

Bioaccumulation of Total and Organic Mercury in Goldfish (*Carassius auratus gibelio*) in Anzali Wetland, and Assessment of Health Risks

Shohreh Alidoust¹,
Abbas Esmaeili Sari²,
Nader Bahramifar³

¹ Student, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marin Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Profesor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marin Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

³ Assitant Profesor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marin Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

(Received July 27, 2014; Accepted December 14, 2014)

Abstract

Background and purpose: Mercury contamination is still a threat to the environmental and public health in both developed and developing countries. The aim of this study was to determine the total and organic mercury content in the muscle of goldfish (*Carassius auratus gibelio*) obtained from the east and west of Anzali Wetland. We also assessed the health risks involved in consumption of this fish.

Materials and methods: Twenty goldfish were collected from the east and west of Anzali Wetland. Total mercury concentrations were determined using Advanced Mercury Analyzer (AMA 254), and organic mercury concentrations in the muscle were also determined by AMA 254 following acid digestion and extraction with toluene.

Results: Total mercury and organic mercury concentrations in the muscles tissue of goldfish collected from the east of Anzali wetland were significantly higher (106.97 ± 56.92 ng/g ww and 88.00 ± 45.41 ng/g ww) than those obtained from west of the wetland (45.50 ± 16.88 ng/g ww and 40.62 ± 14.32 ng/g ww). Also, significant positive correlations were found between concentrations of total and organic mercury and the amount of lipid.

Conclusion: The mean concentrations of total mercury in all fish samples did not exceed the maximum level recommended by the World Health Organization for human consumption (0.5 mg g⁻¹ ww). However, the maximum number of allowable consumption of fish per month in east and west of the wetland for children were found 3 and 5, respectively and for adults these allowable numbers were 13 and 25, respectively.

Keywords: Anzali Wetland, Goldfish, Organic mercury, Total mercury

تجمع زیستی جیوه کل و جیوه آلی در ماهی کاراس (Carassius auratus gibelio) تالاب انزلی و ارزیابی خطرات سلامتی

شهره علی دوست^۱
عباس اسماعیلی ساری^۲
نادر بهرامی فر^۳

چکیده

سابقه و هدف: آلودگی جیوه هنوز هم تهدیدی برای محیط زیست و بهداشت عمومی در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه محسوب می شود. هدف از این تحقیق تعیین جیوه کل و آلی در بافت عضله ماهی کاراس در دو منطقه غرب و شرق تالاب انزلی، ارزیابی خطر سلامت مصرف این ماهی و تعیین وعده های مجاز مصرف ماهی در هر ماه است.

مواد و روش ها: بیست عدد ماهی کاراس در هر منطقه غرب و شرق تالاب جمع آوری شدند. غلظت جیوه کل با استفاده از دستگاه آنالیز جیوه پیشرفته (AMA 254) تعیین شد، در صورتی که جیوه آلی در بافت عضله بعد از هضم اسیدی و استخراج در تولوئن با استفاده از دستگاه AMA 254 اندازه گیری شد.

یافته ها: غلظت جیوه کل و آلی در بافت عضله ماهی کاراس منطقه شرق تالاب ($56/92 \pm 106/97$ و $45/41 \pm 88/00$ نانوگرم بر گرم وزن تر) به طور معنی داری بیشتر از همان غلظت ها در ماهی های منطقه غرب تالاب ($16/88 \pm 45/50$ و $14/32 \pm 40/62$ نانوگرم بر گرم وزن تر) بودند. همچنین همبستگی مثبت و معنی داری بین جیوه کل و آلی با میزان چربی یافت شد.

استنتاج: اگرچه میانگین غلظت های جیوه کل در ماهی ها از حد بیشینه توصیه شده از سوی سازمان بهداشت جهانی برای مصرف انسان ($0/5$ میلی گرم بر گرم وزن تر) بالاتر نبود، ولی میزان مجاز مصرف ماهی کاراس برای کودکان و بزرگسالان در بخش شرقی به ترتیب ۳ و ۱۳ و بخش غربی به ترتیب ۵ و ۲۵ وعده در ماه به دست آمد.

واژه های کلیدی: جیوه کل، جیوه آلی، ماهی کاراس، تالاب انزلی.

مقدمه

آخرین پذیرنده آلاینده ها از اهمیت ویژه ای برخوردار هستند. در شمال کشور به دلیل شرایط اقلیمی خاص آن آلودگی رودخانه ها و تالاب ها یکی از معضلات عمده به شمار می رود. یکی از این اکوسیستم های در معرض خطر تالاب انزلی است. این تالاب به عنوان تالابی

امروزه به دلیل افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش فعالیت های کشاورزی و صنعتی میزان پساب های شهری و صنعتی نیز افزایش یافته است و به دلیل عدم مدیریت صحیح آن در چند دهه اخیر مشکلات محیط زیستی فراوانی رخ داده است. اکوسیستم های آبی به عنوان

مؤلف مسئول: نادر بهرامی فر - مازندران - نور - بلوار امام رضا - دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی - دانشگاه تربیت مدرس
Email: n.bahramifar@modares.ac.ir

۱. دانشجوی گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۵ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۳/۷/۱ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۹/۲۳

