



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

بررسی غلظت جیوه در آب و ماهی‌های سواحل جنوبی دریای خزر، ایران

محمد آبادی^۱، عباسعلی زمانی^{۱*}، عبدالحسین پری زنگنه^۱، یونس خسروی^۱، حمید بدیعی^۲

۱- گروه علوم محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

۲- گروه شیمی، دانشکده علوم، پردیس دانشگاهی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

اطلاعات مقاله:

چکیده

زمینه و هدف: آلودگی جیوه در اکوسیستم‌های دریایی یک تهدید بزرگ برای سلامت انسان در کشورهای توسعه یافته همانند ایران است. از جمله راه‌های ورود جیوه به بدن انسان مصرف ماهی و غذاهای دریایی است. پس از ورود جیوه به بدن انسان، جیوه به متیل جیوه تغییر می‌یابد و سبب اختلال‌هایی همچون اختلال‌های عصبی، نقص در باروری، نارسایی کلیه، بی‌ثباتی روانی، التهاب لثه، تشنج و تش می‌شود. هدف پژوهش حاضر اندازه‌گیری غلظت جیوه در اکوسیستم آبی دریای خزر (آب و ماهی) است تا بتوان نتیجه این مطالعه را در حفاظت از سلامت انسان و کاهش آسیب‌های ناشی از جیوه به‌کار گرفت.

روش بررسی: در این مطالعه به‌منظور ارزیابی غلظت جیوه در آب، از ۳۶ ایستگاه و از چهار گونه ماهی صید شده از سواحل جنوبی دریای خزر ۳۳ نمونه بافت کبد و ۳۳ نمونه بافت خوراکی جمع‌آوری شد. در سنجش غلظت جیوه در نمونه‌های آب و ماهی از دستگاه ولتامتر پلاروگراف و جذب اتمی کوره گرافیتی استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین غلظت جیوه در نمونه‌های آب $1.797 \mu\text{g/L}$ ، در بافت خوراکی ماهی $68.636 \mu\text{g/g.dw}$ و در بافت کبد $125.606 \mu\text{g/g.dw}$ است. نتایج حاصل از فاکتور تجمع زیستی نشان می‌دهد غلظت جیوه از آب به ماهی در دامنه ۱۴-۸۰ برابر قرار دارد و غلظت‌های بیشینه از جیوه در نمونه‌های آب و ماهی در سواحل غربی دریای خزر مشاهده شده است.

نتیجه‌گیری: بیش از ۵۸ درصد ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده از آب دریای خزر بر طبق استانداردهای US.EPA و SPPA به‌عنصر جیوه آلوده هستند و میانگین غلظت جیوه در نمونه‌های ماهی کمتر از استانداردهای WHO و EPA است.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۲
تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۶/۲۸
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۰۲
تاریخ انتشار: ۹۶/۰۹/۲۱

واژگان کلیدی: اکوسیستم‌های دریایی، دریای خزر، آلودگی آب، ماهی، جیوه

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

zamani@znu.ac.ir

مقدمه

دریای خزر، بزرگ‌ترین دریاچه جهان، یکی از مهم‌ترین دریاچه‌های دنیا از نظر اکولوژیک محسوب می‌شود و همواره جهت تامین غذا، ایجاد اشتغال و درآمد، مورد توجه جمعیت‌های ساحل‌نشین و دولت‌های حاشیه این بستر آبی قرار گرفته است. از آنجا که این دریاچه بدون راه خروجی، محیط زیست بسته‌ایی را تشکیل داده است، زمان ماند آلاینده‌ها در آن بسیار طولانی است و ورود آلاینده‌ها، تهدید جدی برای این دریاچه و آبزیان آن محسوب می‌شود. در این میان آلاینده‌های فلزی از جمله آلاینده‌های بسیار مهم محیط‌زیست این دریا محسوب می‌شوند (۱).

جیوه از جمله عنصرهایی است که نگرانی‌های محیط زیستی گسترده‌ای را در گستره جهانی به خود اختصاص داده است. انتشار آسان از طریق اتمسفر، ویژگی تجمع زیستی و سمیت بالا در حیات وحش و انسان، نگرانی‌های ناشی از حضور این عنصر در محیط زیست را دوچندان کرده است (۲). جیوه معدنی یکی از مهم‌ترین شکل‌های جیوه است که به فراوانی به اکوسیستم‌های آبی انتقال می‌یابد. پس از ورود جیوه معدنی به اکوسیستم‌های آبی، فعالیت میکروارگانیسم‌ها که یکی از مهم‌ترین عامل‌های تغییر جیوه معدنی به متیل جیوه است مسیر اصلی حضور جیوه در شبکه غذایی زنده زیست‌کره را هموار می‌کند (۳). مهم‌ترین عامل موثر در ورود جیوه به بدن انسان، تغذیه از ماهی‌های آلوده به متیل جیوه است (۴). در سال ۲۰۰۱ آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده آمریکا به منظور تعیین کیفیت آب دریا و حفظ بهداشت سلامت انسانی ناشی از مصرف ماهی، مقدار مجاز متیل جیوه موجود در بافت ماهیچه ماهی صید شده از محیط‌های آبی را $0.3 \mu\text{g/g.dw}$ عنوان کرد (۵). از طرفی ماهی به دلیل غنی بودن از اسیدهای چرب غیر اشباع همانند امگا ۳، ویتامین‌های D و B12، که نقش موثری در تکامل و کاهش بیماری‌های قلبی دارد و در یک رژیم غذایی سالم جایگاه بسیار مهمی به خود اختصاص داده است. با این وجود نگرانی‌ها در رابطه با حضور سم متیل جیوه در ماهی افزایش یافته است. چرا که مصرف ماهی یکی از عامل‌های اصلی در جذب روزانه متیل جیوه برای جمعیت‌های ساحلی و مرتبط با آن است (۶). از این رو بررسی غلظت جیوه در

