



سنجش غلظت جیوه در اردک ماهی (*Esox lucius*) و ارزیابی ریسک بالقوه سلامت انسان به واسطه مصرف آن، تالاب انزلی

حسن ملوندی*، سمیه عظیمی، مینا سروری کروژده

گروه علوم و مهندسی محیط زیست، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

نوع مقاله:

چکیده

کوتاه

هدف از این تحقیق ارزیابی غلظت جیوه بافت عضله اردک ماهی و ریسک بالقوه مصرف آن بود. مقدار حداکثر مجاز مصرف روزانه، هفتگی و ماهانه برای کودکان و بزرگسالان محاسبه شد. میانگین غلظت جیوه از حد مجاز سازمان استاندارد ملی و سازمان‌های بین‌المللی کمتر بود. نتایج شاخص HQ بیانگر عدم وجود تهدیدی بالقوه برای مصرف‌کنندگان بود. به علاوه عدم خطر سلامتی برای خود گونه نیز تأیید شد. با این وجود به دلیل گوشت‌خوار بودن این گونه و تجمع زیستی جیوه، برای تضمین سلامت گونه‌ها و انسان باید پایش‌های مستمر انجام شود.

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۹۷/۰۹/۱۴

اصلاح: ۹۷/۱۱/۰۹

پذیرش: ۹۷/۱۱/۲۳

کلمات کلیدی:

اردک ماهی

بزرگنمایی زیستی

سمیت

مقدمه

جیوه از عناصری است که در طبیعت خاصیت تجمع زیستی داشته و به عنوان یک آلاینده زیست محیطی خطرناک حساسیت مجامع و سازمان‌های بین‌المللی گوناگون را برانگیخته است. آلودگی جیوه، علاوه بر پیامدهای اقتصادی، به واسطه خصوصیات از قبیل سمیت، پایداری و بزرگنمایی زیستی سبب تهدید سلامت موجودات و به خصوص موجودات بالایی زنجیره غذایی و همچنین انسان‌ها شده است (Zamani-Ahmadm Mahmoodi et al., 2014; Ghasemzadeh, 2005).

نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده بر روی ماهیان و رابطه آن با سلامت جسمانی و روانی انسان‌ها و به علاوه توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی و ترغیب انسان‌ها به مصرف ماهی جهت پیشگیری از وقوع برخی بیماری‌ها، بر ارزش و اهمیت ماهی و لزوم قرارگیری آن در وعده‌های غذایی مردم افزوده است. از طرفی، مصرف مداوم ماهی‌های آلوده به جیوه، آثار نامطلوبی بر سلامت داشته و ممکن است حیات فرد را به مخاطره اندازد. لذا با وجود منفعت‌هایی که مصرف ماهی برای انسان دارد، خطرات بهداشتی ناشی از آن نیز نگرانی‌هایی را سبب شده است (Gheytasi et al., 2014; Molazadeh Adel et al., 2016; and Nozari, 2014).

تالاب انزلی یکی از اکوسیستم‌های آبی مهم در ایران است. این تالاب زیستگاه بسیاری از گونه‌ها بوده و دارای ارزش اکولوژیکی، اقتصادی و گردشگری نیز می‌باشد. امروزه این تالاب تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در معرض نابودی قرار گرفته است. گرچه ماهیان متنوعی در آن زیست می‌کنند، اما تقریباً نیمی از ماهیان صید شده از این تالاب مربوط به گونه اردک ماهی است. این گونه یکی از گونه‌های نیازمند حفاظت است و دارای ارزش بوم‌شناسی و اقتصادی بالا است و سهم زیادی را

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: h.malvandi@hsu.ac.ir; hmalvandi@gmail.com

در تأمین پروتئین دریافتی و رژیم غذایی انسان‌ها به خود اختصاص می‌دهد (Molazadeh and Khodadoust *et al.*, 2015; Nozari, 2014).

