژیک، عوامل فیزیکوشیمیایی آب، چرخهٔ زندگی و مواد غذایی در زیستگاه هر گونه مرتبط می‌باشد (Weiss-Penzias *et al*., 2016; Espejo *et al*., 2018).

میانگین غلظت جیوه در آب ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در فصل تابستان کمتر از حد استاندارد USEPA برای حیات آبزی (۰/۰۰۲ میلی‌گرم در لیتر) بود (USEPA, 2002). اما مقایسهٔ میانگین به‌دست آمده جیوه در مطالعهٔ حاضر با استاندارد سازمان حفاظت از محیط‌زیست کشور چین (در سه سطح ۱ تا ۳ به‌ترتیب ۰/۰۵، ۰/۲ و ۰/۵۰ میکروگرم بر لیتر) (Peng, 2015) نشان می‌دهد که این میزان در ایستگاه‌های مورد مطالعه در فصل تابستان فراتر رفته است. Alemayehu و همکاران (۲۰۲۳) نیز میزان جیوهٔ آب دریاچهٔ کاو در اوکلاهاما را کمتر از معیار تعیین شده USEPA گزارش نمودند که مشابه نتایج به‌دست آمده در این تحقیق است. در مطالعه Abadi و همکاران (۲۰۱۷) میانگین غلظت جیوه در نمونه‌های آب سواحل جنوبی دریای خزر ۱/۶۹۷ میکروگرم بر لیتر به‌دست آمد که بالاتر از حدود استاندارد است. تفاوت غلظت جیوهٔ نمونه‌های آب در مطالعات مختلف را می‌توان به ناحیه‌ای بودن برخی مطالعه‌ها با توجه به تمرکز ناحیهٔ کشاورزی، تخلیهٔ پساب‌های صنعتی و شهری، تراکم جمعیت و غیره در آن مناطق مرتبط دانست.

محدودهٔ BAF در ایستگاه‌های مورد مطالعه ۴۵/۰۱–۳۹/۴۷ (l/kg) به‌دست آمد. میانگین به‌دست آمده BAF (۴۱/۶۹ لیتر بر کیلوگرم) بود. اطلاعات حاصل از این شاخص در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان داد که روند تغییر این فاکتور در ماهیان آن‌ها به‌صورت شادگان> رگبه> صراخیه است. شاخص تجمع زیستی نشان‌دهندهٔ میزان جیوهٔ جذب شده از طریق رژیم غذایی است (Alemayehu *et al*., 2023). از آنجا که میزان جیوه در آب در تالاب شادگان در حد پایین قرار دارد، می‌توان نتیجه گرفت که جذب جیوه در ماهیان مصرفی از طریق تغذیه است.

میانگین TRC محاسباتی تالاب شادگان ۲۲ میکروگرم در کیلوگرم ماهی محاسبه شد. این معیار بیان می‌کند که اگر غلظت جیوه در ماهیان تالاب بیشتر از این مقدار شود، ریسک خطر سلامت بومیان وجود دارد. هرچه این معیار کمتر باشد حساس بودن اکوسیستم را بیشتر نشان می‌دهد (USEPA, 2010). مقایسهٔ میانگین غلظت جیوه در ماهیان مصرفی ایستگاه‌های شادگان (۲۷/۹۱ µg/kg) و صراخیه (۲۳/۲۹ µg/kg) از این مقدار فراتر رفته است که نشان‌دهندهٔ پتانسیل خطر بالقوه برای مصرف‌کنندگان را نشان می‌دهد. هر چند میانگین جیوه در ماهیان این تالاب از حدود استاندارد USEPA کمتر به‌دست آمد؛ اما آنچه در این تالاب حائز اهمیت است مصرف بالای ماهی توسط جوامع محلی حاشیهٔ تالاب بوده که حد مجاز جیوه را می‌تواند تحت تأثیر قرار دهد.