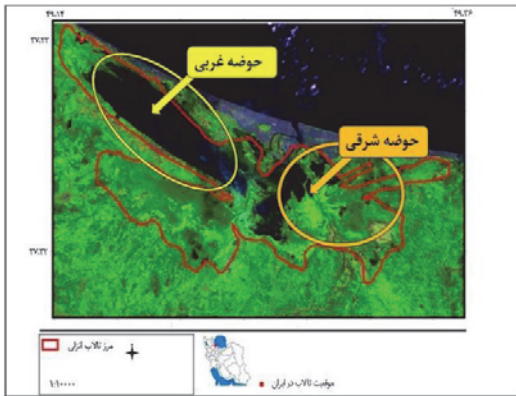
بین‌المللی تحت پوشش کنوانسیون رامسر قرار دارد. تالاب انزلی زیستگاه ماهیان و آبزیان باارزشی است که نقش بسیار مهمی در چرخه‌زیستی این تالاب دارند. وجود فعالیت‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی در اطراف تالاب و رودخانه‌های منتهی به آن باعث شده تا میزان زیادی از آلاینده‌های مختلف وارد تالاب گشته و موجب آلودگی آبزیان و ماهیهای تالاب شوند (۱، ۲). آلودگی اکوسیستم‌های آبی را می‌توان از طریق بررسی آب، رسوب و موجودات زنده مورد تأیید قرار داد. تجمع بالای آلاینده‌ها در این اجزا می‌تواند منجر به تغییرات جدی در اکولوژی شود (۳).

آلودگی جیوه یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های اکوسیستم‌های آبی محسوب می‌شود. در واقع جیوه از جمله فلزاتی است که تأثیر بسیار چشم‌گیری بر این اکوسیستم‌ها دارد، این فلز هم از منابع طبیعی و هم منابع انسان‌ساخت وارد محیط‌زیست می‌شود. ترکیبات جیوه از قابلیت متیلاسیون در محیط‌زیست برخوردارند و این روند به‌خصوص در اکوسیستم‌های آبی تشدید می‌شود (۴). مطالعات مستمر نشان می‌دهد، با افزایش ورود فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری آلوده به جیوه، میزان جیوه در رسوبات و ماهیان منطقه نیز افزایش می‌یابد (۵)، زیرا محیط‌های آبی، مخصوصاً تالاب‌ها، مکان‌های بسیار مناسبی برای تبدیل جیوه معدنی و عنصری به جیوه آلی هستند. باکتری‌ها و قارچ‌های موجود در گل‌ولای بستر آب‌های آلوده می‌توانند نمک‌های جیوه عنصری و معدنی را به متیل جیوه که بسیار سمی‌تر از سایر ترکیبات جیوه است، تبدیل کنند که از طریق گیاهان آبی، جلبک‌ها، ماهیان و اشکال پست جانوری جذب و وارد زنجیره غذایی می‌شود (۶، ۷). همان‌طور که گفته شد، جیوه در آب قابلیت تبدیل به اشکال معدنی و آلی را داشته و از دیدگاه سم‌شناسی شکل آلی آن، به‌خصوص متیل جیوه، اهمیت بسیار زیادی دارد. از این رو می‌توان

گفت مهم‌ترین فرایند چرخه جیوه در طبیعت، متیلاسیون است. متیلاسیون فرایندی است که طی آن رادیکال متیل (CH_3^-) به‌طور شیمیایی با برخی از مواد دیگر به‌واسطه فعالیت موجودات ترکیب می‌شود. عنصر جیوه و تعداد زیادی از ترکیبات معدنی به دلیل نامحلول بودن، سمیت پایینی برای موجودات زنده دارند اما شکل آلی آن در چربی قابل حل بوده و هنگامی که متیل جیوه وارد بدن جاندار می‌شود، در چربی بدن موجود تجمع یافته، سمیت بالایی را نشان می‌دهد و باعث جهش‌زایی، سرطان و حتی مرگ جاندار خواهد شد (۸). ماهیان و فرآورده‌های دریایی بیشترین میزان متیل جیوه را دارند. اتحادیه اروپا و انگلستان استاندارد ۰/۵ میکروگرم بر گرم جیوه برای قسمت‌های خوراکی ماهی در نظر گرفته است (۹). حدود ۸۵ تا ۱۰۰ درصد جیوه کلی تجمع‌یافته در ماهی‌ها به شکل جیوه آلی است (۱۰، ۱۱). لازم به ذکر است که این میزان در گونه‌ها، در شرایط سنی و محیطی مختلف متغیر است؛ بنابراین تقریباً تمامی جیوه موجود در بافت عضلانی ماهی‌ها و سایر جانوران دریایی به‌صورت متیل جیوه یافت می‌شود (۵).

از آنجایی که ماهی سهم عمده‌ای در سبد خانوار جوامع ساحل را ایفا می‌کند، لذا انجام پژوهش‌هایی گسترده برای ارزیابی خطر ناشی از ورود ترکیبات جیوه به اکوسیستم و آبزیان بسیار ضروری است. بافت عضله به دلیل دارا بودن درصد پروتئین بالا و گروه‌های بیشتر سولفیدریل نسبت به سایر بافت‌ها، پتانسیل بیشتری نسبت به جذب ترکیبات آلی جیوه دارند (۶، ۱۲).