با توجه به حضور ماهی در رژیم غذایی انسان به خصوص افراد ساکن در اطراف پیکره‌های آبی و همچنین قرارگیری اغلب آن‌ها در ترازهای بالاتر زنجیره غذایی، انجام مطالعات جهت سنجش و پایش سلامت آبریان به ویژه ماهیان ضروری است. پژوهش‌هایی نیز پیرامون سنجش غلظت جیوه اردک ماهیان صورت گرفته است از جمله می‌توان به تحقیقات Astani و همکاران (۲۰۱۶) و Adel و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد.

در تحقیق حاضر نیز با توجه به دلایل ذکر شده بالا و همچنین بنا به دلایل زیر، گونه اردک ماهی انتخاب شده است: الف- نوع رژیم غذایی (گوشته‌خوار بودن)، ب- موقعیت آن در زنجیره غذایی، ج- قلمرو طلب بودن، د- مصرف زیاد خوراکی در میان مردم منطقه مورد مطالعه. بنابراین اهداف اصلی این تحقیق شامل بررسی مقادیر عنصر سمی جیوه در بافت عضله اردک ماهی از تالاب انزلی، محاسبه جذب روزانه و هفتگی عنصر جیوه و همچنین میزان مجاز مصرف ماهی‌های مورد مطالعه، ارزیابی خطرات سلامتی بالقوه جیوه برای گونه اردک ماهی و همچنین انسان به واسطه مصرف این گونه بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

تالاب انزلی یک اکوسیستم مهم بوده که دارای گونه‌های متعددی است. گسترش فعالیت‌های متنوع انسانی و افزایش روز افزون صنایع، افزایش میزان ورود پساب‌های صنعتی و شهری، توسعه فعالیت‌های کشاورزی و صید و شکار بی‌رویه از جمله تهدیداتی است که سبب به خطر افتادن زیستگاه و جمعیت جانوران و آلودگی زیستگاه می‌شود (Teymouri *et al.*, 2012; Molazadeh and Nozari, 2014).

آماده سازی نمونه ها و تجزیه و تحلیل داده ها

نمونه‌های اردک ماهی در زمستان ۱۳۹۶ از کل تالاب بدون ایستگاه بندی منطقه صید شدند. بعد از خشک کردن نمونه‌های عضله (در دمای °C ۱۵۰ و ۴۸ h)، یک گرم نمونه پودر شده، با اسید نیتریک و اسید پرکلریک هضم و با آب دیونیزه به حجم ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. آزمون کولموگروف-اسمیرنوف عدم نرمال بودن داده‌ها را نشان داد، بنابراین از آزمون اسپیرمن برای تعیین همبستگی غلظت جیوه با پارامترهای ریخت‌شناسی در نرم افزار SPSS استفاده شد.

خطرات بهداشتی مرتبط با جیوه برای انسان

محاسبه مقدار جذب روزانه (EDI) و محاسبه مقدار جذب هفتگی (EWI)

مقادیر این شاخص بر اساس فرمول‌های زیر محاسبه شد. فاکتورها در مقاله Salamat و همکاران (۲۰۱۶) توضیح داده شده است (Salamat *et al.*, 2016).

$$EDI = \frac{(C \times IR_d)}{Bw}$$

$$EWI = \frac{(C \times IR_w)}{Bw}$$

شاخص خطر (HQ)

شاخص طبق فرمول زیر محاسبه شد. فاکتورها در مقاله Malvandi و همکاران (۲۰۱۴) توضیح داده شده اند (Malvandi et al., 2014).

$$HQ = \left(\frac{EF \times ED \times FIR \times C}{RFD \times WAB \times TA} \right) \times 10^{-3}$$

تعیین میزان مجاز مصرف ماهی

حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی (CR_{lim}) و تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی به طور ماهانه (CR_{mm}) طبق فرمول های زیر به دست آمد. فاکتورها در مقاله Salamat و همکاران (۲۰۱۶) توضیح داده شده است.