اکوسیستم دریای خزر در دو بخش زنده (ماهی) و غیرزنده (آب) می‌تواند اطلاعات زمینه‌ای از سطح آلاینده‌گی جیوه را در اختیار جامعه انسانی مرتبط با این اکوسیستم قرار دهد و مدیریت و کنترل آسیب‌های محیط‌زیستی احتمالی ناشی از افزایش غلظت عنصر جیوه را در این اکوسیستم با چالش‌های کمتری روبرو سازد.

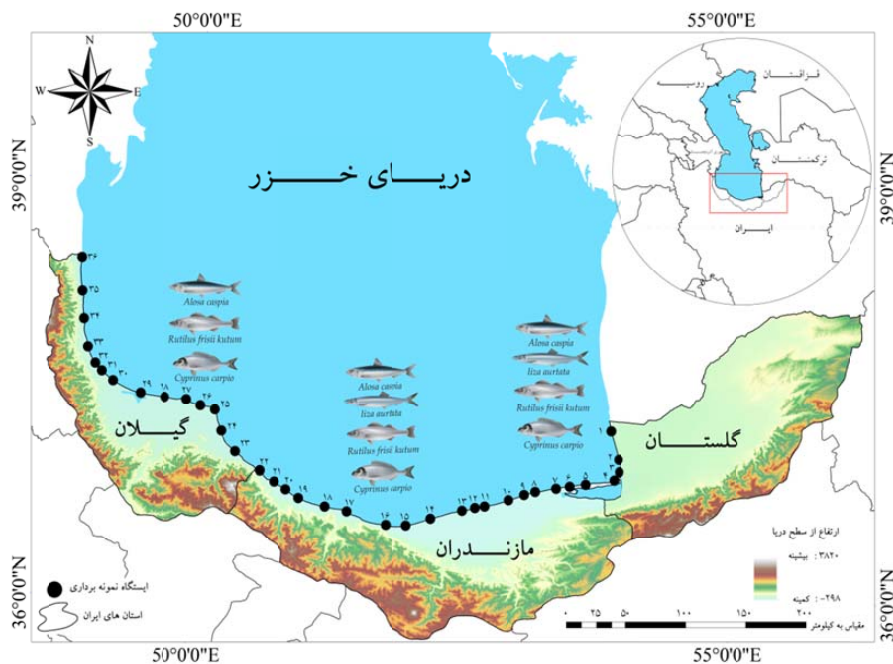
مواد و روش‌ها

در پژوهش پیش‌رو به منظور بررسی و ارزیابی غلظت جیوه در آب و چهار گونه از ماهیان استخوانی سواحل جنوبی دریای خزر نمونه‌گیری در دو بخش آب و ماهی صورت گرفت. نمونه‌گیری از آب با ۳۶ ایستگاه در طول سواحل جنوبی دریای خزر در سه موقعیت، سواحل جنوب شرقی، جنوب مرکزی و جنوب غربی در اواسط تابستان ۱۳۹۴ انجام پذیرفت. در انتخاب ایستگاه‌های نمونه‌برداری، پوشش‌دهی مناسب سواحل جنوبی خزر، دسترسی پذیری، تراکم جمعیت، حضور صنایع، امکان صید ماهی در ایستگاه، حضور رودخانه‌های منتهی به خزر و اطلاعات جوامع محلی ساکن در منطقه (مبنی بر حضور منبع آلوده کننده)، مورد توجه قرار گرفته است. برای تهیه یک نمونه مناسب در هر ایستگاه، پیش از نمونه‌برداری ظرف‌های نمونه‌گیری به‌طور کامل با محلول اسید نیتریک ۵ درصد، آب مقطر و در هر ایستگاه نیز، پیش از پرس شدن چند بار با آب دریا در همان نقطه شستشو داده شد و سپس مقدار 500 mL نمونه آب در ظرف‌های غیر شفاف جمع‌آوری شد. به منظور جلوگیری از فعالیت میکروارگانیسم‌ها و رسوب‌گذاری عنصر جیوه، به هر نمونه مقدار ۱-۳ قطره اسید نیتریک غلیظ (فوق خالص) اضافه شد. سپس نمونه‌های آبی در فلاسک مسافرتی حاوی یخ در دمای 4°C نگهداری و به آزمایشگاه تحقیقاتی علوم محیط زیست دانشگاه زنجان انتقال داده شد. در آزمایشگاه پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌های آبی از دستگاه ولتامتر-پلاروگراف مدل VA Computrace ۷۹۷ با حد تشخیص قسمت در تریلیون (ppt) استفاده شد (۷).