در این تحقیق ماهی کاراس به علت نوع رژیم غذایی همه‌چیزخواری، فراوانی بالای آن در زمان نمونه‌برداری و سهولت نمونه‌برداری انتخاب شده است. همچنین این ماهی یکی از فراوان‌ترین گونه‌های نقاط مختلف تالاب انزلی است و قدرت تحمل قابل ملاحظه‌ای در محیط زندگی خود دارد و می‌تواند در



شکل شماره ۱: تالاب انزلی و نقاط نمونه برداری

تعداد بیست عدد ماهی کاراس در هر دو منطقه غرب و شرق تالاب انزلی به صورت تصادفی و با استفاده از دستگاه الکترو شوکر صید شدند. تمامی نمونه‌های تهیه شده کدگذاری و به آزمایشگاه دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس منتقل شدند. تمامی نمونه‌ها در هنگام انتقال به آزمایشگاه به کمک یخ در دمای ۴ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. در آزمایشگاه نمونه‌های ماهی پس از شستشو با آب مقطر، زیست‌سنجی شده و طول استاندارد و طول کل و وزن نمونه‌ها محاسبه شدند. بافت‌های مورد نیاز از بخش عضله راست پشتی جدا شده و در دمای ۲۰- درجه سانتی گراد تا قبل از انجام مراحل آنالیز قرار گرفتند. تعیین سن نمونه‌های ماهی به وسیله دواریر سالیانه بر روی پولک‌ها صورت گرفت.

برای تعیین میزان جیوه کل نمونه‌ها، ابتدا حدود دو گرم از بافت تر در داخل فویل آلومینیومی توزین شد. در مرحله بعد این نمونه‌ها را به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه فریز درایر برای خشک شدن قرار داده شد. پس از خشک شدن کامل، نمونه‌ها مجدداً توزین شدند و سپس میزان رطوبت نمونه‌ها به دست آمد. نمونه‌های خشک شده را کاملاً پودر و همگن کرده و به میزان ۰/۰۳ الی ۰/۰۵ گرم آن را مطابق با دستورالعمل دستگاهی در ظرف نیکلی مخصوص دستگاه توزین و به دستگاه

آبگیرهایی که گیاهان آبی زیاد، کاهش شدید اکسیژن و آلودگی نسبتاً بالایی دارند، زندگی کند؛ لذا می‌توان از آن به عنوان پایش‌گر زیستی آلودگی جیوه استفاده کرد (۱۳).

Sakizadeh و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مطالعات خود به بررسی جیوه کل در ماهی کاراس و اردک ماهی^۱ در تالاب انزلی پرداختند. میزان جیوه کل در بافت عضله ماهی کاراس و اردک ماهی به ترتیب ng/g dw ۷۵/۲۷ و ۱۸۲/۲۲ بوده است. در تحقیق مذکور تنها جیوه کل در بافت عضله اندازه‌گیری شد و هیچ گزارشی در مورد میزان جیوه آلی در بافت عضله ماهی کاراس در تالاب بین‌المللی انزلی وجود ندارد (۱۴). با توجه سمیت بسیار بالاتر جیوه آلی در مقایسه با جیوه معدنی، هدف از این تحقیق تعیین میزان جیوه کل و جیوه آلی در بافت عضله ماهی کاراس در دو منطقه غرب و شرق تالاب بین‌المللی انزلی و در نهایت ارزیابی خطر مصرف این گونه در دو منطقه مورد مطالعه بر سلامت انسان است.

مواد و روش‌ها

تالاب انزلی در ۲۵' ۳۷° عرض شمالی و ۲۸' ۴۹° طول شرقی در جنوب دریای مازندران در استان گیلان قرار دارد. این تالاب زیستگاه ماهیان و آبزیان باارزشی است که نقش بسیار مهمی در چرخه‌زیستی این تالاب دارند (۱۵). تالاب انزلی شامل چهار منطقه به نام‌های تالاب غرب، شرق، مرکزی و سیاه کشیم است. رودخانه‌های ورودی به تالاب انزلی شامل پیربازار، نوخاله، هندخاله، سیاه درویشان و... کانال مادر و رودخانه‌های خروجی شامل انزلی و غازیان هستند. حوضه آبخیز تالاب انزلی و نقاط نمونه‌برداری در شکل شماره یک نشان داده شده است.

¹ *Esox Lucius*

جدول شماره ۱: نتایج زیست‌سنجی نمونه‌های ماهی کاراس در دو منطقه شرق و غرب تالاب انزلی

| منطقه | وزن (گرم) | | | طول استاندارد (سانتی‌متر) | | | طول کل (سانتی‌متر) | | |
|-------|-----------|--------|--------|---------------------------|-------|--------|--------------------|-------|--------|
| | میانگین | حداقل | حداکثر | میانگین | حداقل | حداکثر | میانگین | حداقل | حداکثر |
| شرق | ۱۴۳/۸۵ | ۱۰۱/۰۰ | ۲۲۳/۷۰ | ۱۶/۹۷ | ۱۵/۰۰ | ۱۹/۲۰ | ۲۱/۱۲ | ۱۸/۰۰ | ۲۴/۳۰ |
| غرب | ۱۶۳/۷۷ | ۱۱۲/۱۰ | ۲۲۴/۸۰ | ۱۷/۷۹ | ۱۵/۵۰ | ۲۰/۱۰ | ۲۲/۴۰ | ۱۹/۵۰ | ۲۵/۰۰ |