$$CR_{lim} = (Rfd \times Bw) / MC$$

$$CR_{mm} = CR_{lim} \times T / MS$$

نتایج

میانگین و خطای معیار غلظت جیوه برای اردک ماهی برابر با $119/30 \pm 15/98$ و محدوده مقادیر این عنصر سمی از ۳۳ تا $227 \mu g \text{ kg}^{-1} \text{ dw}$ بود. میانگین طول کل $38/2$ Cm ($29/7-49/4$)، طول استاندارد $33/4$ Cm ($24/9-45/7$)، طول چنگالی $36/08$ Cm ($27/4-47/8$) و وزن کل $431/72$ g ($190-1036$) بودند. نتایج نشان داد بین غلظت جیوه و ویژگی‌های ریخت‌شناسی وزن کل، طول کل بدن، طول چنگالی و طول استاندارد همبستگی معنی‌داری وجود ندارد ($p > 0/05$).

در جدول ۱ مقادیر جذب روزانه (EDI) و هفتگی (EWI) عنصر جیوه ذکر شده است. همچنین مقادیر شاخص خطر (HQ) برای گونه اردک ماهی بر اساس میزان مصارف مختلف و دوز رفرنس‌های مختلف محاسبه گردید (جدول ۱). مقادیر این شاخص در محدوده $3/0 \times 10^{-5}$ و $12/9 \times 10^{-5}$ بود.

حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی روزانه، هفتگی و ماهانه برای یک انسان بالغ و کودک نیز محاسبه شد. برای بزرگسالان میزان مجاز مصرف ماهی روزانه و هفتگی برابر با ۲۹۴ و ۲۰۵۷ گرم و تعداد وعده‌های مجاز مصرف در ماه برابر با ۳۹/۴۱ وعده بود. برای کودکان میزان مجاز مصرف ماهی روزانه برابر با ۶۰/۹ گرم، هفتگی برابر با ۴۲۶ گرم و تعداد وعده‌های مجاز مصرف این گونه در ماه برابر با ۸/۱۶ وعده به دست آمد.

جدول ۱. مقادیر جذب روزانه (EDI)، هفتگی (EWI) و مقادیر شاخص HQ برای گونه اردک ماهی

شاخص	مقدار	شاخص	مقدار
EDI و EWI		HQ	
EDI _F ^a	۰/۰۱۲۳	HQ _{FE} ^d	$12/3 \times 10^{-5}$
EDI _{Im} ^b	۰/۰۰۷۰	HQ _{FW} ^e	$5/3 \times 10^{-5}$
EDI _{In} ^c	۰/۰۱۲۹	HQ _{ImE} ^f	$7/0 \times 10^{-5}$
EWI _F ^a	۰/۰۸۵۸	HQ _{ImW} ^j	$3/0 \times 10^{-5}$
EWI _{Im} ^b	۰/۰۴۸۸	HQ _{InE} ^h	$12/9 \times 10^{-5}$
EWI _{In} ^c	۰/۰۹۰۵	HQ _{InW} ^k	$5/6 \times 10^{-5}$

^a بر اساس سرانه مصرف ماهی FAO؛ ^b بر اساس سرانه مصرف ماهی میانگین در ایران؛ ^c بر اساس سرانه مصرف ماهی در سواحل شمال ایران؛ ^d شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف FAO و دوز رفرنس EPA؛ ^e شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف FAO و دوز رفرنس WHO؛ ^f شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف میانگین در ایران و دوز رفرنس EPA؛ ^g شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف میانگین در ایران و دوز رفرنس WHO؛ ^h شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف میانگین در سواحل شمال ایران و دوز رفرنس EPA؛ ^k شاخص HQ، بر اساس میزان مصرف میانگین در سواحل شمال ایران و دوز رفرنس WHO

