مطالعه آلودگی جیوه در آب، رسوبات و ماهیان تجاری تالاب بین‌المللی هامون

قاسم ذوالفقاری[1]، مهری دلسوز[2]، سکینه رجایی[3]

۱- استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
(نویسنده مسئول) ۴۴۰۱۳۰۱۵ (۰۵۱) ghr_zolfaghari@yahoo.com
۲- کارشناس ارشد گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گناباد
۳- کارشناس ارشد گروه محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(دریافت ۹٤/۱/۱۷ پذیرش ۹٤/٤/۲۰)

چکیده

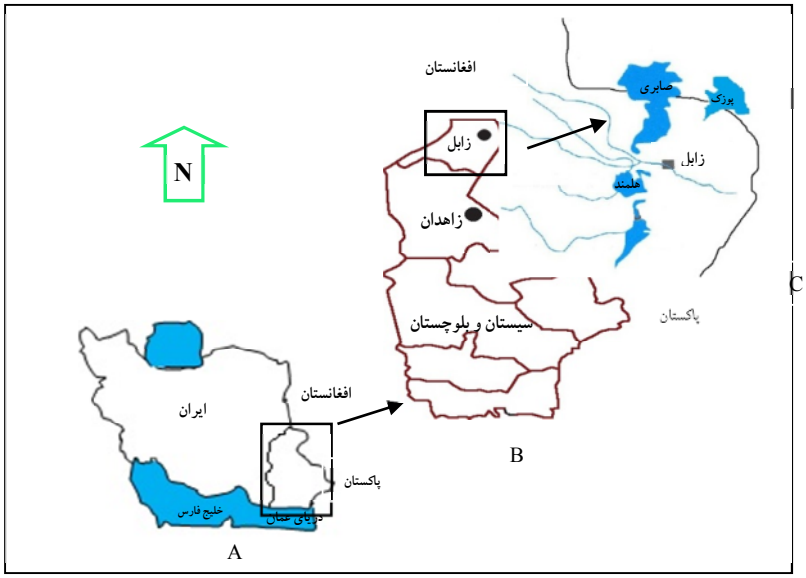
بررسی مقدار آلاینده‌ها در ماهیان به‌دلیل مصرف آن توسط انسان از اهمیت خاصی برخوردار است. پژوهش حاضر، به‌منظور تعیین غلظت جیوه در آب، رسوبات و ماهیان تالاب هامون و مقایسه میزان آن با حد مجاز مقدار مرجع انجام گرفت. برای تعیین غلظت جیوه کل از روش آنالیز پیشرفته جیوه (AMA, 254 LECO)، روش استاندارد شماره D-6722 استفاده شد. میانگین غلظت جیوه در عضله آمور، کپور معمولی، فیتوفاگ، سرگنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی به‌ترتیب ۰/۱٤، ۰/۲۸، ۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۳٤ و ۰/۳٦ و در کلیه به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۳۲، ۰/۲۲، ۰/۲۳، ۰/۳٦ و ٤۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. غلظت جیوه رسوبات در ایستگاه‌های یک، دو و سه به‌ترتیب ۰/۳۹، ۰/٤٤ و ٤۸ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت جیوه آب در ایستگاه‌های مذکور به‌ترتیب ۰/۰٦، ۰/۰۷ و ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر برآورد شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی بین غلظت جیوه عضله و کلیه در گونه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P<۰/۰۰۱). بر اساس نتایج این پژوهش، غلظت‌های جیوه ماهیان، از محدوده پیشنهادی توسط سازمان بهداشت جهانی و سازمان خوار و بار جهانی، اداره غذا و دارو و آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا و اتحادیه اروپا کمتر است.

واژه‌های کلیدی: جیوه، ماهی، رسوبات، تالاب بین المللی هامون

۱- مقدمه

مجموعه تالاب‌های بین‌المللی هامون، بزرگ‌ترین پهنه آب شیرین فلات ایران است که در فهرست کنوانسیون تالاب‌ها قرار دارد. این مجموعه از سه ناحیه هامون هلمند در جنوب غربی، هامون پوزک در شمال شرقی و هامون صابری در شمال غربی سیستان (زابل) تشکیل شده است که از این میان، ناحیه هامون هلمند در ایران قرار دارد و نواحی صابری و پوزک بین دو کشور ایران و افغانستان مشترک است (شکل ۱). دو ناحیه صابری و هلمند به‌عنوان یک تالاب بین‌المللی با عنوان تالاب بین‌المللی هامون هلمند و صابری[1] و ناحیه پوزک نیز به‌عنوان یک تالاب مجزا به نام تالاب بین المللی پوزک[2] نام‌گذاری شده است [۱]. ناحیه هلمند در حال حاضر توسط سازمان حفاظت محیط زیست به پناهگاه حیات وحش ارتقا یافته است [۲]. متوسط بارندگی منطقه کمتر از ۵۰ میلی‌متر و اقلیم منطقه به روش دومارتن فراخشک است [۳]. هامون هلمند حدود ۴۷۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. عمق متوسط در زمان پر آبی یک‌متر، در شرایط میان آبی ۰/۵ متر و در کم آبی صفر تعیین شده است. ارتفاع هامون صابری حدود ۴۷۵ متر از سطح دریا بوده و عمق متوسط آن در مواقع پرآبی ۱/۵ متر و در شرایط میان‌آبی و کم‌آبی یک متر تعیین شده است. هامون پوزک حدود ۴۷۶/۵ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. عمق متوسط آن در زمان پرآبی ۲ متر و در واقع میان‌آبی و کم آبی ۱/۵ متر است. از گونه‌های آبزیان تالاب هامون می‌توان به شیزوسیپریس (گرگک)[3]، کپور سرگنده[4]، کپور معمولی[5] و فیتوفاگ[6] اشاره کرد. هامون‌ماهی به نام‌های نام‌های

[1] Hamun-e-Saberi & Hamun-e-Helmand
[2] Hamun-e-Puzak
[3] Schizocypris Altidorsalis
[4] Hypophthalmichthys Nobilis
[5] Cyprinus Carpio
[6] Hypophthalmichthys Molitrix



شکل ۱- موقعیت ایران (A)، استان سیستان و بلوچستان (B) و نواحی پوزک، صابری و هلمند (C). نواحی و موقعیت آن‌ها بر اساس اطلاعات سایت کنوانسیون رامسر ترسیم شده‌اند.