درصد انحراف استاندارد نسبی کمتر از ۲/۱۴ به دست آمد. دقت و صحت اندازه‌گیری جیوه آلی از طریق افزودن استاندارد متیل جیوه به نمونه‌های عضله ماهی بررسی شد. میزان بازیابی و درصد انحراف استاندارد نسبی برای اندازه‌گیری جیوه آلی نیز به ترتیب بین ۹۷/۹۳ تا ۱۰۳/۵۳ درصد و کمتر از ۳/۰۱ درصد بودند. حد تشخیص اندازه‌گیری جیوه کل و جیوه آلی در بافت عضله ماهی به ترتیب برابر ۱/۰ و ۲/۶ نانو گرم بر گرم وزن تر به دست آمد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها برای بررسی نرمال بودن آن‌ها از آزمون Kolmogorov-Smirnov استفاده شد. در مورد داده‌های نرمال برای مقایسه هر عنصر بین دو منطقه از آزمون Independent Sample T-Test و برای داده‌های غیرنرمال از آزمون Mann-Whitney U استفاده شد. از آزمون One-Sample T Test برای مقایسه غلظت متغیرهای نرمال مورد مطالعه با استانداردهای جهانی استفاده شد. آزمون همبستگی داده‌های نرمال Pearson در صورت نرمال نبودن داده‌ها از آزمون Speraman برای بررسی این رابطه استفاده شد. برای انجام تمامی آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS 16 استفاده شد. ترسیم نمودارها نیز در نرم‌افزار Excel 2007 صورت گرفت.

یافته‌ها

نتایج حاصل از زیست‌سنجی نمونه ماهی‌های جمع‌آوری شده از تالاب انزلی در جدول شماره یک نشان داده شده است. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد، دو منطقه از نظر نتایج زیست‌سنجی اختلاف معنی‌داری

پیشرفته آنالیز جیوه داده و نتایج سنجش بر حسب نانوگرم بر گرم گزارش شدند. برای اندازه‌گیری جیوه آلی، میزان ۰/۵ گرم از بافت تر عضله را توزین سپس ده میلی‌لیتر اسید کلریدریک و ۰/۵ گرم سدیم برماید اضافه شد و به مدت پانزده دقیقه روی دستگاه تکان‌دهنده قرار داده شد در مرحله بعد نمونه‌ها با ۱۰ میلی‌لیتر تولوئن در یک لوله شیشه‌ای درب‌دار مخلوط و با استفاده از دستگاه تکان‌دهنده به مدت ۳۰ دقیقه تکان داده، سپس به مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۴۵۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ شد. لایه بالایی حاوی تولوئن (فاز آلی) برداشته شد. در این مرحله، جیوه آلی موجود در بافت به صورت کامل به تولوئن منتقل شد. برای انتقال جیوه از فاز آلی به فاز آبی ۶ میلی‌لیتر محلول یک درصد وزنی- حجمی سیستین به تولوئن اضافه شد و برای اطمینان از انتقال کامل جیوه آلی به فاز آبی این مرحله دوبار تکرار شد. بعد از هر مرحله تکان دادن به مدت ده دقیقه، دوباره به مدت ده دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور بر دقیقه سانتریفیوژ صورت گرفته و فاز آبی (لایه پایینی) برداشته شد. سپس میزان ۲۰۰ میکرو لیتر از فاز آبی فوراً به دستگاه پیشرفته آنالیز جیوه برای اندازه‌گیری داده شد. این عمل باید بلافاصله صورت بگیرد تا از جذب سطحی جیوه آلی موجود و از دست رفتن آن جلوگیری شود (۱۶-۱۸).

برای کنترل کیفی روش استفاده شده برای اندازه‌گیری جیوه کل از استانداردهای خاک SRM 2711 و SRM 1633b، 2792 استفاده و مطابق روش استفاده شده برای اندازه‌گیری جیوه کل آنالیز شدند که میزان بازیابی بین ۹۷/۸۱ تا ۱۰۱/۸۸ درصد و

جدول شماره ۲: نتایج سنجش جیوه کل و جیوه آلی در بافت عضله ماهی کاراس

| منطقه | جیوه کل ng/g WW | | | جیوه آلی ng/g WW | | |
|-------|-----------------|-------|---------|------------------|--------|-------|
| | حداکثر | حدافل | میانگین | انحراف معیار | حداکثر | حدافل |
| شرق | ۲۱۴/۹۶ | ۵۲/۰۱ | ۱۰۶/۹۷ | ۵۶/۹۲ | ۱۸۵/۹۹ | ۴۰/۶۵ |
| غرب | ۷۴/۲۴ | ۲۳/۴۵ | ۴۵/۵۰ | ۱۶/۸۴ | ۷۰/۱۸ | ۲۲/۳۸ |

جدول شماره ۳: نتایج آنالیز آماری همبستگی درصد چربی با اشکال مختلف جیوه

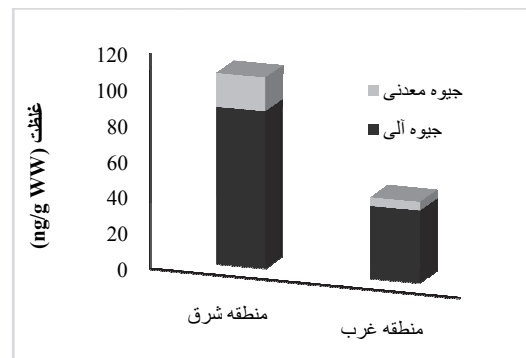
| نوع رابطه | شرق | | غرب | |
|-------------------------|--------|-------|--------|-------|
| | ρ | P | ρ | P |
| جیوه کل با درصد چربی | ۰/۰۴۸* | ۰/۸۴۱ | ۰/۰۴۱* | ۰/۸۶۰ |
| جیوه آلی با درصد چربی | ۰/۰۳۲* | ۰/۸۹۵ | ۰/۰۲۲* | ۰/۹۲۹ |
| جیوه معدنی با درصد چربی | ۰/۰۵۹ | ۰/۸۱۷ | ۰/۰۳۶* | ۰/۸۸۰ |

* روابط ستاره دار از نظر آماری معنی دار می باشد.