بحث

میانگین غلظت جیوه کل موجود در بافت عضله در مطالعه حاضر ۱۱۹ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک بود. مقایسه این مقدار با سایر مطالعات مشابه انجام شده بر روی اردک ماهی و دیگر گونه‌ها به اختصار ارائه شده است. در پژوهشی که توسط Ghasemzadeh (۲۰۰۵) بر روی اردک ماهی تالاب انزلی صورت گرفته است، میانگین غلظت جیوه در بافت عضله ۵۸۶ میکروگرم بر کیلوگرم برآورد شده است که این مقدار در مقایسه با مطالعه کنونی دارای اختلاف نسبتاً زیادی بوده و می‌تواند بیانگر آلوده‌تر بودن تالاب در سال مذکور باشد. در مطالعه انجام شده توسط Zamani و همکاران (۲۰۱۴) میانگین غلظت جیوه عضله اردک ماهی ۱۳۶ میکروگرم بر کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است که این میزان تقریباً با داده‌ی مطالعه حاضر همخوانی دارد. البته لازم به ذکر است که کمترین مقدار میانگین غلظت جیوه عضله اردک ماهیان ۵ میکروگرم بر کیلوگرم وزن تر طی مطالعه Adel و همکاران (۲۰۱۶) به دست آمده است که در مقایسه با میانگین غلظت جیوه در مطالعه حاضر به وضوح کمتر است. نتایج مطالعه دیگری که در همین سال بر روی این تالاب انجام شده است، مقداری متفاوت را نسبت به مطالعه Adel و همکاران (۲۰۱۶) نشان می‌دهد (Astani et al., 2016). با مشاهده مقادیر غلظت‌های جیوه گزارش شده در دهه‌های اخیر می‌توان گفت که در مجموع، میانگین غلظت جیوه کل نسبت به سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است، اما هیچ قاعده کلی و ثابتی در این مورد (یعنی روند کاهشی) مشاهده نمی‌شود و نمی‌توان با اطمینان در مورد کمتر بودن میانگین غلظت جیوه کل، در سال‌های آتی اظهار نظر کرد. همچنین مقایسه غلظت‌های جیوه گزارش شده از بافت عضله اردک ماهی‌های سایر نقاط جهان نشان داد که در تمام این مطالعات مقادیر جیوه بیشتر از مقادیر به دست آمده در مطالعه حاضر است. به طوری که در مطالعه انجام شده در رودخانه Yukon از آلاسکا مقادیر جیوه در اردک ماهی بیش از ۶۳ برابر جیوه به دست آمده در مطالعه حاضر است (Jewett et al., 2003). همچنین مقادیر جیوه به دست آمده در اردک ماهی در مطالعه حاضر، کمتر از مقادیر به دست آمده در گونه‌های کپور معمولی (Astani et al., 2016)، سوف سفید (Manavi and Mazumder, 2018)، شاه کولی (Zolfaghari et al., 2006)، کولمه (Zolfaghari et al., 2018) و ماهی سفید (Astani et al., 2016) و (Manavi and Mazumder, 2018)؛ (Mazumder, 2018) و بیشتر از گونه‌های کاراس (Sakizadeh et al., 2012)، تیزکولی، شگ ماهی (Zolfaghari et al., 2018)، سوف حاجی طرخان (Noroozi, 2017) و کیلکا معمولی (Dadar et al., 2017) بود.

میانگین غلظت جیوه در گونه اردک ماهی از تمامی استانداردهای ارائه شده توسط سازمان‌های WHO ($500 \mu\text{g/kg ww}$)، EPA ($500-1000 \mu\text{g/kg ww}$)، کمیسیون اتحادیه اروپایی (EC) ($500-1000 \mu\text{g/kg ww}$)، FDA ($500 \mu\text{g/kg ww}$)، وزارت کشاورزی-شیلات و غذای انگلستان (MAFF) ($300 \mu\text{g/kg ww}$) (Gheytasi et al., 2014) و سازمان استاندارد ملی ایران ($500 \mu\text{g/kg}$) (Koshafar and Velayatzadeh, 2016)، کمتر بود و از این جهت احتمالاً خطری جدی سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید نمی‌کند اما برای ارزیابی دقیق‌تر و اطمینان بیشتر در این مقاله شاخص خطر (HQ) و میزان مجاز روزانه ماهی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در تمام نمونه‌ها، میزان HQ کمتر از یک بود و بیان‌کننده‌ی عدم وجود تهدیدی بالقوه برای سلامت انسان در صورت مصرف گونه‌ی مورد مطالعه است. شاخص خطر جیوه موجود در بافت خوراکی اردک ماهیان تالاب انزلی در پژوهش Adel و همکاران (۲۰۱۶) برای دو رده سنی کودکان و بزرگسالان کمتر از یک برآورد شده است.