نمونه‌برداری از ماهیان استخوانی سواحل جنوبی دریای خزر از چهار گونه مهم، کپور معمولی (*Cyprinus carpio*)، ماهی سفید (*Rutilus frisina kutum*)، شگ‌ماهی

تا هضم بافت‌ها به‌طور کامل صورت بگیرد پس از مشاهده هضم اسیدی، نمونه‌ها توسط کاغذ صافی واتمن $\mu\text{m} 0/42$ صاف شدند و با آب مقطر به حجم $\text{mL} 25$ رسانده شد و با دستگاه جذب اتمی کوره گرافیتی (GF-AAS Varian SpectrAA ۲۲۰) با مقدار حد تشخیص $(\text{LOD}=1 \mu\text{g/kg})$ غلظت جیوه در نمونه‌ها مورد اندازه‌گیری قرار گرفت (۹). در تحلیل داده‌های بدست آمده از نرم افزار SPSS. 20 و Excel استفاده شد. با توجه به این موضوع که نتایج آزمون کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) نشان می‌دهد، داده‌های مطالعه حاضر (در نمونه‌های آب و ماهی) دارای توزیع غیرنرمال هستند. از آزمون‌های پارامتری کروسکال والیس (Kruskal-Wallis)، من ویتنی (Mann-Whitney)، پست هاک (Post-hoc) و توکی (Tukey) برای مقایسه روند تغییر غلظت جیوه در طول سواحل جنوبی دریای خزر در نمونه‌های آب و ماهی استفاده شد. محدودیت مطالعه حاضر عدم دسترسی به ماهی در تمام طول ساحل جنوبی دریای خزر بود که محقق ناگزیر به انتخاب ایستگاه‌های صیادی یا فروش مستقیم صید ماهی بود.

(*Alosa caspia*) و کفال (*Liza aurata*) صورت گرفت که سهم بسزایی از صید آبیان در بخش سواحل جنوبی دریای خزر را به خود اختصاص داده‌اند و نقش ویژه‌ای در تغذیه و اقتصاد جمعیت ساحل‌نشین دریای خزر ایفا می‌کنند (۸). نمونه‌های ماهی در ۳ اندازه مختلف و از سه استان گلستان، مازندران و گیلان (شکل ۱)، از نخستین بازارهای عرضه، پس از صید توسط صیادان، به‌طور مستقیم و بی‌واسطه از صیاد، در بهمن ماه ۱۳۹۴ برداشت شد. ایستگاه صیادان پس از بازگشت از صید ماهی شناسایی و برای اطمینان از مکان نمونه‌برداری از صیادان درباره ایستگاه صید نیز پرسش شد و پس از آن مختصات ایستگاه‌های صید ثبت گردید. به‌منظور تهیه نمونه مرکب، کل بافت کبد و بخشی از بافت خوراکی (بافت عضله از قسمت عضله در بخش بالایی بدن ماهی و زیر باله پشتی) به وسیله تیغ اسکالپل برداشت شد و در ادامه در کیسه‌های پلی‌اتیلنی نگهداری و در دمای 20°C - منجمد گردید. به‌منظور هضم اسیدی بهتر نمونه‌های ماهی، نمونه‌ها توسط هاون یکنواخت شدند و مقدار $0/5 \text{ g}$ از نمونه هموژن شده به درون لوله‌های هضم ریخته شد و سپس 3 mL اسید نیتریک فوق خالص و 1 mL آب هیدروژنه 35 درصد به آن اضافه شد



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده از آب در مطالعه حاضر

عمر یک فرد AT (70×365) نیاز است (۱۱). تعیین حد مجاز مصرف ماهی در یک دوره زمانی مشخص بدون عوارض ناشی از سرطانزایی متیل جیوه با استفاده از معادله ۳ مورد محاسبه قرار گرفته است.

$$\text{Meals / mo} = \frac{\text{RfD} \times \text{BW} \times 35.2 \times \text{Tap}}{\text{Cm} \times \text{Ms}} \quad (3)$$

با توجه به معادله ۳، تعداد وعده مصرف ماهی بدون عوارض سرطانزایی متیل جیوه در یک دوره زمانی مشخص مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در معادله ۳، RfD دوز مرجع متیل جیوه ($0.1 \mu\text{g}/\text{kg}$)، BW وزن بدن فرد، $35.2 \times$ فاکتور تبدیل اندازه وعده (oz/kg)، Tap میانگین دوره زمانی (در مطالعه حاضر ۳۰ روز)، Cm غلظت آلاینده اندازه‌گیری شده ($\mu\text{g}/\text{g.dw}$) و Ms اندازه وعده (مرد ۸ زن ۶، بچه‌های بزرگ ۴/۵ و بچه‌های کوچک ۳ oz) است (۱۲).

یافته‌ها

جیوه در نمونه‌های آب

خلاصه آماری داده‌های بدست آمده از غلظت فلز جیوه در نمونه‌های آب هر یک از ایستگاه‌ها در سه ناحیه غربی، مرکزی و شرقی دریای خزر در جدول ۱ آورده شده است. دامنه غلظت جیوه در طول سواحل جنوبی دریای خزر بین کمترین حد تشخیص دستگاه تا $5.923 \mu\text{g}/\text{L}$ است. بیشترین مقدار جیوه متعلق به ایستگاه ۲۷ واقع در ناحیه جنوب‌غربی سواحل دریای خزر و کمینه مقدار اندازه‌گیری شده، کمتر از حد تشخیص دستگاه در هر یک از سه ناحیه سواحل جنوبی دریای خزر مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه غلظت جیوه در نمونه‌های آب با استاندارد آژانس حفاظت از محیط زیست (US.EPA) مربوط به آب‌های شور (با مقدار عددی $0.850 \mu\text{g}/\text{L}$) و استاندارد سازمان حفاظت از محیط زیست کشور چین (SPPA) (در سطوح ۱، ۲، و ۳ به ترتیب با مقادیر 0.05 ، 0.2 ، و $0.50 \mu\text{g}/\text{L}$) نشان می‌دهد که در بیش از ۵۸ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه غلظت جیوه از هر یک از استانداردهای نام برده شده فراتر است (۱۳، ۱۴).