انجک، سفیدک و ماهی سفید هامون نیز شناخته می‌شود. این گونه در جهان فقط مختص حوضه سیستان و بومی ایران است. این تالاب در زمان پرآبی منشاء تولید ۶ تن در هکتار گندم، ۱۲ هزار تن صید ماهی در سال و تغذیه ۱۲۰ هزار گاو سیستانی بوده است و چنانچه آب آن در حال حاضر تأمین شود، می‌تواند کارکردهای زیادی داشته باشد [۴]. امروزه چنین اکوسیستم‌های حساسی در معرض آلودگی قرار گرفته‌اند. پراکندگی زیاد فلزات سنگین در سطح زمین، مصارف مختلف و به‌ویژه خصوصیات سمی آن‌ها، فلزات سنگین را در زمره مهم‌ترین آلاینده‌های محیط زیست قرار داده است [۵]. فلزات سنگین به‌دلیل پایداری بر خلاف آلاینده‌های آلی در معرض حمله باکتریایی قرار نمی‌گیرند[۶]. جیوه فلزی بسیار سمی است و در اکوسیستم‌های آبی به شکل متیل جیوه است. ترکیب متیل جیوه، سمی‌ترین ترکیب جیوه است و نیمه عمری حدود ۳ ماه در بدن انسان دارد[۷]. عمده‌ترین عوارض ناشی از مسمومیت جیوه، بروز اختلالات عصبی و کلیوی است. همچنین شواهدی مبنی بر سرطان‌زایی و جهش‌های ژنتیکی جیوه روی موجودات آزمایشگاهی اثبات شده است[۸]. به‌علاوه بعضی از مطالعات نشان می‌دهند که جیوه اثراتی بر قلب نیز دارد و با اثر بر روی پر اکسیداسیون لیپید، باعث عوارض قلبی می‌شود [۹، ۱۰ و ۱۱]. سیستم حساس تناسلی ممکن است در اثر مواد سمی آنچنان آسیب ببیند که تولید مثل غیر ممکن شود [۱۲]. در جهان سالانه ۲۰ تا ۳۰ هزار تن جیوه در نتیجه فعالیت‌های انسان وارد محیط زیست می‌شود [۱۳]. در سال ۱۹۵۲ ورود جیوه به خلیج میناماتا[1] ی ژاپن باعث بروز بیماری خاصی موسوم به میناماتا شد [۱۴]. نمک‌های جیوه عنصری و غیر آلی، می‌توانند توسط باکتری‌های موجود در گل ولای بستر آب‌های آلوده به متیل‌جیوه تغییر شکل داده و از طریق گیاهان آبزی، جلبک‌ها، ماهی‌ها و اشکال پست جانوری جذب و وارد زنجیره غذایی شوند [۷]. موجودات دریایی و از بین آنها ماهی، آلاینده‌ها را از محیط به درون خود جمع کرده و بنابراین شدیداً در برنامه‌های پالایش آلودگی دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱۵]. در شرایط محیط زیستی مشخص، فلزات سنگین ممکن است در غلظت‌های سمی تجمع نمایند و باعث آسیب‌های اکولوژیکی شوند [۱۶]. ماهیان اغلب در بالای زنجیره غذایی هستند و ممکن است مقدار زیادی از فلزات را از آب در خود تغلیظ نمایند [۱۷]. به‌علاوه ماهی یکی از فاکتورهای شاخص برای تخمین آلودگی فلزات کم مقدار و پتانسیل ریسک مصرف انسان در سیستم‌های آب شیرین است. در پژوهش‌های مختلف ارتباط بین اندازه، سن، جنس و وزن ماهیان و غلظت آلاینده‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در پژوهش ترسلی و همکاران غلظت جیوه در بافت‌های عضله و کبد با متغیرهای زیستی طول و وزن، همبستگی مثبت و معنی‌داری از خود نشان داد [۱۸]. ملازاده و نوذری نیز در پژوهشی تجمع جیوه در بافت‌های حیاتی و خوراکی اردک‌ماهی[2] و همچنین ارتباط بین طول بدن، جنسیت و نیز مکان زیست ماهی با

[1] Minamata
[2] *Esox Lucius*

میزان تجمع جیوه را در تالاب انزلی بررسی نمودند [۱۹]. تالاب‌ها یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های آب شیرین هستند که بیشترین میزان صید آبزیان را نیز به خود اختصاص می‌دهند [۲۰]. این مطلب اهمیت مطالعه تالاب را نشان می‌دهد، به ویژه آن که تالاب‌ها به سوپر مارکت‌های زیستی[1] معروفاند [۲۱]. ارزیابی میزان آلودگی در آبزیان، آب و رسوبات تالاب‌ها برای جلوگیری از آسیب‌های اکولوژیکی، بررسی خطرات احتمالی مصارف تغذیه‌ای و امکان‌سنجی استفاده از آب آن برای مصرف شرب ضروری است.

هدف از این پژوهش، تعیین غلظت فلز سنگین جیوه در عضله و کلیه ماهیان تجاری (آمور، کپور معمولی، فیتوفاگ، سرگنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی[2])، آب و رسوبات تالاب هامون و مقایسه میزان آن با مقدار استاندارد سازمان‌های مختلف بین‌المللی و مقدار مرجع بود. همچنین در این پژوهش ارتباط بین طول ماهی و غلظت جیوه مورد بررسی قرار گرفت. این بررسی اولین مطالعه سیستماتیک در مورد میزان آلودگی فلزات سنگین در یکی از اکوسیستم‌های تالابی ایران به نام تالاب هامون، برای تهیه داده‌های پایه به‌شمار می‌رود. مقایسه غلظت آلاینده‌ها بین آب و رسوبات و همچنین بین گونه‌های مختلف ماهیان برای بررسی وقوع پدیده‌های مهم محیط زیستی مانند بزرگنمایی زیستی[3]، انباشتگی زیستی[4] و تغلیظ زیستی[5]، از اهمیت بالایی در مدیریت اکوسیستم و برداشت از آن برخوردار است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نمونه‌برداری آب

به‌منظور تعیین غلظت عناصر سنگین در آب و رسوبات تالاب هامون سه ایستگاه نمونه‌برداری بر اساس مکان تجمع پرندگان و مکان رویش گیاهان آبزی توسط GPS[6] تعیین شد. برای انتخاب ایستگاه‌ها پس از ورود به تالاب با انجام گشت‌زنی توسط قایق تمام مناطق دارای آب آن بررسی شد. سطح آب به سه منطقه تقسیم شد و نمونه‌برداری انجام شد. قابل ذکر است که تمام نقاط تالاب دارای آب نبود و عمق آب حداکثر به یک متر می‌رسید. نمونه‌برداری از آب تالاب به‌مدت سه ماه انجام شد. سه ایستگاه A، B و C در نظر گرفته شد و اول و آخر هر ماه نمونه‌برداری شد. از هر نقطه ۳ نمونه با هم ترکیب شدند تا یک نمونه همگن به‌دست آید. از هر ایستگاه مورد مطالعه، با استفاده از بطری روتنر، نمونه‌های آب به میزان یک لیتر از عمق میانی در ساعت ۱۰ صبح تهیه شد. نمونه‌ها پس از عبور از کاغذ صافی تا زمان آزمایش با اسید نیتریک ۱۰ درصد درون بطری‌های پلاستیکی کدگذاری شد و در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد. اندازه‌گیری غلظت جیوه با دستگاه آنالیز پیشرفته جیوه[7] مدل ۲۵۴ ساخت شرکت LECO با استاندارد ASTM, D-6722 انجام شد [۲۲]. میزان جیوه کل بر اساس ppm در هر نمونه به‌دست آمد. هر نمونه ۳ بار تکرار شد و نهایتاً از آن‌ها میانگین گرفته شد. تمامی نمونه‌برداری‌های این پژوهش از ناحیه هامون صابری در بهار ۱۳۸۶ انجام شد.

۲-۲- نمونه‌برداری رسوب

نمونه‌های رسوب به وسیله اکمن گراب[8] در ۳ ایستگاه ذکر شده از ۲۰ سانتی‌متری سطح بستر تهیه شد. در محل هر ایستگاه ۳ نمونه از نقاط مختلف تهیه و جداگانه ادغام شد و سپس مقدار ۱۰۰ گرم آن درون بطری‌های پلاستیکی تمیز قرار گرفت و پس از ثبت مشخصات و کدگذاری در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شدند. مقدار یک گرم از رسوب خشک شده توسط اتوکلاو برداشته شد و با دستگاه آنالیز کننده جیوه، میزان غلظت فلز جیوه سنجیده شد. میزان جیوه، کل بر اساس ppm در هر نمونه به‌دست آمد.