($P > 0.001$). میزان جیوه کل و جیوه آلی در بافت عضله منطقه شرق به طور معنی داری بیشتر از منطقه غرب بوده است.

نتایج مربوط به مقایسه میزان جیوه آلی و معدنی بین دو منطقه غرب و شرق تالاب در نمودار شماره یک آمده است. همان گونه که در این شکل مشاهده می شود، درصد جیوه آلی به کل در بافت عضله شرق حدود ۸۳ درصد و غرب ۸۸ درصد بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده درصد بالایی از جیوه کل موجود در بافت عضله ماهی کاراس را جیوه آلی تشکیل می دهد و نشان از پتانسیل خطر بالای مصرف این گونه ماهی به علت سمیت بالاتر جیوه آلی در مقایسه با جیوه معدنی در مصرف کنندگان دارد. همچنین نتایج آزمون های آماری نشان داد، با وجود اختلاف معنی دار در میزان غلظت جیوه کل و آلی در بافت عضله ماهی کاراس در دو منطقه شرق و غرب، میزان نسبت جیوه آلی به کل در دو منطقه اختلاف معنی داری را نشان نداد.

نتایج آزمون ها همبستگی نشان داد، همبستگی مثبت معنی داری میان جیوه کل با درصد چربی در دو منطقه شرق و غرب تالاب با ضریب همبستگی بالا وجود دارد. همچنین همبستگی میان جیوه آلی و درصد چربی با ضریب همبستگی بالاتری مثبت و معنی دار بوده است



نمودار شماره ۱: مقایسه بین غلظت جیوه آلی و معدنی بافت عضله ماهی کاراس در دو منطقه غرب و شرق تالاب انزلی

ندارند. میانگین سنی ماهی های نمونه در بازه ۲ تا ۴ سال بوده است که مقایسه سنی ماهی ها جمع آوری شده از دو منطقه تالاب نشان داد، نمونه های دو منطقه از نظر سنی تفاوت معنی داری ندارند ($P > 0.05$)، در نتیجه ماهی های دو منطقه شرق و غرب تالاب در شرایط سنی تقریباً برابر بودند.

نتایج حاصل از اندازه گیری جیوه کل و جیوه آلی در بافت عضله ماهی کاراس در دو منطقه شرق و غرب تالاب انزلی در جدول شماره دو ارائه شده است. نتایج نشان می دهد، میانگین و حداکثر میزان جیوه کل در بافت ماهی های منطقه شرق بالاتر از غرب تالاب است. تفاوت معنی داری در میزان جیوه کل بافت عضله ماهی کاراس در بین دو منطقه شرق و غرب مشاهده شد

جدول شماره ۴: مقایسه جیوه یافت شده در بافت عضله ماهی کاراس با استانداردهای جهانی

| درصد نمونه‌های بالاتر از حد استاندارد | p | منطقه | استاندارد (میکروگرم در گرم وزن تر) |
|---------------------------------------|-------|-------|--|
| ۳۵٪ | ۰/۵۹۰ | شرق | FDA (۰/۱) برای بافت خوراکی در گونه‌های تجاری |
| - | ۰/۰۰۱ | غرب | |
| - | ۰/۰۰۱ | شرق | WHO (۰/۵) |
| - | ۰/۰۰۱ | غرب | |
| - | ۰/۰۰۱ | شرق | EPA (۰/۳) استاندارد ماهیان آب شیرین |
| - | ۰/۰۰۱ | غرب | |

حاضر یافتند. در این تحقیق بالا بودن مقدار جیوه را بزرگ‌نمایی آن در طول زنجیره غذایی و همچنین بالا بودن کربن آلی و پایین بودن اکسیژن در آب‌های مجاور رسوب^۱ که سبب افزایش فرایند متیلاسیون جیوه به وسیله باکتری‌های بی‌هوازی رشد یافته در چنین محیط‌هایی با مواد آلی بالا می‌شوند، عنوان کردند (۱۴).

همان‌گونه که ملاحظه شد، نتایج تحقیق حاضر هم راستا با یافته‌های مطالعات انجام شده در این منطقه بوده که از جمله عوامل مؤثر بر بالا بودن جیوه آلی و کل در بخش شرقی تالاب انزلی می‌توان به ورود بیشتر منابع آلاینده (نقطه و غیرنقطه‌ای) شامل نوع کاربری، فاضلاب‌های شهری و صنعتی، افزایش جمعیت و به دنبال آن فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی (سموم و کودها) و... اشاره کرد. بار آلودگی ورودی به تالاب انزلی عمدتاً مربوط به فاضلاب‌ها است که البته شیرابه‌های زائدات جامد نیز در ورود آلودگی نقش مهمی دارند.

از طرف دیگر با وجود اینکه نسبت جیوه آلی به کل در بافت ماهی کاراس دو منطقه شرق و غرب اختلاف معنی‌داری نشان نداده، بیانگر وضعیت مشابه متیلاسیون در دو منطقه مورد بررسی است.

مقایسه میزان غلظت جیوه با سطوح مختلف استانداردهای WHO، FDA، EPA (۲۲-۲۴) نشان داد، غلظت جیوه در بافت عضله در دو منطقه شرقی و غربی تالاب انزلی به‌طور معنی‌داری پایین‌تر از مقادیر استاندارد است (جدول شماره ۴). اما در بافت عضله ماهی

(جدول شماره ۳). به‌طور کلی میزان درصد چربی با ترکیبات جیوه همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داد که با ضریب همبستگی بالایی به اثبات رسید. از طرف دیگر بیشتر ترکیبات آلی جیوه می‌توانند در چربی ذخیره شوند، لذا نتایج با مطالعات دیگر مطابقت دارد (۸، ۱۹).