در مطالعه حاضر، حداکثر میزان مجاز مصرف ماهی روزانه، هفتگی برای افراد بالغ و کودکان به همراه تعداد وعده‌های مجاز در ماه محاسبه شد. در صورت رعایت مقادیر محاسبه شده، انتظار می‌رود که خطری سلامت مصرف‌کنندگان را تهدید نکند. در سایر مطالعات انجام شده بر روی اردک ماهی، حد مجاز مصرف اردک ماهی صید شده از تالاب انزلی بر اساس دوز رفرنس EPA برای مردان، زنان، نوجوانان و کودکان به ترتیب ۳۲۰، ۲۷۰، ۱۲۵ و ۵۹ گرم در ماه تعیین شده است (Ghasemzadeh et al., 2010)، همچنین میزان وعده‌های مجاز اردک ماهی تالاب انزلی، دو وعده در ماه به دست آمده است (Molazadeh and Nozari, 2014) که به دلیل غلظت‌های بیشتر جیوه موجود در نمونه‌های صید شده اردک ماهی در آن سال‌ها، این مقادیر متفاوت از مقادیر مجاز به دست آمده در مطالعه حاضر است.

همچنین برای ارزیابی ریسک بالقوه سلامتی برای خود گونه اردک ماهی به علت وجود عنصر جیوه در بدنشان، از معیارهای مرتبط با اثرات سلامتی مشاهده شده در چندین گونه ماهی استفاده شد. معیارهای در نظر گرفته شده به این صورت است که غلظت جیوه در حد کمتر از ۰/۲ ppm در کل بدن ماهی دارای اثرات سلامتی اندک یا بدون اثر بوده و جیوه بیش از ۰/۲ ppm به طور بالقوه بر عملکرد بیوشیمیایی و بیان ژن اثر دارد. همچنین مقادیر جیوه بیش از ۰/۳ ppm به طور بالقوه دارای اثراتی بر رفتار، تولید مثل و بافت‌ها بوده و بیش از ۱/۰ ppm به طور بالقوه بر رشد اثر داشته و نیز سبب دیگر اثرات زیان آور خواهد شد (Lepak et al., 2016). نتایج تحقیق نشان داد که مقادیر جیوه در تمام نمونه های اردک ماهی کمتر از ۰/۲ ppm بود که این امر نشان دهنده عدم خطر سلامتی برای خود گونه است.

در مطالعه حاضر همبستگی معنی‌داری بین غلظت جیوه و ویژگی‌های ریخت‌شناسی وزن کل، طول کل بدن، طول چنگالی و طول استاندارد مشاهده نشد ($p > 0/05$). نتایج مشابهی نیز در سایر مطالعات انجام شده توسط Molazadeh and Nozari (۲۰۱۴) و Zamani و همکاران (۲۰۱۴) در اردک ماهی به دست آمد. در حالی که برخلاف نتایج این تحقیق، نتایج مطالعه Ghasemzadeh و همکاران (۲۰۱۰) بیانگر وجود ارتباط مستقیم بین میانگین غلظت جیوه کل در بافت عضله اردک ماهی ها با پارامترهای ریخت‌شناسی طول و وزن بدن بوده است. در کل با توجه به نتایج به دست آمده، به طور قطع نمی‌توان گفت که رابطه‌ای ثابت بین میزان جیوه و پارامترهای ریخت‌شناسی اردک ماهی وجود دارد. هرچند که به طور کلی بیان شده است که میزان جیوه در ماهی‌های بزرگ‌تر (طول و وزن بیشتر)، بیشتر از ماهی‌های کوچک‌تر هم‌نوع خود است.