۲-۳- نمونه‌برداری ماهی

برای تعیین غلظت فلزات سنگین از ۶ گونه و از هرگونه ۲۰ عدد به‌صورت تصادفی از ماهیان تجاری تالاب شامل آمور، کپور معمولی، فیتوفاگ، سرگنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی نمونه‌برداری شد. بعد از بیومتری و وزن‌سنجی و ثبت مشخصات ماهی‌های صید شده در آزمایشگاه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، نمونه‌ها کالبد شکافی شد و اندام‌های عضله و کلیه استخراج و در ظروف مخصوص قرار گرفت. در نهایت بافت‌های تهیه شده به دانشگاه تربیت مدرس منتقل شد. بافت‌های جداشده، برای خشک شدن، به مدت ۴۸ ساعت در کوره با دمای ۸۰ درجه سلسیوس قرار داده شد و در نهایت نمونه‌ها برای سنجش و اندازه‌گیری غلظت جیوه با دستگاه آنالیز جیوه آماده شد.

۲-۴- آنالیز آماری

در پژوهش حاضر برای انجام مطالعات آماری از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد. نرمال بودن داده‌های به‌دست آمده با استفاده از

[1] Biological Super Markets
[2] Schizothorax Zardunyi
[3] Biomagnification
[4] Bioaccumulation
[5] Bioconcentration
[6] Global Positioning System (GPS)
[7] Advanced Mercury Analyzer
[8] Ekman Grab

جدول ۱- خلاصه نتایج حاصل از بیومتری ماهیان مورد مطالعه

ماهی			متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر
نام فارسی	نام علمی	نام انگلیسی				
آمور	*Ctenopharyngodon idella*	Grass carp	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۱۸/۸۳	۱۶/۰۰	۲۱/۰۰
			طول کل (سانتی‌متر)	۲۳/۴۶	۲۱/۵	۲۵/۳۰
			وزن (گرم)	۱۲۵/۰۷	۸۹/۲۴	۱۵۷/۵۳
کپور معمولی	*Cyprinus carpio*	Common carp	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۱۴/۶۳	۱۱/۸۰	۱۹/۷۰
			طول کل (سانتی‌متر)	۱۸/۰۵	۱۴/۱۰	۲۴/۳۰
			وزن (گرم)	۹۰/۱۳	۴۲/۱۵	۲۰۶/۳۶
فیتوفاگ	*Hypophthalmichthys molitrix*	Silver carp	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۲۳/۸۰	۱۸/۰۰	۲۶/۶۰
			طول کل (سانتی‌متر)	۲۸/۲۳	۲۳/۰۰	۳۱/۵۰
			وزن (گرم)	۲۸۳/۲۰	۱۳۷/۲۶	۳۹۰/۹۴
سرگنده	*Hypophthalmichthys nobilis*	Bighead	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۲۹/۲۰	۲۱/۲۰	۳۴/۲۰
			طول کل (سانتی‌متر)	۳۲/۲۰	۲۵/۲۰	۳۸/۲۰
			وزن (گرم)	۲۹۳/۲۰	۱۵۷/۲۶	۴۹۰/۹۴
شیزوسیپریس (گرگک)	*Schizocypris altidorsalis*	-	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۱۵/۳۹	۱۰/۶۰	۱۹/۸
			طول کل (سانتی‌متر)	۱۸/۲۸	۱۲/۶۰	۲۳/۰۰
			وزن (گرم)	۷۴/۲۷	۱۹/۹	۱۴۵/۰۰
هامون ماهی (سفیدک)	*Schizothorax zardunyi*	-	طول استاندارد (سانتی‌متر)	۱۴/۰۱	۱۰/۹۰	۲۰/۶۰
			طول کل (سانتی‌متر)	۱۶/۶۵	۱۳/۵۰	۲۳/۶۰
			وزن (گرم)	۵۳/۶۳	۲۳/۳۰	۱۳۵/۶۴

آزمون کولموگروف-اسمیرنوف[1] بررسی شد. در مورد آزمون‌های ناپارامتریک مورد استفاده شامل کروسکال-والیس[2] و من- ویتنی یو[3] بود. برای بررسی ارتباط طول و میزان جیوه هامون ماهی به‌دلیل نرمال بودن داده‌ها از آزمون‌های پارامتریک توکی[4] استفاده شد.

۳- نتایج

۳-۱- بررسی ارتباط بین طول کل و غلظت جیوه

جدول ۱ نتایج آماری حاصل از بیومتری ماهیان مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ارتباط بین طول کل ماهیان و میزان جیوه با استفاده از آزمون‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن‌ها در شکل ۲ آمده است. داده‌های جیوه در ماهیان آمور، کپور معمولی، شیزوسیپریس، فیتوفاگ و سرگنده نرمال نبود و از آزمون کروسکال-والیس استفاده شد. نتایج این آزمون نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین طول و غلظت جیوه وجود دارد. در مورد هامون ماهی، داده‌ها نرمال بودند. نتایج آزمون توکی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین طول و میزان جیوه وجود ندارد.

۳-۲- جیوه در آب

سنجش جیوه در سه ایستگاه تالاب هامون انجام گرفت. نتایج آنالیزهای آزمایشگاهی نشان داد که غلظت جیوه آب در ایستگاه‌های اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۷ و ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر است (شکل ۳).