شاخص تجمع زیستی (Bioaccumulation Factor) ((BAF)) دو مفهوم مهم تغییر بوم‌شناختی و اعمال تغییر بوم‌شناختی را به یک پژوهشگر منتقل می‌کند. تغییر بوم‌شناختی در حقیقت بازگوکننده، تفاوت در جذب و تجمع جیوه است. اعمال تغییر بوم‌شناختی نیز با تفاوت در نوع گونه، نوع بافت، وزن، طول، موقعیت تغذیه‌ای، فصل جمع‌آوری، جنس، سن مشخص می‌شود. بنابراین کمینه‌سازی تغییر و آگاهی از روش تغییر، در مدیریت اکوسیستم یک الزام حیاتی است. در مطالعه حاضر شاخص تجمع زیستی فلز جیوه در گونه، اندازه و بافت‌های متفاوت با توجه به معادله ۱ مورد محاسبه قرار گرفته است.

$$\text{BAF} = C_b / C_w \quad (1)$$

در معادله ۱، BAF شاخص تجمع زیستی، C_b میانگین غلظت جیوه در ماهی به ($\mu\text{g}/\text{kg.dw}$) و C_w میانگین غلظت جیوه ($\mu\text{g}/\text{L}$) در نمونه‌های آب در منطقه مورد مطالعه است (۵). با افزایش روند آلودگی اکوسیستم‌های آبی، کیفیت منابع غذایی حاصل از آنها دستخوش تغییراتی شده است که امروزه مصرف این آبزیان را با نگرانی‌های جدی مواجه کرده است. در این راستا استفاده از شاخص‌های مختلف از جمله احتمال خطرپذیری افراد به بیمارهای غیر سرطانی (۱۰) و بیشینه مصرف مجاز در یک دوره زمانی مشخص بدون عوارض ناشی از سرطانزایی، راه‌گشایی مناسب در مصرف محصولات دریایی بدون هر گونه نگرانی است. در مطالعه حاضر از معادله ۲ نسبت خطر هدف (Target Hazard Quotient) ناشی از مصرف ماهی (نسبت غلظت یک عنصر به بیشینه غلظت از همان عنصر) مورد محاسبه قرار گرفته است.

$$\text{THQ} = \frac{\text{EF} \times \text{ED} \times \text{IR} \times \text{C}}{\text{BW} \times \text{RfD} \times \text{AT}} \quad (2)$$

در نسبت خطر هدف (THQ) جیوه، به فرکانس مواجهه EF (365 روز در سال)، کل مدت زمان مواجهه ED (70 سال)، نرخ مصرف روزانه IR ($32/57$)، دوز مرجع فلز RfD (ارائه شده توسط EPA مقدار $0.1 \mu\text{g}/\text{kg}_{\text{wt}}/\text{day}$ وزن بدن در روز برای متیل جیوه)، وزن فرد BW (g) و میانگین روزهای

جدول ۱- خلاصه آماری مقدار جیوه اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب سواحل جنوبی دریای خزر

کل سواحل دریای خزر	جیوه ($\mu\text{g/L}$)			پارامتر
	ساحل جنوب غربی	ساحل جنوب مرکزی	ساحل جنوب شرقی	
ND	ND	ND	*ND	کمینه
۵/۹۲۳	۵/۹۲۳	۴/۳۸۵	۴/۷۲۷	بیشینه
۱/۶۹۷	۲/۳۹۱	۱/۵۸۴	۱/۱۰۵	میانگین
۱/۷۰۷	۱/۹۶۵	۱/۵۵۲	۱/۵۱۷	انحراف استاندارد

*پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه، اندازه‌گیری‌ها میانگین ۳ تکرار

به منظور پیشگیری از بروز بیماری و حفظ سلامت جامعه بشری حد مجاز جیوه در بافت خوراکی ماهی، توسط سازمان‌های متفاوتی در سراسر جهان ارائه شده است. بررسی حد مجاز جیوه با توجه به استانداردهای سازمان بهداشت جهانی ($\text{WHO}: 0/5 \mu\text{g/g.dw}$) و آژانس حفاظت از محیط زیست ($\text{EPA}: 0/3 \mu\text{g/g.dw}$) نشان می‌دهد که میانگین جیوه در تمام نمونه‌های بافت خوراکی در هر یک از گونه‌های ماهی کمتر از حد مجاز استانداردهای نام برده شده هستند (۱۵). اما غلظت‌های فراتر از حد مجاز در گونه‌های شگ‌ماهی و کفال مشاهده شده است.