مقدار WQC محاسبه‌شدهٔ این تالاب معادل ۰/۵۳ میکروگرم در لیتر آب تالاب بود که غلظت بالایی نیست؛ اما با توجه به میزان TRC به‌دست آمده احتمال خطر برای مصرف‌کنندگان محلی وجود دارد. بنابراین در وارد کردن پساب‌ها به این تالاب بایستی مراقبت مداوم وجود داشته باشد. دفع پساب‌های کشاورزی، صنعتی و شهری، نشت مواد نفتی از لوله‌ها، تخلیهٔ زباله‌های شهری، لوله‌گذاری نفت و احداث جاده در محدودهٔ تالاب از تهدیدات مهم این تالاب هستند. به‌عبارتی افزایش غلظت جیوه بر اثر ورود پساب‌ها به تالاب و به‌دنبال آن بالارفتن میزان جیوهٔ موجود در آب در فصول گرم‌تر سال، می‌تواند هشداری برای مصرف ماهیان تالاب برای حاشیه‌نشینان باشد. بنابراین با توجه به موقعیت این تالاب و فعالیت واحدهای مختلف پتروشیمی و ورود پساب آلودهٔ آنها به تالاب، استفاده از تصفیه‌خانه‌های جدید و استفاده از مواد خام با درصد آلایندگی کمتر در مدیریت پساب‌ها جهت کاهش آلودگی، ضروری است.

در مطالعهٔ حاضر میزان جیوه در آب و ماهیان مصرفی جهت اندازه‌گیری شاخص تجمع زیستی جیوه در نظر گرفته شد. پیشنهاد می‌شود این شاخص در مورد جیوه در سایر آبزیان این تالاب نیز اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری غلظت جیوه در ماهی به‌مراتب آسان‌تر از اندازه‌گیری در آب است چرا که به‌دلیل ماهیت تجمع‌پذیری جیوه در بافت ماهی و بالا رفتن غلظت آن در زنجیرهٔ غذایی، اندازه‌گیری آن در ماهی با توجه به وجود دستگاه‌های اندازه‌گیری در ایران و عدم امکان سنجش در غلظت‌های پایین، اندازه‌گیری در آب در اغلب اوقات نتیجه‌ای دربر ندارد. بنابراین استفاده از معیار TRC می‌تواند آسان‌تر از WQC باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان از زحمات کلیهٔ کسانی که در مراحل مختلف این تحقیق یاری رساندند، تشکر می‌نمایند. همچنین از حوزهٔ معاونت محترم پژوهشی دانشگاه زابل به‌خاطر حمایت مالی (کد پژوهانه: IR-UOZ-GR-۲۴۳۰) قدردانی می‌کنند.

References

Abadi, M., Zamani, A.A., Parizanganeh, A., Khosravi, Y., Badiee, H., 2017. Mercury concentration in water and fish samples along south coast of the Caspian Sea. Iranian Journal of Health and Environment 10(3), 329-38. (In Persian)

Agah, H., Leermakers, M., Gao, Y., Fatemi, S.M., Katal, M.M., Baeyens, W., Elskens, M., 2010. Mercury accumulation in fish species from the Persian Gulf and in human hair from fishermen. Environmental Monitoring and Assessment 169(1-4), 203-16. (In Persian)

Alemayehu, D., Rudra, P., Mathews, S., Douglas, E., Regnier, C. 2023. Assessment of Mercury Concentrations in Water and Fish Tissue Analysis in Kaw Lake, Oklahoma, 2022. Journal of Environmental Protection 14, 50-65.

Alidoust, S., Esmaeili Sari, A., Bahramifar, N., 2015. Bioaccumulation of total and organic mercury in goldfish (*Carassius auratus gibelio*) in Anzali wetland, and assessment of health risks. Journal of Mazandaran University Medical Science 24(120), 242-252. (In Persian)

Bemani, A., Okati, N., 2024. Risk assessment of some heavy metals (Lead, Chromium, Mercury, Arsenic, and Nickel) in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) cultured in the biofloc system. Environment and Water Engineering, doi: 10.22034/ewe.2024.421589.1897. (In Persian)

Bemanikharanagh, A., Riahi Bakhtiari, A., Mohammadi, J., Taghizadeh-Mehrjardi, R., 2017. Toxicity and Origins of PAHs in Sediments of Shadegan Wetland, in Khuzestan Province, Iran. Journal of Mazandaran University Medical Science 26(145), 304-317. (In Persian)

Brodziak-Dopierała, B.; Fischer, A., 2023. Analysis of the Mercury Content in Fish for Human Consumption in Poland. Toxics 11, 717.