بحث

با توجه به اهداف این تحقیق و نتایج به‌دست آمده مشخص شد، مقدار جیوه کل در بافت عضله بخش شرقی تالاب انزلی به‌طور معنی‌داری بیشتر از غرب تالاب بوده است. همچنین با مقایسه میزان جیوه آلی در بافت عضله دو منطقه مورد بررسی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد که این امر بیانگر اختلاف وضعیت آلودگی دو بخش شرقی و غربی است. خسروی و همکاران نیز میزان جیوه کل در رسوبات بخش شرقی تالاب انزلی را به‌طور معنی‌داری بیشتر از بخش غربی و میانی تالاب گزارش و دلیل آن را گسترش بیشتر صنایع و فعالیت‌های کشاورزی در بخش شرقی تالاب بیان کردند (۲۰). در مطالعه‌ای دیگر شهسواری و همکاران نیز میزان جیوه کل در هر سه نمونه آب، رسوب و گیاهان بخش شرقی تالاب انزلی را بیشتر از بخش غربی به‌دست آوردند که ورود فاضلاب‌های صنعتی شهر رشت از طریق رودخانه پیربازار را دلیل بالا بودن جیوه در این بخش تالاب اعلام کردند (۲۱). در تحقیقی مشابه نیز Sakizadeh و همکاران غلظت جیوه کل در بافت عضله ماهی کاراس را نزدیک به مقادیر تحقیق

¹ Overlying Waters

جدول شماره ۵: مقایسه جغرافیایی میزان جیوه در گونه‌های مورد مطالعه ماهیان حاشیه جنوبی دریای مازندران

| نام گونه | نوع تغذیه | محل نمونه برداری | بافت عضله Hg (میکرو گرم بر گرم وزن خشک) | منبع |
|-------------|---------------------|------------------|---|---------------------|
| کاراس | همه چیز خوار | شرق تالاب انزلی | ۰/۳۰ | مطالعه حاضر |
| کاراس | همه چیز خوار | غرب تالاب انزلی | ۰/۱۱ | مطالعه حاضر |
| کفال طلایی | بنئوز خوار | سواحل غربی | ۰/۲۶ | (۲۵) |
| اردک ماهی | گوشنخوار | دریای مازندران | ۰/۵۸ | (۲۶) |
| کفال | بنئوز خوار | دریای مازندران | ۰/۰۴ | (۲۷) |
| کلمه | پلانکتون و نرم‌تنان | دریای مازندران | ۰/۷۰ | (۲۸) |
| شاه کولی | فیثو و زئو پلانکتون | دریای مازندران | ۰/۴۵ | (۲۸) |
| سیاه کولی | نرم‌تنان و کرم‌ها | دریای مازندران | ۰/۵۵ | (۲۸) |
| ماهی سفید | نرم‌تنان و پلانکتون | سواحل مرکزی | ۰/۸۵ | (۲۹) |
| کاراس | همه چیز خوار | شرق تالاب انزلی | ۰/۳۲ | (۲۰) |
| کاراس | همه چیز خوار | غرب تالاب انزلی | ۰/۱۷ | (۲۰) |
| کپور | گیاه خوار | شرق تالاب انزلی | ۰/۳۰ | (۲۰) |
| کپور | گیاه خوار | غرب تالاب انزلی | ۰/۱۵ | (۲۰) |
| اردک ماهی | گوشنخوار | شرق تالاب انزلی | ۰/۴۰ | (۲۰) |
| اردک ماهی | گوشنخوار | غرب تالاب انزلی | ۰/۲۸ | (۲۰) |
| اردک ماهی | گوشنخوار | تالاب انزلی | ۰/۳۳* | داده‌های منتشر نشده |
| سوف | گوشنخوار | تالاب انزلی | ۰/۲۰* | داده‌های منتشر نشده |
| کپور معمولی | گیاه خوار | تالاب انزلی | ۰/۱۲* | داده‌های منتشر نشده |

* واحد غلظت بر حسب وزن تر گزارش شده است.

همچنین غلظت جیوه در گونه اردک ماهی مطالعات مختلف بیشتر از گونه کاراس تحقیق حاضر بوده است که از دلایل آن می‌توان به شکارچی بودن اردک ماهی و تغذیه آن از ماهی‌های کاراس، گامبوزیا، کفال و سایر گونه‌ها اشاره کرد (۱۴).

ماهی کاراس در حوضه آبریز دریای مازندران یکی از ماهیان غالب تالاب‌ها و آب‌بندان‌ها است و با قیمت ارزان در بازار به فروش می‌رسد و در سال‌های اخیر بیش از ۵۰ درصد صید تالاب انزلی را به خود اختصاص داده است. لذا محاسبه تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی به صورت ماهانه، به روش EPA، برای ایجاد تعادل بین فواید مصرف ماهی و حفظ سلامت عمومی جامعه امر ضروری است (۲۴). با کمک معادله شماره یک تعداد وعده‌های مجاز مصرف ماهی کاراس به صورت ماهانه محاسبه شد. از آنجایی که معمولاً بیش از ۹۰ درصد جیوه آلی را متیل جیوه تشکیل می‌دهد (۳۱)، لذا در این تحقیق نتایج ۹۰ درصد جیوه آلی به جای متیل جیوه در نظر گرفته شد.