نتایج حاصل از مقایسه غلظت جیوه در دو بافت کبد و خوراکی ماهیان مورد مطالعه با توجه به آزمون من ویتنی نشان می‌دهد تفاوتی در مقدار جیوه در بین دو بافت، در گونه‌های

نتایج آزمون کروسکال والیس حاکی از وجود تفاوت معنی‌دار در غلظت جیوه در سه ناحیه است که با توجه به این مهم، از آزمون پست‌هاک، روش توکی، برای بررسی بیشتر اختلاف بین گروه‌ها، استفاده شد. نتایج حاصل روند تغییر کاهشی غلظت جیوه ($p < 0/05$) از سواحل غربی به سمت سواحل شرقی دریای خزر را نشان می‌دهند.

جیوه در نمونه‌های ماهی

جدول ۲ خلاصه آماری نتایج حاصل از سنجش غلظت جیوه در ماهیان سه ناحیه از سواحل جنوبی دریای خزر را نشان می‌دهد. بیشینه غلظت جیوه در بافت کبد، در گونه ماهی سفید با اندازه بزرگ و در بافت خوراکی در گونه کفال با اندازه بزرگ در ناحیه جنوب غربی سواحل دریای خزر مشاهده شده است.

جدول ۲- خلاصه آماری غلظت جیوه ($\mu\text{g/g.dw}$) در ماهیان سواحل جنوبی دریای خزر

انحراف استاندارد	بافت خوراکی			انحراف استاندارد	بافت کبد			گونه
	میانگین	کمینه	بیشینه		میانگین	کمینه	بیشینه	
۴۸/۱۸۵	۲۳/۸۸۸	ND	۱۴۰/۰۰۰	ND	ND	ND	*ND	کپور
۷۱/۱۷۶	۳۵/۵۵۵	ND	۲۰۵/۰۰۰	۵۰۱/۲۶۸	۲۲۵/۵۵۵	ND	۱۵۷۰/۰۰۰	ماهی سفید
۲۶۸/۷۴۳	۱۰۱/۶۶۶	ND	۸۴۵/۰۰۰	۴۷۱/۱۴۸	۱۷۵/۰۰۰	ND	۱۴۸۰/۰۰۰	شگ‌ماهی
۳۱۲/۵۴۱	۱۳۵/۸۳۳	ND	۸۱۵/۰۰۰	۹۷/۸۴۴	۹۰/۰۰۰	ND	۲۴۰/۰۰۰	کفال

*پایین‌تر از حد تشخیص دستگاه، اندازه‌گیری‌ها میانگین ۳ تکرار

اختلاف معنی دار را نشان می دهند که اختلافها همانند روند تغییر غلظت جیوه مورد بحث در ماهیان است. خطرات ناشی از مصرف ماهی توسط نسبت خطر هدف برای گونه کفال؛ ۰/۶۳، شگ ماهی؛ ۰/۴۹، ماهی سفید؛ ۰/۱۷ و کپور؛ ۰/۱۱ محاسبه شد و با توجه به این موضوع که مقدار نسبت خطر هدف (THQ > ۱) برای هر یک از گونهها کمتر از سطح نگران کننده است، مصرف این ماهیها سلامت انسان را به خطر نمی اندازد ولی مصرف آنها باید مدیریت شود. نتایج بدست آمده از محاسبه بیشینه مصرف قابل قبول ماهانه بدون عوارض ناشی از سرطانزایی جیوه با استفاده از معادله ۳، برای گروههای وزنی میانگین جامعه در جدول ۳ ارائه گردیده است. نتایج به صورت تعداد وعده مجاز مصرف ماهانه برای گروههای وزنی میانگین جامعه از جمله کودکان، نوجوانان، زنان و مردان به ترتیب با میانگین وزنی ۱۵، ۳۰، ۶۵ و ۷۸ kg در اندازه وعده غذایی مناسب برای هر یک از ۴ گونه محاسبه گردید.

بحث

در مطالعه حاضر بیشینه غلظت جیوه در نمونههای آب در بخش سواحل جنوب شرقی دریای خزر، در ایستگاه ۷ مشاهده شده است، این ایستگاه در فاصله اندکی از رودخانه نکا قرار دارد. از جمله عواملهای غلظت زیاد جیوه در این ناحیه را می توان به فعالیت معدنی در حوضه آبخیز رودخانه نکا، در معادن زغال سنگ و دپوی زغال سنگ در این رودخانه اشاره کرد. همچنین فعالیت های صنعتی کارخانه چوب مازندران

کفال، شگ ماهی و ماهی سفید مشاهده نمی شود. اما در گونه کپور معمولی تفاوت حاصل شده نشان از بیشتر بودن مقدار میانگین رتبه ای جیوه در بافت خوراکی در مقایسه با بافت کبد است ($p < 0/05$). بررسی وجود یا عدم اختلاف معنی دار بین پارامترهای مورد پژوهش قرار گرفته در نمونههای ماهی با توجه به آزمون کرومکال والیس و آزمون توکی نشان می دهد در سه ناحیه صید ماهیان، غلظت جیوه در بافت ماهیچه بدون اختلاف و در بافت کبد اختلاف نشان دهنده روند کاهش در مناطق مختلف به ترتیب جنوب غربی < جنوب مرکزی < جنوب شرقی است ($p < 0/05$). در بین گونهها نتایج آزمون کرومکال والیس نشان می دهد در بافت کبد اختلاف موجود از روند ماهی سفید < شگ ماهی < کفال < کپور پیروی می کند و در بین اندازههای مختلف (تفاوت در طول و وزن) نتایج آزمون توکی حاکی از آن است که غلظت جیوه در اندازه بزرگ در گروهی جداگانه از اندازههای دیگر قرار گرفته است ($p < 0/05$).