Cheraghi, M., Almasieh, K., 2024. Mercury Contamination in Tigertooth croaker, Otolithes ruber (Teleostei, Sciaenidae), Fish of the Northwestern Persian Gulf with an Emphasis on Human Health Risk. ECOPERSIA 12(1), 81-92.

Davodi, M., Esmaili-Sari, A., Bahramifar, N., 2011.Concentration of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in some edible fish species from the Shadegan Marshes (Iran). Ecotoxicology and Environental Safety 74, 294-300

Denaro, G., Curcio, L., Borri, A., D'Orsi, L., De Gaetano, A., 2023. A dynamic integrated model for mercury bioaccumulation in marine organisms. Ecological Informatics 75, 102056.

Espejo, W., Padilha, J.D.A., Kidd, K.A., Dorneles, P.R., Barra, R., Malm, O., Chiang, G., Celis, J.E., 2018. Trophic transfer of cadmium in marine food webs from Western Chilean Patagonia and Antarctica. Marine Pollution Bulletin 137, 246-251.

Hashemi, S. A., Eskandari, G., Ansari, H., 1389. Investigation the catch and livestock in Shadegan wetland. Wetland Journal 1(4), 3-9 (In Persian)

Hashemi, S.A., Ghorbani, R., Kymaram, F., Hossini, S.A., Eskandari, G., Hedayati, A., 2015. Fish species composition, distribution and abundance in Shadegan wetland. Fisheries and Aquaculture Journal 6(2), 1000128.

Hu, Sh., Niu, Zh., Chen, Y., Li, L., Zhang, H., 2017. Global wetlands: Potential distribution, wetland loss, and status. Science of the Total Environment 586, 319-327

Ipolyi, I., Massanisso, P., Sposato, S., Fodor, P., Morabito, R., 2004. Concentration levels of total and methylmercury in mussel samples collected along the coasts of Sardinia Island (Italy). Analytica Chimica Acta 505, 145-151

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. Environmental Science and Pollution Research 25, 639-657.

Okati, N., Shahriari Moghadam, M., Einollahipeer, F., 2021. Mercury, arsenic and selenium concentrations in marine fish species from the Oman Sea, Iran, and health risk assessment. Toxicology and Environmental Health Sciences, 13, 25-36.

Peng, S., 2015. The nutrient, total petroleum hydrocarbon and heavy metal contents in the seawater of Bohai Bay, China: Temporal–spatial variations, sources, pollution statuses, and ecological risks. Marine Pollution Bulletin 95(1), 445-51.

Taravati, S., Sary, A.A., Baboli, M.J., 2012. Determination of lead, mercury and cadmium in wild and farmed Barbus sharpeyi from Shadegan wetland and Azadegan aquaculture site, South of Iran. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 89, 78-81

UNEP, 2018. Global Mercury Assessment 2018. UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch Geneva, Switzerland. Available in: https://www.unep.org/res ources/publication/global-mercury-assessment-2018. Accessed 03/2022.

USEPA, 2002. Field Sampling Plan for the National Study of Chemical Residues in Lake Fish Tissue. EPA-823-R-02-004.

USEPA, 2007. Method 7473 (SW-846): Mercury in Solids and Solutions by Thermal Decomposition, Amalgamation, and Atomic Absorption Spectrophotometry. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-7473.pdf>

USEPA, 2010. Guidance for implementing the January 2001 methylmercury water quality criterion. EPA-823-R-10-001, Office of Science and Technology (4305T)

USEPA, 2016. Development of National Bioaccumulation Factors: Supplemental Information for EPA′s 2015 Human Health Criteria Update. EPA-822-R-16-001, Office of water, Office of science and Technology, Washington.

USEPA, 2022. Advisories and Technical Resources for Fish and Shellfish Consumption. https://www.epa.gov/fish-tech.

Weiss-Penzias, P.S., Gay, D.A., Brigham, M.E., Parsons, M.T., Gustin, M.S., TerSchure, A., 2016. Trends in Mercury Wet Deposition and Mercury Air Concentrations across the U.S. and Canada. Science of the Total Environment 568, 546-556.

Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S.M., Hassanzade Kiabi, B., 2007.Examination of mercury concentrations in the feathers of 18 species of birds in southwest Iran. Environmental Research 104, 258-265.