کاراس در بخش شرقی برخی از نمونه‌ها کمی بالاتر از حد استاندارد FDA بودند که این نتیجه نیز از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان نداد. نتایج کسب شده با مطالعات خسروی (۱۳۸۸)، sakizadeh و همکاران (۲۰۱۲) مطابقت قابل توجهی نشان داد (۱۴، ۲۰).

از گذشته تاکنون مطالعات مختلفی در رابطه با جیوه بر روی گونه‌های مختلف ماهی در حاشیه جنوبی دریای مازندران صورت گرفته که بیانگر وضعیت آلودگی در منطقه است. از طرف دیگر بر اساس نوع تغذیه، محل زیستگاه و نوع گونه، غلظت جیوه نیز متفاوت خواهد بود. در جدول شماره ۵ به مقایسه مطالعات صورت گرفته در ماهی‌های بخش شمالی کشور، به ویژه تالاب انزلی، پرداخته شده است. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، غلظت جیوه در هر سه گونه کاراس، اردک ماهی و کپور در منطقه شرق بیشتر از منطقه غرب تالاب انزلی بوده است و با یافته‌های تحقیق حاضر هم‌خوانی داشته و بر آلودگی بالاتر منطقه شرق تالاب تأکید دارد (۲۰).

نیز کاهش می‌یابد. این نتایج با مطالعه اسماعیلی و همکاران (۲۰۱۱) نیز مطابقت دارد (۳۰). این اختلاف در میزان وعده‌های مجاز در دو منطقه بیانگر تفاوت در وضعیت آلودگی آن‌ها است.

در نهایت با توجه به پایین‌تر بودن غلظت جیوه کل و آلی در ماهیان کاراس بخش غربی تالاب و همچنین بالاتر بودن میزان مصرف مجاز ماهیانه محاسبه شده، هم در کودکان و هم در افراد بزرگسال، مصرف این گونه ماهی به علت دارا بودن ارزش غذایی بالا و همچنین منبع امگا ۳ برای سلامت افراد جامعه، بیشتر توصیه می‌شود. همچنین جا دارد، علاوه بر تلاش برای افزایش سهم سرانه مصرف ماهی و جا انداختن فرهنگ مصرف، توجه ویژه‌ای به ایمنی غذاهای دریایی شود.

سپاسگزاری

این مقاله بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته محیط‌زیست خانم شهره علی‌دوست بوده که با حمایت مالی دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است.

References

1. Charkhabi A, Sakizadeh M. Assessment of spatial variation of water quality parameters in the most polluted branch of the Anzali wetland, northern Iran. *Pol J Environ Stud.* 2006;15(3): 395-403.
2. Plessi M, Bertelli D, Monzani A. Mercury and selenium content in selected seafood. *J Food Comp Anal.* 2001; 14(5): 461-467.
3. Altmdag A, Yigiti S. Assessment of heavy metals concentrations in the food web of

$$CR \text{ (meals mo}^{-1}\text{)} = \frac{RFD \times BW \times Tap}{CF \times IR}$$

معادله (۱)

در فرمول فوق RFD بر اساس EPA دوز رفرنس (۰/۰۰۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)، BW وزن بدن، CF (Hg concentration in fish) غلظت متیل جیوه در نمونه برحسب میلی‌گرم در کیلوگرم است و Tap معادل ۳۰/۴۴ متوسط دوره زمانی (روز برای یک ماه) است. IR (Ingestion Rate) میزان مصرف است که به صورت استاندارد ۰/۲۲۷ کیلوگرم در هفته در نظر گرفته می‌شود (۳۲). میانگین وزن بدن ۷۰ کیلوگرم و برای کودکان ۱۴/۵ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. با استفاده از فرمول فوق میزان مجاز مصرف ماهی‌های بخش شرقی برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب ۱۳ و ۳ بار در ماه محاسبه شد. همچنین برای ماهی‌های بخش غربی ۲۵ وعده در ماه برای بزرگسالان و ۵ وعده در ماه برای کودکان محاسبه شد. در بررسی‌ها و مطالعات پیرامون وعده‌های مجاز مصرف ماهانه باید سن و اندازه ماهی‌ها نیز مد نظر قرار گیرد؛ از این رو ماهی‌هایی با سن بیشتر میزان تجمع جیوه کل و در نهایت جیوه آلی بیشتری خواهند داشت و در نتیجه تعداد وعده‌های مجاز

lake Beysehir, Turkey. *Chemosphere.* 2005; 60(4): 522-556.

4. Uryu Y, Malm O, Thornton I, Payne I, Cleary D. Mercury contamination of fish and its implications for other wildlife of the tapajos basin, brazilian amazon. *Conserv Biol.* 2001; 15(2): 438-446.
5. Esmaili Sari A. Pollution, Health and Environmental Standards. Tehran, Tarbiat Modares University: Naghsh Mehr Publisher; 2002.
6. Ochoa-Acuna H, Sepúlveda M, Gross T. Mercury in feathers from chilean birds,