اطلاعات حاصل شده از فاکتور تجمع زیستی نشان می دهد که روند تغییر این فاکتور (میانگین جیوه کل در دو بافت کبد و ماهیچه) در بین گونهها به صورت شگ ماهی (۸۱/۵۱) < ماهی سفید (۷۶/۹۳) < کفال (۶۶/۵۳) < کپور معمولی (۷/۰۳) است. بررسی با جزییات بیشتر با توجه به پارامترهای زیستی همچون بافت، ناحیه نمونه برداری، اندازه و گونه نشان داد که در بافت خوراکی، پارامتر اندازه (اندازه بزرگ) و در بافت کبد پارامترهای گونه (ماهی سفید < شگ ماهی < کفال < کپور) و ناحیه (روند کاهش از جنوب غربی به سمت جنوب شرقی)

جدول ۳- مقدار وعدههای مجاز بدون عوارض ناشی از سرطانزایی متیل جیوه در ماهی

گونه ماهی	مرد	زن	نوجوانان	کودکان
کپور معمولی	بیش از ۲۰ وعده	بیش از ۲۰ وعده	بیش از ۲۰ وعده	بیش از ۲۰ وعده
ماهی سفید	بیش از ۱۵ وعده	بیش از ۱۵ وعده	بیش از ۱۵ وعده	بیش از ۱۵ وعده
کفال	۷ وعده	۸ وعده	۵ وعده	۳ وعده
شگ ماهی	۱۰ وعده	۱۱ وعده	۷ وعده	۵ وعده

کرد. در پژوهش‌های صورت گرفته در راستای سنجش غلظت جیوه در بافت خوراکی، پژوهش‌های Nasrollahzadeh Saravi (۲۰۱۰) ماهی کپور (۲۳)، Varedi (۲۰۱۰) ماهی سفید و کفال (۲۲)، Mehri Asiabar و همکاران (۲۰۱۶) کفال (۱۰)، Hosseini و همکاران (۲۰۱۱) ماهی سفید (۲۴) نشان می‌دهد عامل‌های تفاوت در غلظت جیوه ماهیان دریای خزر اندازه، بافت، جنسیت، محل نمونه‌برداری و نوع تغذیه است که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه که از این پژوهش حاصل شد می‌توان گفت در نمونه‌های آب بیش از ۵۸ درصد از ایستگاه‌ها با توجه به غلظت مجاز ارائه شده توسط استانداردهای جهانی به عنصر جیوه آلوده هستند. غلظت‌های بیشینه جیوه (نمونه‌های آب) در ایستگاه‌های ۷، ۱۷، ۲۷ و ۲۸ در واقع بازگو کننده سهم به‌سزای آلودگی‌های صنعتی، کشاورزی، شهری و روستایی در افزایش غلظت جیوه در سواحل جنوبی دریای خزر است. روند و نسبت تغییر غلظت جیوه از آب به بافت خوراکی ماهی به صورت کفال (۸۰ برابر) < شگ ماهی (۶۰ برابر) < ماهی سفید (۲۱ برابر) < کپور (۱۴ برابر) است. داده‌های مطالعه حاضر نمایانگر افزایش قابل توجه غلظت جیوه از آب به ماهیان (تجمع زیستی) در اکوسیستم دریای خزر است. نتایج حاصل از نسبت خطر هدف و مقدار وعده‌های مجاز در یک دوره زمانی مشخص، مدیریت مصرف به‌خصوص در گونه‌های کفال و شگ ماهی و کنترل دوره‌ای غلظت جیوه در ماهیان خزر را می‌طلبد. از آنجایی‌که دریای خزر نقش بسیار مهمی در تغذیه، اقتصاد و سیاست جوامع مرتبط با آن دارد. غلظت‌های مشاهده شده عنصر جیوه در نمونه‌های آب و ماهی تایید می‌کند که این اکوسیستم تحت فشار آسیب‌های محیط‌زیستی قرار دارد که ناشی از زیاده‌خواهی جامعه انسانی استقرار یافته در حاشیه این اکوسیستم آبی نسبت به منابع طبیعی است. از طرفی غنی بودن منابع فسیلی در اکوسیستم خزر وابستگی دولت‌های حاشیه دریای خزر را دوچندان کرده است و چشم‌پوشی دولت‌ها از این منابع را دور از انتظار می‌کند.

و صنعت سیمان در حوضه آبخیز رودخانه نکا از عامل‌های اثرگذار دیگر هستند (۱۶، ۱۷). در بخش مرکزی سواحل جنوبی دریای خزر، مصب رودخانه چالوس (ایستگاه ۲۷) بیشینه مقدار جیوه را به خود اختصاص داده است. می‌توان از عامل‌های غلظت زیاد جیوه در مصب رودخانه چالوس را به تمرکز بالای معادن و صنایع مختلف شامل؛ معادن سرب، گرانیت، سیلیس، کارخانه تغلیظ سرب و روی و کارخانه باریت لیت نسبت داد. اگرچه در این معادن کانی اصلی جیوه حضور ندارد ولی برداشت‌های غیر اصولی، خردایش سنگ‌ها و به دنبال آن تسریع فرسایش صورت گرفته، مقدارهای کم جیوه که به‌صورت نمک‌های سولفیدی در کانی‌های باریت حضور دارند را وارد محیط‌های آبی و اتمسفری می‌کنند و به دنبال آن از طریق رودخانه‌ها و ذرات غباری به دریای خزر انتقال داده می‌شوند. از عامل‌های دیگر می‌توان به فاضلاب‌های شهری و خانگی و فاضلاب‌های کشاورزی اشاره کرد چرا که در ساحل چالوس تردد زیاد خودروها (پر ترددترین جاده‌های گردشگری به شهرهای چالوس و نوشهر)، فاصله بسیار کم جاده با دریا و استقرار فشرده منطقه‌های مسکونی و کشاورزی در این منطقه می‌تواند غلظت فلز جیوه را افزایش دهد (۱۸).