با توجه به کمتر بودن میانگین غلظت جیوهی ($119 \mu\text{g kg}^{-1}$) به دست آمده در گونه مورد مطالعه نسبت به استانداردهای پیشنهادی سازمان‌های مختلف و با در نظر گرفتن شاخص ریسک به دست آمده ($HQ < 1$)، مصرف این گونه دارای خطر بالقوه بهداشتی برای مصرف‌کنندگان نمی‌باشد. در کل با توجه به مقادیر کمتر جیوه به دست آمده در این مطالعه نسبت به مطالعات مشابه بر روی اردک ماهی شاید بتوان نتیجه‌گیری کرد که احتمالاً آلودگی تالاب انزلی نسبت به دهه‌های گذشته کاهش یافته است، هرچند نتیجه‌گیری دقیق‌تر در این مورد، نیازمند تحقیقات گسترده‌تر و جامع‌تر می‌باشد. همچنین مشخص شد که مقادیر جیوه در اردک ماهی مطالعه حاضر، کمتر از اکثر گونه‌های ماهی صید شده از تالاب انزلی بود که این امر نیز نشان‌دهنده سالم بودن این منبع غذایی از جنبه عنصر سمی جیوه می‌باشد. در نهایت لازم به ذکر است که با توجه به گوشت‌خوار بودن این گونه و فرایند تجمع زیستی عنصر سمی جیوه، برای تضمین سلامت گونه‌های ماهی و افراد مصرف‌کننده باید تدابیر لازم جهت کاهش ورود آلاینده‌ها به تالاب اتخاذ گردد.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از طرح تحقیقاتی مورد حمایت "صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور" معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری با کد ۹۶۰۰۸۲۵۶ است.

منابع

- Adel, M., Dadar, M., Fakhri, Y., Oliveri Conti, G., Ferrante, M. 2016. Heavy metal concentration in muscle of pike (*Esox lucius* Linnaeus, 1758) from Anzali international wetland, southwest of the Caspian Sea and their consumption risk assessment. *Journal of Toxin Reviews*. 35(3-4): 217-223.
- Astani, E., Vahedpour, M., Babaei, H. 2016. Organic and total mercury concentration in fish muscle and thermodynamic study of organic mercury extraction in fish protein. *Journal of Ecopersia*. 4(3): 1517-1526.
- Dadar, M., Adel, M., Nasrollahzadeh Saravi, H., Fakhri, Y. 2017. Trace element concentration and its risk assessment in common kilka (*Clupeonella cultriventris* caspia Bordin, 1904) from southern basin of Caspian Sea. *Journal of Toxin Reviews*. 36(3): 222-227.
- Ghasemzadeh, G. 2005. Mercury bioaccumulation in pike (*Esox lucius*) food chain from Anzali lagoon, Iran. PhD thesis. Azad University. 63 p.