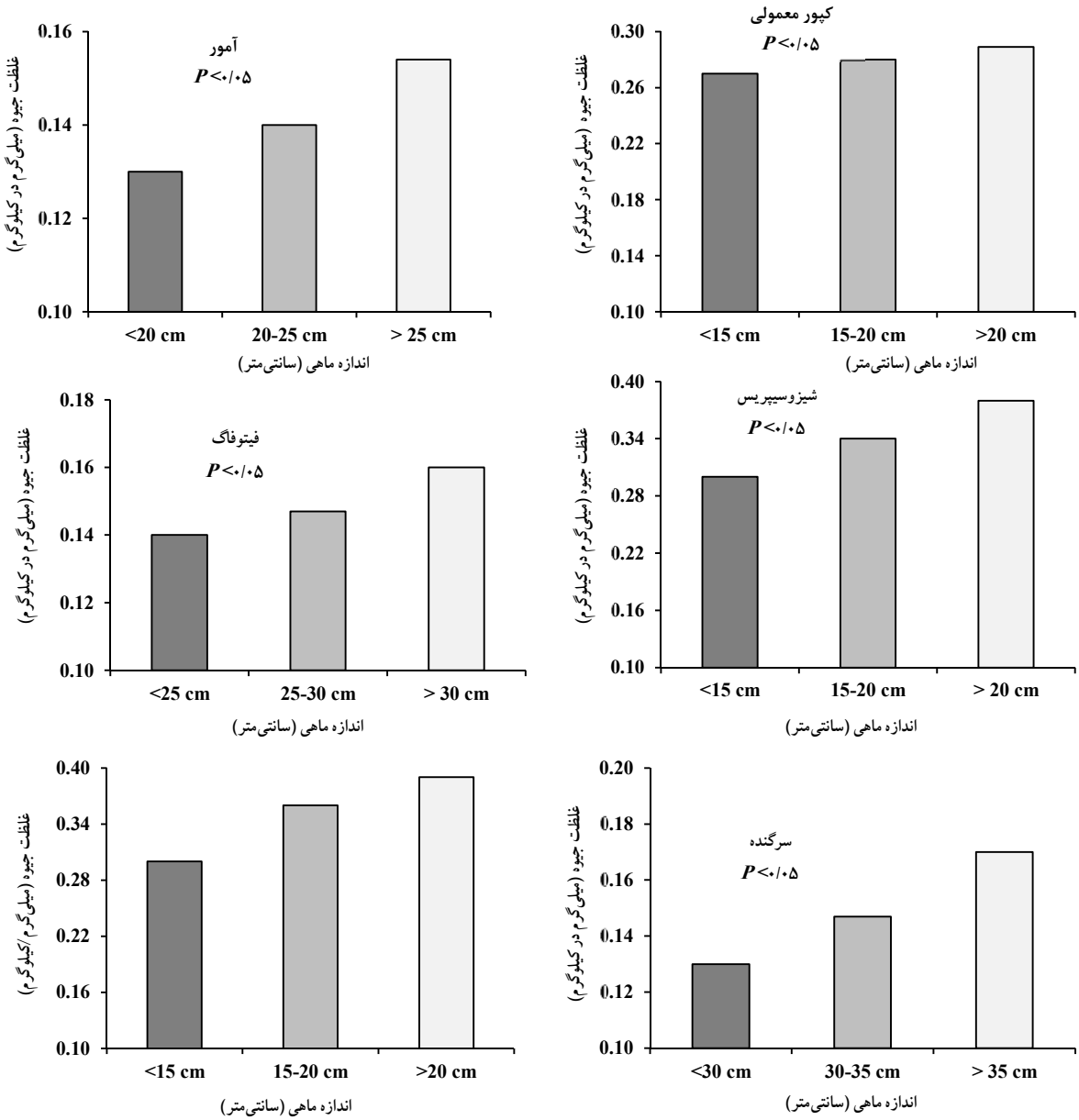
۳-۳- جیوه در رسوبات

غلظت جیوه رسوبات در ایستگاه‌های اول، دوم و سوم به‌ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴۴ و ۰/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم برآورد شد. نتایج نشان داد غلظت جیوه آب بین ایستگاه‌های سه‌گانه تفاوت آماری نداشتند اما بین غلظت‌های جیوه رسوبات ایستگاه‌های سه گانه تفاوت آماری معنی‌داری وجود داشت (شکل ۴).

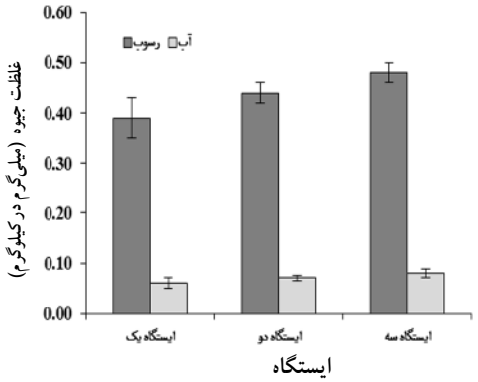
۳-۴- جیوه در ماهیان

در این پژوهش میانگین غلظت جیوه در عضله آمور، کپور معمولی، فیتوفاگ، سرگنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲۸، ۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۳۴ و ۰/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شد. این مقدار برای کلیه به‌ترتیب ۰/۲۱، ۰/۳۲، ۰/۲۲، ۰/۲۳، ۰/۳۶ و ۰/۴۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. بالاترین غلظت جیوه عضله و کلیه مربوط به هامون ماهی و کمترین غلظت جیوه عضله و کلیه مربوط به آمور بود. نتایج نشان داد که بین غلظت جیوه عضله در گونه‌های مختلف، تفاوت معنی‌داری وجود دارد ($p<0/001$) (شکل ۴ و جدول ۲). همچنین در مورد غلظت جیوه اندام کلیه گونه‌های مورد بررسی نیز تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p<0/001$)، اما بین غلظت جیوه کلیه فیتوفاگ و سرگنده، و بین غلظت جیوه کلیه فیتوفاگ و آمور تفاوت معنی‌داری وجود نداشت

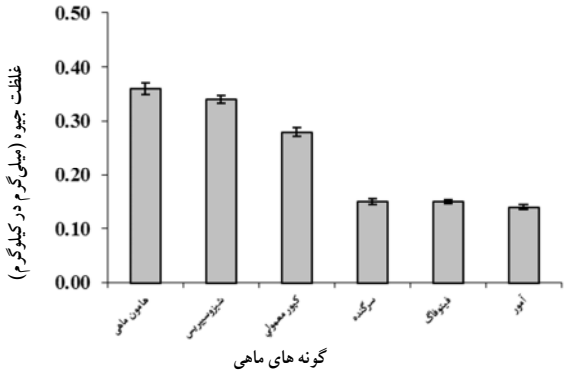
[1] Kolmogorov- Smirnov Test
[2] Kruskal-Wallis
[3] Mann-Whitney U
[4] Tukey



شکل ۲- رابطه بین متغیر مستقل اندازه (طول کل) و متغیر وابسته میزان جیوه در بافت عضله ماهیان مورد بررسی



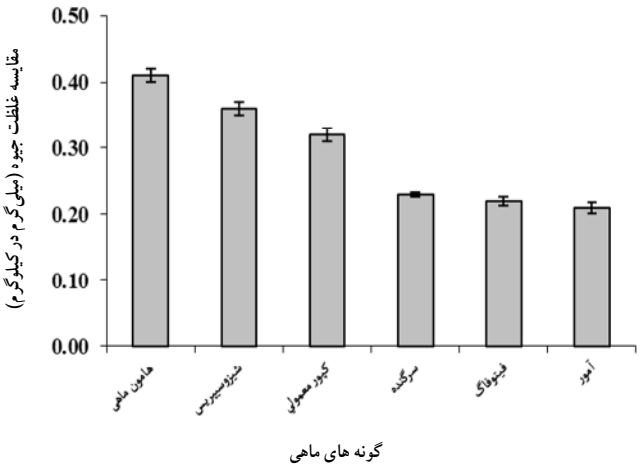
شکل ۳- مقایسه غلظت جیوه آب و رسوب ایستگاه‌های مورد بررسی (میلی‌گرم در لیتر)



شکل ۴- مقایسه غلظت جیوه عضله ماهیان مورد بررسی (میلی گرم در کیلوگرم)

جدول ۲- مقدار p آزمون من- ویتنی برای بررسی تفاوت میزان جیوه عضله (میلی‌گرم در کیلوگرم) بین گونه‌ها

گونه	آمور	کپور معمولی	فیتوفاگ	سرگنده	شیزوسیپریس	سفیدک
آمور	-	<۰/۰۰۱	۰/۳۹	۰/۰۷	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
کپور معمولی	-	-	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
فیتوفاگ	-	-	-	۰/۲۸	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
سرگنده	-	-	-	-	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
شیزوسیپریس	-	-	-	-	-	۰/۰۳
هامون ماهی	-	-	-	-	-	-



شکل ۵- مقایسه غلظت جیوه کلیه ماهیان مورد بررسی (میلی‌گرم در کیلوگرم)

جدول ۳- مقدار آزمون من- ویتنی برای بررسی تفاوت میزان جیوه کلیه (میلی‌گرم در کیلوگرم) بین گونه‌ها

گونه	آمور	کپور معمولی	فیتوفاگ	سرگنده	شیزوسیپریس	هامون ماهی
آمور	-	<۰/۰۰۱	۰/۵۸	۰/۰۲	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
کپور معمولی	-	-	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۳	<۰/۰۰۱
فیتوفاگ	-	-	-	۰/۲۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
سرگنده	-	-	-	-	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
شیزوسیپریس	-	-	-	-	-	۰/۰۱
هامون ماهی	-	-	-	-	-	-

(شکل ۵ و جدول ۳). به‌طور کلی غلظت جیوه کلیه برابر ۰/۲۹میلی‌گرم در کیلوگرم بیشتر از غلظت جیوه عضله برابر ۰/۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. آزمون ویلکاکسون[1] نشان می‌دهد که تفاوت بین این دو به لحاظ آماری معنی‌دار است (p<۰/۰۰۱).