در ناحیه سواحل جنوب غربی در ایستگاه ۲۷، مصب رودخانه سفیدرود و ایستگاه پس از آن (ایستگاه ۲۸) غلظت‌های بیشینه جیوه مشاهده شده است. می‌توان گفت غلظت جیوه در مصب سفیدرود، با آلودگی‌های ناشی از مزرعه‌های کشاورزی در حوضه این رودخانه در ارتباط است (۱۹). دلیل دیگر حضور عنصر جیوه، آلودگی کشورهای دیگر حاشیه خزر به ویژه جمهوری آذربایجان است که توسط جریان‌های آبی به سواحل کشور ایران منتقل می‌شوند (۲۰).

مرور پژوهش‌های پیشین در نمونه‌های آب با مطالعه حاضر نشان می‌دهد که مقدار جیوه در نمونه‌های آب در محدوده پژوهش‌های صورت گرفته توسط Nasrollahzadeh Saravi و همکاران (۲۱) و Varedi (۲۲) هستند و مقدار اندک تفاوت غلظت جیوه نمونه‌های آب در مطالعه‌های صورت گرفته را می‌توان به ناحیه‌ای بودن برخی مطالعه‌ها که می‌تواند با توجه به تمرکز ناحیه‌ای کشاورزی، تردد متمرکز نفت کش‌ها، تراکم جمعیت و تمرکز گردشگری صورت گرفته است اشاره

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان "پراکنش و غنی‌شدگی فلزهای سنگین در آب، رسوب و ماهی در سواحل جنوبی دریای خزر" در مقطع کارشناسی ارشد سال ۱۳۹۵ با کد ۱۷۴۱۹ گروه علوم محیط زیست است که با حمایت معاونت‌های پژوهشی و آموزشی دانشگاه زنجان اجرا شده است.

منابع

1. Mashroofeh A, Bakhtiari AR, Pourkazemi M, Rasouli S. Bioaccumulation of Cd, Pb and Zn in the edible and inedible tissues of three sturgeon species in the Iranian coastline of the Caspian Sea. *Chemosphere*. 2013;90(2):573-80.
2. Xu X, Wang W-X. Mercury exposure and source tracking in distinct marine-caged fish farm in southern China. *Environmental Pollution*. 2017;220:1138-46.
3. Cipro CV, Montone RC, Bustamante P. Mercury in the ecosystem of Admiralty Bay, King George Island, Antarctica: occurrence and trophic distribution. *Marine Pollution Bulletin*. 2017;114(1):564-70.
4. Khoshnamvand M, Kaboudvandpour S, Ghiasi F. A Survey on Accumulated Mercury in Different Tissues of Silver Carp (*Hypophthalmichthys Molitrix*) from Sanandaj Gheshlagh Dam. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;3(3):291-98 (in Persian).
5. Eikenberry BCS, Riva-Murray K, Knightes CD, Journey CA, Chasar LC, Brigham ME, et al. Optimizing fish sampling for fish-mercury bioaccumulation factors. *Chemosphere*. 2015;135:467-73.
6. Okati N, Esmaili Sari A, Ghasempouri M. Examination of mercury concentration in the hair of breast-feeding mothers and relation to fish diet, number of dental amalgam filling, age and place of live. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;3(3):327-34 (in Persian).
7. Bonfil Y, Brand M, Kirowa-Eisner E. Trace determination of mercury by anodic stripping voltammetry at the rotating gold electrode. *Analytica Chimica Acta*. 2000;424(1):65-76.
8. Fazli H, Nasrollahzadeh Saravi H, Pourang N, Roohi A, Eslami F. Assessment of Mnemiopsis leidyi

می‌توان گفت از راهکارهای مناسب، مدیریت صحیح در کنار استفاده از تجهیزات نوپا در استخراج و استفاده از منابع طبیعی این اکوسیستم و همچنین کنترل زمانی و مکانی آلاینده‌ها در بخش‌های مختلف این اکوسیستم است.

- on catch structure of fish in southern part of the Caspian Sea. *Fisheries Science & Technology (Scientific Research Quarterly)*. 2017;5(4):111-27 (in Persian).
9. Monroy M, Maceda-Veiga A, de Sostoa A. Metal concentration in water, sediment and four fish species from Lake Titicaca reveals a large-scale environmental concern. *Science of the Total Environment*. 2014;487:233-44.
10. Mehri Asiabar Z, Taghavi L, Valinassab T, Pourgholam R. Measuring concentration of heavy metals (Pb, Cd, Hg) in tissue of *Liza saliens* and risk assessment associated with its use (Case study: Coastal waters of the Caspian Sea). *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;18(3):225-39 (in Persian).
11. Sadeghi Bajgiran S, Pourkhabbaz A, Hasanpour M, Sinka Karimi M. A study on Zinc, Nickel, and Vanadium in fish muscle of *Alosa caspia* and *Sander lucioperca* and food risk assessment of its consumption in the southeast of the Caspian Sea. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;8(4):423-32 (in Persian).
12. Esmaili-Sari A, Abdollahzadeh E, Joorabian Shooshtari S, Ghasempouri SM. Fish consumption limit for mercury compounds. *Journal of Fasa University of Medical Sciences*. 2011;1(2):24-31 (in Persian).
13. USEPA. Quality criteria for water. Washington DC: Office of Water Regulations and Standards; United States Environmental Protection Agency; 1986 May. Report No.: EPA 440/5-86-001.
14. Peng S. 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 Pol-*