- Ghasemzadeh, G., Esmali Sari, A., Sharifpour, I., Vosoughi, G., Ghasempouri, S., Zolfaghari, G. 2010. Mercury bioaccumulation in pike (*Esox lucius*) from Anzali lagoon, Iran. *Journal of Iranian Scientific Fisheries*. 19(1): 97-110.
- Gheytsi, A., Hosseini, S.V., Ahmadi Kordestani, Z., Aghilinejhad, S.M., Shoghali, F. 2014. Determination of allowable levels of mercury in canned yellowfin tuna (*Thunnus albacares*). *Fisheries (Iranian Journal of Natural Resources)*. 67(2): 287-296.
- Jewett, S.C., Zhang, X., Naidu, A.S., Kelley, J.J., Dasher, D., Duffy, L.K. 2003. Comparison of mercury and methylmercury in northern pike and arctic grayling from western Alaska Rivers. *Journal of Chemosphere*. 50(3): 383-392.
- Khodadoust, A., Khara, H., Taghi Zadeh, V., Imanpoor, M.R. 2015. The histological study of ovarian development of pike (*Esox lucius*) Anzali wetland. *Journal of Animal Physiology and Development*. 8(2): 13-22.
- Koshafar, A., Velayatzadeh, M. 2016. Risk assessment to consumers from mercury in *Acanthopagrus latus*. *Journal of Food Hygiene*. 6(3): 21-33.
- Lepak, J.M., Hooten, M.B., Eagles-Smith, C.A., Tate, M.T., Lutz, M.A., Ackerman, J.T., Willacker Jr, J.J., Jackson, A.K., Evers, D.C., Wiener, J.G. 2016. Assessing potential health risks to fish and humans using mercury concentrations in inland fish from across western Canada and the United States. *Journal of Science of the Total Environment*. 571: 342-354.
- Malvandi, H., Sari, A.E., Aliabadian, M. 2014. Mercury contamination in khramulia (*Capoeta capoeta*) from the Cheshme Kile and Zarrin Gol Rivers in Iran and human health risk assessment. *Bulletin of Environmental Contamination and toxicology*. 93(4): 472-477.
- Manavi, P.N., Mazumder, A. 2018. Potential risk of mercury to human health in three species of fish from the southern Caspian Sea. *Journal of Marine Pollution Bulletin*. 130: 1-5.
- Molazadeh, N., Nozari, M. 2014. Study of mercury bioaccumulation in some organs of Anzali wetland pike (*Esox lucius*) and mercury concentration relation with total body length and sex. *Journal of Wetland Ecobiology*. 6(3): 49-58.
- Noroozi, M. 2017. Bioaccumulation study of toxic and essential metals in muscle, liver, and gills of *Perca fluviatilis* L. in Anzali wetland. *Journal of Wetland Ecobiology*. 9(1): 57-68.
- Sakizadeh, M., Sari, A.E., Abdoli, A., Bahramifar, N., Hashemi, S.H. 2012. Determination of polychlorinated biphenyls and total mercury in two fish species (*Esox lucius* and *Carassius auratus*) in Anzali wetland, Iran. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*. 184(5): 3231-3237.
- Salamat, N., Khalifi, K., Movahedinia, A. 2016. Health concerns related to consumption of fish from Anzali Wetland. *Clean-Soil, Air, Water*. 44(2): 115-123.
- Teymouri, B., Nabavi, S.M.B., Safaeyan, S., Khatami, S.H. 2012. Determining level of PCBs in skin and muscle tissue of *Cyprinus carpio* and *Esox lucius* in Anzali wetland (Abkenar). *Journal of Iranian Scientific Fisheries*. 21(3): 23-30.
- Zamani-Ahmadmashmoodi, R., Bakhtiari, A.R., Martín, J.A.R. 2014. Spatial relations of mercury contents in pike (*Esox lucius*) and sediments concentration of the Anzali wetland, along the southern shores of the Caspian Sea, Iran. *Journal of Marine Pollution Bulletin*. 84(1-2): 97-103.
- Zolfaghari, G., Esmali Sari, A., Ghasempouri, S., Ghorbani, F., Ahmadifard, N., Shokri, Z. 2006. The comparison of relation age, sex and weight with mercury concentration in different tissues of *Chalcalburnus chalcalburnus* from Anzali wetland. *Journal of Marine Science and Technology*. 5(3-4): 23-31.
- Zolfaghari, G., Safary, O., Atabati, A. 2018. Non-carcinogenic quantitative risk assessment of heavy metals in 8 fish species of Iranian international wetlands by EPA/WHO instructions. *Journal of Environmental Studies*. 44(1): 33-47.