[1] Wilcoxon

۴- بحث

۴-۱- ارزیابی خطر[2]

۴-۱-۱- ارزیابی خطر برای ماهیان و شکارچیان آن‌ها

سازمان‌های علمی مرجع در رابطه با تعیین استانداردها برای ارزیابی خطر، غلظت‌هایی را به‌عنوان حد آستانه[3] مشخص کرده‌اند. غلظت جیوه ۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در عضله ماهی می‌تواند باعث لاغری، ضعف هماهنگی جسمانی، کاهش اشتها و نیز مرگ و میر در خود ماهی‌ها شود [۲۳]. در حالی که غلظت ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم در ماهی باعث اثرات زیان‌آور در موجوداتی که از ماهی‌ها تغذیه می‌کنند، می‌شود [۲۴ و ۲۵]. در این پژوهش غلظت جیوه در هیچ یک از ماهی‌ها به این مقدار نرسیده بود. لذا مقدار موجود مشکل خاصی برای خود ماهی‌ها و صیادان آن‌ها مانند پرندگان ایجاد نمی‌کند. اما این مطلب یک استثنا دارد. پرندگان حساسی که از ماهی‌ها تغذیه می‌کنند در غلظت‌های جیوه غذایی (ماهی) بین ۰/۰۵ تا ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم اثراتی را نشان می‌دهند. همچنین پستانداران حساس در غلظت‌های جیوه غذایی (ماهی) برابر با ۱/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم نشانه‌های زیان آوری را بروز می‌دهند [۲۳، ۲۶ و ۲۷]. در این پژوهش رابطه بین اندازه ماهی و غلظت جیوه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش طول نمونه‌های ماهیان به جز هامون ماهی، غلظت جیوه در بافت عضله افزایش می‌یابد. نتایج مشابهی در ارتباط با افزایش غلظت جیوه در بافت عضله و کبد با اندازهٔ بدن در ماهی تون و شمشیر و کوسه ماهی گزارش شده است [۲۸ و ۲۹]. فرض اکثر پژوهشگران برای این پدیده، افزایش بار بدن ناشی از مدت زمان در معرض قرارگیری به این عنصر سمی است. به‌همین دلیل با افزایش جثه گونه، میزان جیوه نیز افزایش پیدا می‌کند [۳۰]. در برخی از پژوهش‌ها نیز رابطه‌ای بین طول و غلظت یافت نشده است. به‌عنوان مثال بین میزان جیوه در بافت کبد ماهی سوف با فاکتور طول هیچ گونه رابطه معنی‌داری مشاهده نشده است [۳۱].

۴-۱-۲- استانداردها و رهنمودها برای انسان

سازمان بهداشت جهانی[4] و سازمان خواروبار و کشاورزی سازمان ملل متحد[5] استاندارد ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان سطح آستانه جیوه تعیین کرده‌اند. منظور از سطح آستانه، سطح اثر[6] است

[2] Risk Assessment
[3] Threshold Level
[4] World Health Organization (WHO)
[5] Food and Agriculture Organization (FAO)
[6] Action Level

[۲۶، ۲۷ و ۳۲]. آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا[1] و اداره غذا و داروی آمریکا[2] مقدار یک میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان سطح آستانه جیوه در عضله مشخص کرده‌اند [۳۳ و ۳۴]. اتحادیه اروپا[3] مقدار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را در بافت خوراکی ماهی به‌عنوان معیار تعیین کرده‌اند، البته این مقدار برای برخی از گونه‌ها یک میلی‌گرم در کیلوگرم است [۳۵]. چین مقدار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را در ماهی‌های کنسرو شده تعیین کرده است که این مقدار در کنسرو کوسه ماهی، شمشیر ماهی‌ها، تون و اردک ماهی یک میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین شده است [۳۶]. ذکر این نکته ضروری است که گرچه اداره غذا و داروی آمریکا مقدار یک میلی‌گرم در کیلوگرم را به عنوان سطح آستانه یا سطح اثر تنظیم کننده ارائه کرده‌اند، اما مقدار ۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌عنوان سطح اثر معین نموده‌اند. غلظت جیوه عضله در گونه‌های مورد مطالعه شامل آمور، کپور معمولی، فیتوفاگ، سرگنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی به‌ترتیب ۰/۱۴، ۰/۲۸، ۰/۱۵، ۰/۱۵، ۰/۳۴ و ۰/۳۶ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. با ملاحظه استانداردهای مذکور مشخص می‌شود که همگی مقدار ۰/۵ تا یک میلی‌گرم در کیلوگرم را بیان کرده‌اند. نتایج مطالعه حاضر کمتر از حد پایین این محدوده است. بنابراین گرچه با توجه به این استانداردها مصرف این ماهی‌ها مشکل خاصی نخواهد داشت، اما توجه به دو نکته ضروری است: اول اینکه طبق گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی هر سطح و مقداری از جیوه می‌تواند مضر باشد و هیچ سطح اثر ویژه‌ای را برای جیوه نمی‌توان مشخص کرد [۳۷]. علت این امر به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جیوه مرتبط است که جیوه را تبدیل به یک عنصر سمی منحصر به فرد نموده است. نکته دوم تعداد دفعات مجاز مصرف است. سازمان بهداشت جهانی در سال ۱۹۹۷، حد مجاز مصرف ماهی را به‌طور ماهانه بر مبنای متیل جیوه تعیین کرده است [۷]. بنابراین با توجه به غلظت جیوه در عضله ماهی‌ها، می‌توان تعداد وعده‌های مجاز مصرف برای ماهی‌های تالاب هامون را برآورد کرد. بر این اساس تعداد مجاز وعده‌های غذایی ماهی برای آمور، چهار وعده، کپور، سه وعده، فیتوفاگ، چهار وعده، سرگنده، چهار وعده، شیزوسیپریس، دو وعده و شیزوتراکس، دو وعده به‌دست آمد. ذوالفقاری در سال ۲۰۰۶ میزان جیوه ورودی به بدن هر صیاد ساکن سواحل جنوبی دریای خزر را ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در روز برآورد نمود [۳۸]. در مطالعه مذکور با استفاده از فرمول تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، مقدار مرجع[4] جیوه ورودی ناشی از شاه کولی ۰/۰۰۵۵ میلی‌گرم در روز برآورد شد [۳۹]. همچنین با استفاده از فرمول تعیین شده توسط شصت و یکمین جلسه مشترک FAO/WHO، کمیته کارشناسی مواد غذایی[5] میزان جیوه ورودی هفتگی قابل تحمل[6]، ۰/۰۱۲ میلی‌گرم در روز برآورد شد [۴۰]. پژوهش دیگری توسط عسکری ساری و همکاران در سال ۲۰۱۲ در مورد میزان فلزات سنگین (جیوه، کادمیم، سرب) در عضله ماهی شوریده در بنادر صیادی آبادان و بندرعباس انجام شد [۴۱]. میزان تجمع جیوه، کادمیم و سرب در عضله ماهی شوریده بندرعباس به‌ترتیب ۰/۰۵۸، ۰/۲۷ و ۰/۶۶ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر بود. همچنین میزان تجمع جیوه، کادمیم و سرب در عضله ماهی شوریده آبادان به‌ترتیب ۰/۰۵۶، ۰/۲۵ و ۰/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن تر بود و با بندرعباس اختلاف معنی‌داری نداشت. اما میانگین میزان تجمع هر سه عنصر در بافت عضله ماهی شوریده بندرعباس بالاتر بود. در این پژوهش میزان جیوه در عضله ماهی شوریده در مقایسه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی و انجمن بهداشت ملی و تحقیقات پزشکی استرالیا[7] که حد مجاز یک میلی‌گرم در کیلوگرم را تعیین کرده‌اند، پایین‌تر بود [۴۲]. میزان سرب و کادمیم در مقایسه با استانداردهای سازمان بهداشت جهانی، وزارت کشاورزی، شیلات و غذای انگلستان[8]، انجمن بهداشت ملی و تحقیقات پزشکی استرالیا مقدار بالاتر را نشان داد [۴۲ و ۴۳].