- lution Bulletin. 2015;95(1):445-51.
15. Ahmadi Kordestani Z, Hamidian AH, Hosseini SV, Ashrafi S. Risk assessment of mercury due to consumption of edible aquatic species. *Journal of Marine Biology*. 2014;5(17):63-70 (in Persian).
 16. Darivasi S, Saeb k, Mollashahi M. Effects of distance from pollutant sources on heavy metal concentrations around Neka cement factory soil. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2016;17(4):33-44 (in Persian).
 17. Maghsoudi A, Vanaei M, Yazdi M. Heavy metal pollution in stream sediment of the Neka river, N Iran. *Iranian Journal of Environmental Geology*. 2015;24(95):167-74 (in Persian).
 18. Varedi SE, Karbassi AR. Determinations the amount of heavy metals in the Chalus River. Tehran: Iranian Fish Science Research Institute; 1997 (in Persian).
 19. Yousefi Falakdehy A, Golparvar GH, Safdel H, Lashtneshahi MA. Studying pollution of Zilakyrood river in Guilan province, Iran. *Iranian Water Research Journal*. 2012;6(10):197-202 (in Persian).
 20. De Mora S, Sheikholeslami MR, Wyse E, Azemard S, Cassi R. An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*. 2004;48(1):61-77.
 21. Nasrollahzadeh Saravi H, Najafpour S, Rezaei M, Solaimaniroudi A. Temporal and spatial of heavy metals concentrations (Zn, Cu, Ni, Pb, Cd and Hg) in Iranian coastal waters of the Southern Caspian Sea. *Journal of Marine Biology*. 2014;6(21):1-11 (in Persian).
 22. Varedi SE. Study on heavy metals metals, oil hydrocarbons, organochloro pesticides and detergent pollutants) in the water, sediment and fish in the Southern Caspian Sea (2008-2009)-Final report. Sari: Caspian Sea Ecology Research Center; 2010 (in Persian).
 23. Nasrollahzadeh Saravi H, Pourgholam R, Pourang N, Rezaei M, Makhloogh A, Unesipour H. Heavy metal concentrations in edible tissue of *Cyprinus carpio* and its target hazard quotients in the Southern Iranian Caspian Sea Coast,(2010). *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2013;23(103):33-44 (in Persian).
 24. Hosseini SM, Mirghaffari N, Hosseini SV. Risk assessment of mercury due to consumption of kutum of the Caspian Sea (*Rutilus frisii kutum*) in Mazandaran Province. *Journal of Fisheries*. 2011;64(3):243-57 (in Persian).



Available online: <http://ijhe.tums.ac.ir>

Original Article



Mercury concentration in water and fish samples along south coast of The Caspian Sea

M Abadi¹, AA Zamani^{1,*}, A Parizanganeh¹, Y Khosravi¹, H Badiiee²

1- Department of Environmental Science, Faculty of Sciences, University of Zanjan, Zanjan, Iran

2- Department of Chemistry, Faculty of Science, University Campus, Guilan University, Rasht, Iran

ARTICLE INFORMATION:

Received: 3 July 2017
Revised: 19 September 2017
Accepted: 24 September 2017
Published: 12 December 2017

Key words: Marine ecosystems, Caspian Sea, Water pollution, Fish, Mercury

***Corresponding Author:**

zamani@znu.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objective: Mercury (Hg) contamination in marine ecosystems is a major threat to human health in the developing countries like Iran. The main route of mercury exposure is from consumption of fish and seafood. Upon entering mercury in human bodies, Hg is converted into methyl mercury, which may lead to serious implications including neurological disorders, reproductive abnormalities, kidney failure, emotional instability, gingivitis and tremors. Therefore, research on mercury concentrations in marine ecosystems (water and fishes) can be help to protect human health and reduce the risks of mercury contamination.

Materials and Methods: In this study in order to evaluate the concentrations of Hg in water and fish, water samples (36 stations), fish tissue livers (n=33) and muscles (n=33) of four fish species from the Caspian Sea (southern coasts) were collected and analyzed. For determination of Hg in water and fish samples, Voltammetry and GF-AAS techniques were used, respectively.

Results: The results showed that the average Hg concentration detected in water samples was 1.657 ($\mu\text{g/L}$) and in fish muscle and liver tissues were 68.636 and 125.606 ($\mu\text{g/g.dw}$), respectively. The bioaccumulation factor showed that mercury concentrations from water to fish are in the range of 14 to 80 times. The highest levels of mercury in water and fish were observed in the southwest coasts of the Caspian Sea.

Conclusion: According to USEPA and SPPA (China) standards, more than 58 % of the water samples collected from the southern coasts of the Sea was polluted by mercury. However, the average concentrations of mercury in fish samples were less than the standards by WHO and EPA.