- influence of location, feeding strategy, and taxonomic affiliation. *Marine Pollut Bull.* 2002; 44(4): 340-345.
7. Houck A, Cech JJ. Effects of dietary methylmercury on juvenile Sacramento blackfish bioenergetics. *Aqua Toxicol.* 2004; 69(2):107-123.
 8. Scheuhammer AM, Meyer MW, Sandheinrich MB, Murry MW. Effects of environmental methylmercury on the health of wild birds, mammals and fish. *Ambio.* 2007; 36(1): 12-19.
 9. Raymond LJ, Ralston NVC. Mercury, selenium interactions and health implications, *Seychelles Medical and Dental Journal.* 2004; 7(1): 72-77.
 10. Morel F MM, Kraepiel AML, Amyot M. The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu Rev Ecol Syst.* 1998; 29(1) 543-566.
 11. Marrugo-Negrete J, Verbel JO, Ceballos EL, Benitez LN. Total mercury and methylmercury concentrations in fish from the mojana region of colombia. *Environ Geochem Health.* 2008; 30(1): 21-30.
 12. Gharaei A, Esmaili Sari A, Jafari V. Bioaccumulation trends of methylmercury (MeHg) in different tissues of Beluga (*Huso huso* Brandt, 1869). *Iranian Journal of Biology* 2009; 22(4): 619-625. (Persian).
 13. Gudkov PK. Biology of goldfish, *Carassius auratus gibelio*, from the Volga Delta. *Voprosy Ikhtolog.* 1985; 25(3):517-520.
 14. Sakizadeh M, Esmaili Sari A, Abdoli A, Bahramifar N, Hashemi SH. Determination of polychlorinated biphenyls and total mercury in two fish species (*Esox lucius* and *Carassius auratus*) in Anzali Wetland, Iran. *Environ Monit Asses.* 2012; 184(5):3231-3237.
 15. Sartaj M, Dehkordi F, Filizadeh Y. The trend of emission and accumulation of heavy metals, Cu, Cr, Cd, Pd, Zn and Ni in the sediment of Anzali Wetland. *Iranian Journal of Natural Resources.* 2005; 58(3): 623-634. (Persian).
 16. Mercury in solids and solutions by thermal decomposition, amalgamation, and atomic absorption spectrophotometry, in EPA method 7473 report. Environmental Protection Agency Washington, D: EPA; 1998.
 17. Maggi C, Berducci MT, Bianchi J, Giani M, Campanella L. Methylmercury determination in marine sediment and organisms by direct mercury analyser. *Anal Chim Acta.* 2009; 641(1): 32-36.
 18. Aazami J, Esmaili Sari A, Bahramifar N, Ghasempouri M, Kazemifar A. A modified method for the determination of organic mercury in biota [*Great Cormorants (Phalacrocorax carbo)*] by advanced mercury analyzer. *Iranian Journal of Toxicology.* 2011; 4(4):357-361.
 19. Valega M, Abreu S, Pato P, Rocha L, Gomes A, Pereira M, et al. Determination of organic mercury in biota, plants and contaminated sediments using a thermal atomic absorption spectrometry technique. *Water Air Soil Pollut.* 2006; 174(1): 223-234.
 20. Khosravi M, Bahramifar N, Ghasempouri M. Survey of heavy metals (Cd, Pb, Hg, Zn and Cu) contamination in sediment of three sites Anzali Wetland. *Iranian Journal of Health & Environment.* 2011; 4(2): 223-232. (Persian).

21. Shahsavari N, Esmacili Sari A, Vahabzadeh H. Biomonitoring and assessment of mercury pollution in the international Anzali Wetland by use of aquatic weed. *J. Environmental Science and Technology*. 2009; 11(3): 269-280.
22. FDA, U.S. Food and Drug Administration. An Important Message for Pregnant Women and Women of Childbearing Age Who May Become Pregnant about the Risks of Mercury in fish. *Costumer Advisory*; 2001.
23. new dietary intake limits for mercury. Geneva:World Health Organisation;2003.
24. US-EPA, 2000. Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories., Volume 2, Risk Assessment and Fish Consumption Limits. 3th ed. Washington, DC: U.S EPA; 2000.
25. Yazdanasab L, Esmacili Sari A, Abtahi B, Ghasempouri M. Evaluation of the concentration and bioaccumulation of mercury in different tissues of golden mullet (*Liza aurata*) southern shores of the Caspian Sea. Tehran:The first seminar of Environmental Engeeniring; 2006.(Persian).
26. Ghasemzadeh G, Sharifpour A, Vosoghi G, Ghasempouri M, Zolphaghari G. Bioacumulation of mercury in *Esox Lucius* of Anzali Wetland. *Iranian Journal of Scientific Fisheries* . 2010; 19(1): 97-110.
27. Agah H, Leermakers M, Elskens M, Fatemi SMR, Baeyens W. Total mercury and methyl mercury concentrations in fish from the Persian gulf and the Caspian sea. *Water Air Soil Pollut*. 2007; 181(1): 95-105.
28. Zolfghari G, Esmaili sari A, Ghasempouri M. Mercury concentration in hair of fishermen and fish in the southern coast of Caspian Sea; Values, accumulation and assessment of risks. *Tehran University Medical Journal*. 2008; 36(1):267-272. (Persian)
29. Foroghi R, Esmaili Sari A, Ghasempouri MA. Comparison between the length and weight of the mercury concentration in different organs of *Rutilus frisii kutum* from central coast of South Caspian. *Iranian journal of Scientific Fisheries*. 2006; 57(4): 97-103.
30. Esmaili Sari A, Abdollahzadeh E, Joorabian SS, Ghasempouri M. Fish Consumption Limit for Mercury Compounds. *J. Fasa Univer. Med. Sci*. 2011; 2(1): 24-31.
31. Burger J, Gochfeld M. Risk to consumers from mercury in pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from the aleutians, fish age and size effects. *Environ Res*. 2007; 105(2): 276-284.
32. Jewett SC, Duffy LK. Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species. *Sci Total Environ*. 2007; 387(1-3): 3–27.