۴-۲- تفاوت‌های بین گونه‌ای در ماهیان

میزان جیوه در عضله ماهی‌ها در این پژوهش قابل مقایسه با سایر پژوهش‌های مشابه است. میزان جیوه در عضله ماهی سیاه کولی ۰/۳۵ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است. همچنین میزان جیوه در ماهی زالون ۰/۱۲ و در ماهی شاه کولی ۰/۰۷ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شده است [۳۷]. همچنین میزان جیوه در این پژوهش قابل مقایسه با میزان جیوه عضله و خاویار دو گونه تاس ماهی ایرانی و اوزن برون توسط صادقی‌راد و همکاران در سال ۲۰۰۵ است [۴۴]. در تاس ماهی ایرانی میزان جیوه عضله ۰/۰۰۳ تا ۰/۱۶۸ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۰۶ و خاویار ۰/۰۰ تا ۰/۰۶۴ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۰۰۷ و در ماهی اوزون برون غلظت جیوه عضله ۰/۰۰ تا ۰/۲۲ میلی‌گرم در کیلوگرم با میانگین ۰/۰۵ و خاویار ۰/۰۰ تا ۰/۰۶۷ میلی‌گرم در

[1] United State Environmental Protection Agency (USEPA)
[2] Food and Drug Adminstration (FDA)
[3] Europe Union (EU)
[4] Reference Dose (RfD)
[5] JECFA
[6] Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI)
[7] NHMRC
[8] MAFF

جدول ۴- میزان جیوه اندازه گیری شده در عضله ماهیهای مختلف در مناطق مختلف (میلی گرم در کیلوگرم)

منطقه مورد مطالعه	گونه مورد مطالعه	میزان جیوه	منابع
دریای خزر	a- Huso huso b- Acipenser persicus c- Acipenser gueldenstaedtii d-Acipenser nudiventris e- Acipenser stellatus	a-۱/۴ b-۰/۳۳ c-۰/۳۲ d-۰/۶۷ e-۰/۰۶	[۴۵]
کانادا، رودخانه فراسر	White Sturgeon	۳/۳۷	[۴۶]
ایالات متحده، دریاچه قطبی(پراکنده)	a-Lacke Trout b-Grayling	a- ۰/۴۰ b- ۰/۱۴	[۴۷]
ترکیه، دریاچه سد آتاتورک	a- Chondrostoma regium b- Acanthobrama marmid c- Chalcalbuenus d- Mossulensis e- Carasobarbus luteus f- Cyprinus carpio	غیر قابل آشکارسازی	[۴۸]
کامبوج	ماهی آب شیرین	۰/۳۴۴	[۴۹]
تایوان، فروشگاه تایپه	a- Blue marlin b- Tuna c- Pacifi saury d- Ribbon fish e- Sea perch f- Milk fish g- Tila pia h- Carp	a- ۱۰/۳ b- ۹/۷۵ c-۱/۵۸ d-۱/۲۸ e-۱/۰۴۵ f-۱/۹۶ g-۲/۵۴ h-۲/۴۱	[۵۰]
خلیج فارس و دریای عمان	a- Orange spotted b- Spangled empror	a-۰/۹۹ b-۰/۴۵	[۵۱]

کیلوگرم با میانگین ۰/۰۰۸ بوده است. میزان جیوه اندازه‌گیری شده در بافت عضله برخی از ماهی‌ها در آب‌های مختلف بر حسب میلی‌گرم در کیلوگرم در جدول ۴ مقایسه شده است. همان‌طور که این جدول نشان می‌دهد، برخی از مطالعات، غلظت‌هایی بالاتر و برخی غلظت‌هایی پایین‌تر از مقدار به‌دست آمده در پژوهش حاضر را گزارش کرده‌اند.

همچنین غلظت جیوه کلیه در این پژوهش، در محدوده ۰/۳۱ تا ۰/۳۶ قابل مقایسه با غلظت جیوه کلیه در ماهی شاه کولی با مقدار برابر ۰/۱۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است [۳۸]. تفاوت‌های بین گونه‌ای در غلظت عناصر مورد مطالعه وجود داشت که به نظر می‌رسد علت این تفاوت‌ها سطوح تغذیه متفاوت، شیوه تغذیه یا موقعیت تغذیه و تمایل فلزات به پدیده انباشتگی زیستی است. انتظار می‌رود ماهیانی که در بالای زنجیره غذایی باشند، غلظت بیشتری از آلاینده‌ها را در خود داشته باشند. به‌عبارت دیگر جیوه پدیده بزرگنمایی زیستی را نشان می‌دهد [۵۲، ۵۳ و ۵۴]. در این پژوهش روند غلظت جیوه به‌صورت زیر بود

هامون ماهی>شیزوسیپریس>کپور معمولی> سرگنده>فیتوفاگ>آمور. هامون ماهی، شیزوسیپریس و کپور معمولی از گیاهان و جانوران آبزی کوچک تغذیه می‌کنند. به‌عبارت دیگر عادت گیاه‌خواری و گوشت‌خواری و به‌طور کلی عادت همه‌چیزخواری دارند. از طرف دیگر آمور، فیتوفاگ و سرگنده گیاه خوراند. بنابراین جایگاه پایین‌تری در زنجیره غذایی نسبت به سه گونه دیگر دارند. می‌توان گفت که گیاهخواران غلظت جیوه کمتری نسبت به همه‌چیزخواران دارند. بنابراین جیوه با پدیده‌های انباشتگی زیستی و بزرگنمایی زیستی باعث افزایش غلظت آلاینده در موجودات بالای زنجیره غذایی می‌شود.

۴-۳- وضعیت آلودگی در آب و رسوبات

در این پژوهش غلظت فلز سنگین جیوه در سه ایستگاه در آب و رسوبات تالاب مورد سنجش قرار گرفت. غلظت جیوه رسوبات در ایستگاه‌های یک دو سه به‌ترتیب ۰/۳۹، ۰/۴۴ و ۰/۴۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. در سال ۲۰۰۴، مورا و همکاران غلظت ۲۳ عنصر را در رسوبات دریای خزر اندازه‌گیری کردند [۵۵]. غلظت جیوه برای رسوبات ناحیه آذربایجان ۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، ایران

۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم، قزاقستان ۰/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم و روسیه ۰/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد. این نکته قابل ملاحظه است که غلظت جیوه در پژوهش حاضر بیشتر از مطالعه مورا است. در مورد کیفیت رسوبات رهنمودهای مختلفی ارائه شده است. رهنمودهای کیفیت رسوبات آمریکای شمالی شامل دو نوع درجه تأثیرگذاری پایین[1] برابر ۰/۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و درجه تأثیر گذاری متوسط[2] برابر ۰/۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است [۵۶]. همچنین محیط زیست کانادا دو نوع رهنمود را شامل رهنمودهای موقتی کیفیت رسوبات[3] برابر ۰/۱۳ میلی‌گرم در کیلوگرم و سطح اثرات احتمالی[4] برابر ۰/۷۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده است [۵۷]. مقایسه مقادیر جیوه در سه ایستگاه با رهنمودهای سطح اثرات احتمالی و درجه تأثیرگذاری متوسط نشان می‌دهد که تمامی مقادیر به‌دست آمده پایین‌تر از این دو رهنمود هستند. اگرچه مقدار مذکور بالاتر از رهنمودهای درجه تأثیر گذاری پایین و رهنمود موقتی کیفیت رسوبات قرار می‌گیرند. غلظت جیوه آب در ایستگاه‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۰۶، ۰/۰۷ و ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر بود. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا معیارهایی را برای غلظت جیوه آب تعیین نموده است. معیار حیات آبی[5] برای مواجهه مزمن و حاد با جیوه ۰/۷۷ و ۱/۴ میلی‌گرم در لیتر تعیین شده است [۵۸]. در این پژوهش فلز جیوه بیشترین انباشتگی را به‌ترتیب در رسوبات، بافت‌های ماهی و در نهایت آب داشته است. هنگامی که عوامل آلاینده از منابع مختلف وارد اکوسیستمی مثل تالاب می‌شوند، مقدار زیادی از آن وارد رسوبات می‌شود و در رسوبات ذخیره می‌شود. به مرور زمان عناصر در موجودات زنده انباشته می‌شوند. در سال ۲۰۰۰، هگت و همکاران رسوبات و انواعی از ماهیان را از سه دریاچه در سه حوزه آبریز مختلف در شمال می‌سی‌سی‌پی[6] به‌منظور ارزیابی آلودگی جیوه جمع‌آوری کردند [۵۹]. غلظت متوسط جیوه کل در رسوبات دریاچه‌های سادریس[7]، ایند[8] و گرندا[9] به‌ترتیب ۰/۱۲۲، ۰/۰۸۸ و ۰/۱۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم در سال ۱۹۹۸ بود. غلظت جیوه در رسوبات در سال ۱۹۹۹ در هر سه دریاچه مشابه و عموماً کمتر از غلظت سال ۱۹۹۸ بود. غلظت متوسط جیوه کل در فیله خوراکی ماهی‌های جمع‌آوری شده از رودخانه ایند در سال ۱۹۹۸، بیش از سطح اثر سلامتی انسان تعیین شده توسط FDA برابر یک میلی‌گرم در کیلوگرم بود. غلظت جیوه باس[10]، ۱/۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، کراپیه[11]، ۱/۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم و در گار[12]، ۱/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بود.

۴-۴- بررسی منشاء آلودگی و تهدیدات تالاب هامون

در این پژوهش مشخص شد که آلودگی جیوه در ماهی، آب و رسوبات تالاب هامون صابری و هیرمند در مقادیر مختلف وجود دارد. ورود فاضلاب شهری، فاضلاب صنایع منطقه (صنایع کوچک)، استفاده از فاضلاب برای کشاورزی و نشت آن، زهاب معادن مختلف زابل، کودهای شیمیایی مختلف و مصرف آفت‌کش‌ها از عوامل آلودگی تالاب به جیوه می‌باشند. اصولاً حوضه‌های آبخیز که آب تالاب از آن‌ها وارد می‌شود و همچنین محیط پیرامون تالاب فاقد صنایع بزرگ مرتبط با جیوه است. به نظر می‌رسد سایر عوامل از قبیل آلودگی جیوه ناشی از مصرف آفت‌کش‌ها در کشاورزی تأثیر بیشتری داشته باشند. قرار گرفتن تالاب در یک منطقه مرزی با شرایط خاص در بالادست ممکن است منشاء مهم آلودگی باشد که نقش تمامی عوامل را چند برابر می‌کند. بر اساس پروتکل اول کنوانسیون ژنو، محیط زیست همواره باید مورد حفاظت قرار گیرد اما متأسفانه در اغلب موارد محیط زیست مورد تعرض قرار می‌گیرد. مجموعه تالاب‌های هامون که توسط رودخانه هلمند تغذیه می‌شود، نه تنها برای حیات و کشاورزی منطقه سیستان حائز اهمیت است، بلکه به‌دلیل قرار گرفتن در مرکز مناطق کویری و نیمه کویری بین کشورهای افغانستان، پاکستان و ایران، تنها مأمن زیستی پرندگان مهاجر در این منطقه به‌شمار می‌رود. متاسفانه این دو تالاب در تاریخ ۱۹۹۰/۷/۴ در فهرست تالاب‌های در معرض خطر مونترو[13] قرار گرفته‌اند و چهار تالاب دیگر از ایران نیز در کنار آن‌ها هستند. این تالاب هم اکنون در معرض عوامل تهدید کننده طبیعی و غیر طبیعی قرار دارد. تغییرات اکولوژیکی، فعالیت‌های تکنولوژیکی، آلودگی و دیگر فعالیت‌های انسانی باعث شده است، این تالاب‌ها در معرض شرایط ناگواری قرار بگیرند. در کشور افغانستان سدهای زیادی از جمله سد کجکی[14] که یکی از بزرگ‌ترین آن‌ها است، احداث شده است. این سد که آبخیز اصلی حوضه سیستان است، در سال ۱۹۵۳

[1] Effect Range Low (ERL)
[2] Effect Range Medium (ERM)
[3] Interim Sediment Quality Guidelines (ISQG)
[4] Probable Effects Level (PEL)
[5] Aquatic Life Criteria (ALC)
[6] Mississippi
[7] Sadris
[8] Eind
[9] Greneda
[10] Bass
[11] Crappie
[12] Gar
[13] Montreux Record
[14] Kajakai Dam

میلادی توسط شرکت آمریکایی بین‌المللی گروه واشنگتن[1] ساخته شد. از آنجا که حیات هامون به رودخانه هلمند و انشعابات فرعی آن وابسته است، آبگیری آن منوط به نوسانات طبیعی یا مصنوعی مانند احداث کانال رودخانه هلمند است و آبگیری سدها در افغانستان تأثیر زیادی در کاهش آبگیری تالاب داشته است. هامون صابری دیرتر از هامون هلمند خشک می‌شود، اما غلظت مواد آلی ناشی از فضولات حیوانی، شیمیایی ناشی از فاضلاب‌های کشاورزی و املاح آن بالاتر است. هامون پوزک در اکثر اوقات سال دارای آب است و کیفیت آب، به‌علت تراکم کم جوامع انسانی در اطراف آن و ایجاد آلودگی کمتر، بهتر از هامون هیرمند و صابری است. در کنوانسیون سال ۱۹۹۲ هلسینکی[2] اشاره شده که احداث سازه در بالادست رودخانه باید با در نظر گرفتن حق آبه کشورهای پایین‌دست رودخانه باشد. وزارت نیرو و سازمان حفاظت محیط زیست باید اقدامات قانون‌مند مدیریت منابع آب مرزی را به‌طور جدی دنبال نمایند. بدون شک کاهش آب یک منطقه افزایش غلظت آلودگی و کاهش توان خودپالایی یک اکوسیستم را به دنبال دارد. همانطور که ذکر شد بهره برداری و صید بی رویه از ذخایر آبزیان تالاب‌ها، تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به تالاب‌ها، زهکشی تالاب‌ها به‌منظور تغییر کاربری، تالاب‌های ایران را تهدید می‌کند، اما مهم‌ترین تهدید تالاب‌های ایران که به‌ویژه در مورد هامون صدق می‌کند، کاهش جریان آب ورودی و خشک شدن تالاب است.

۵- نتیجه‌گیری

غلظت جیوه عضله در گونه‌های مورد پژوهش تالاب هامون شامل آمور، کپور معمولی، فیتو فاگ، سر گنده، شیزوسیپریس و هامون ماهی کمتر از مقدار سطح اثر یا سطح تعیین شده توسط سازمان‌های مربوطه بود، اما خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جیوه و سمیت بالای آن بیان کننده این مطلب است که هر مقداری از جیوه می‌تواند اثرات زیان‌آوری داشته باشد.

ماهیان همه‌چیزخوار غلظت بیشتری از آلاینده‌ها را نسبت به ماهیان گیاه خوار در خود انباشته می‌کنند.

غلظت جیوه رسوبات بالاتر از رهنمودهای ERL و ISQG و پایین‌تر از رهنمودهای PEL و ERM بود.

قرار گرفتن تالاب در یک منطقه مرزی با شرایط خاص در بالادست می‌تواند علت اصلی آلودگی باشد.

[1] Washington Group International
[2] Helsinki

۶- مراجع

1. <http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-documents-list/main/ramsar> (Dec. 2014)
2. <http://www.doe.ir/Portal/Home/Default.aspx> (Sep. 2012)
3. Shamohamadi, Z., and Maleki, S. (2011). *Life of Hamoun*. Jahad Daneshgahi, Tehran. (In Persian)
4. <http://www.irandeserts.com/content> (Aug. 2014)
5. Velayatzadeh, M., and Abdollahi, S. (2011). "Study and comparison of Hg, Cd and Pb accumulation in the muscle and liver tissues of Aspius vorax in Karoon river, in winter season." *J. Anim. Environ*., 2 (4), 65- 72.
6. Vahid Dastjerdi, M., Shanbehzadeh, S., and Zahab Saniei, A. (2006). "A study of heavy metals concentration in water, soil and plant of Gavkhoni marsh." *J. Hyg. Health*, 2 (1), 1-6.
7. Esmaili Sari, A. (2002). *Pollution, health and environmental standards*, Naghshe -e- Mehr, Tehran. (In Persian).
8. Esmaiili-Sari, A., Noori-Sari, H., and Esmaiili-Sari, A. (2007). *Mercury in the environment*, Bazargan, Rasht. (In Persian).
9. Vupputuri, S., Longnecker, M.P., Daniels, J.L., Guo, X., and Sandler, D.P. (2005). "Blood mercury level and blood pressure among US women: Results from the national health and nutrition examination survey." *Environ. Res*., 97(2), 195-200.
10. Lund, B.O., Miller, D.M., and Woods, J.S. (1993). "Studies on Hg(II)-induced H_2O_2 formation and oxidative stress in vivo and in vitro in rat kidney mitochondria." *Biochem. Pharmacol*., 45(10), 2017-2024.

11. Salonen, J.T., Seppanen, K., Nyyssonen, K., Korpela, H., Kauhanen, J., Kantola, M., Tuomilehto, J., Esterbauer, H., Tatzber F., and Salonen, R. (1995). "Intake of mercury from fish, lipid peroxidation, and the risk of myocardial infarction and coronary, cardiovascular, and any death in Eastern Finnish men." *Circulation*, 91, 645-655.
12. Cordier, S., Deplan, F., and Mandereau, L. (1991). "Paternal exposure to mercury and spontaneous abortions." *Br. J. Ind. Med*., 48(6), 375-381.
13. Svare, C.W., Peterson, L.C., Reinhardt, J.W., Boyer, D.B., Frank, C.W., and Gay, D.D. (1981). "The effects of denial amalgams on mercury in expired air." *J. Dent. Res*. 60, 1668-1671.
14. Virtanen J.K., Rissanen, T.H., Voutilainen, S., and Tuomainen, T.P. (2007). "Mercury as a risk factor for cardiovascular diseases." *J. Nutr. Biochem*., 8(2), 75-85.
15. Wagner, A., and Boman, J. (2003). "Biomonitoring of trace elements in muscle and liver tissue of freshwater fish." *Spectrochim. Acta, Part B*, 58, 2215-2226.
16. Jefferies, D.J., and Firestone, P. (1984). "Chemical analysis of some coarse fish from a Suffolk River carried out as part of the preparation for the first release of captive-bred otters." *J. Otter Trust*, 1(18), 17-22.
17. Mansour, S.A., and Sidky, M.M. (2002). "Ecotoxicological studies: 3. Heavy metals contaminating water and fish from Fayoum Gov. Egypt." *Food Chem*., 78, 15-22.
18. Tarassoli, A., Esmaili sari, A., and Valinasab, T. (2013). "An investigation of mercury bioaccumulation and its relation with Selenium in the muscle and liver tissues of Milk Shark (Rhizoprionodon acutus)." *J. Environ. Sci*., 3, 37-46. (In Persian).
19. Molazadeh, N., and Nozari, M. (2014). "Study of mercury bioaccumulation in some organs of Anzali wetland Pike (Esoxlucius) and mercury concentration relation with total body length and sex." *J. Wetland Ecology*., 6 (21), 49-58 (In Persian).
20. Barak, N.A.E., and Mason, C.F. (1990). "Mercury, cadmium and lead concentrations in five species of freshwater fish from Eastern England." *Sci. Total Environ*., 92, 257-263.
21. Forstner, U., and Wittmann, G.T.W. (1983). *Metal pollution in the aquatic environment*, Springer-Verlag, Berlin.
22. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S.M., and Hasanzadeh-Kiabi, B. (2007). "Examination of mercury concentration in the feather of eighteen species of birds in Southwest Iran." *Environ. Res*., 104, 258-265.
23. Eisler, R. (1987). "Mercury hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review." *US Fish and Wildlife Service Report*, 85, 1-10.
24. Spry, D.J., and Wiener, J.G. (1991). "Metal bioavailability and toxicity to fish in low-alkalinity lakes: A critical review." *Environ. Pollut*., 71, 243-304.
25. Wiener, J.G., and Spry, D.J. (1996). "Toxicological significance of mercury in freshwater fish." In: Beyer, W.N., Heinz, G.H., Redmon-Norwood, A.W. (Eds.) *Environmental contaminants in wildlife: Interpreting tissue concentrations*, SETAC, Lewis Publ., Boca Raton, FL.
26. WHO. (1990). *IPCS-Methylmercury, environment health criteria*, World Health Organization, USA.
27. WHO. (1991). *IPCS-Inorganicmercury. Environment health criteria*, World Health Organization, USA.
28. Storelli, M.M., and Marcotrigiano, G.O. (2002). "Mercury speciation and relationship between mercury and selenium in liver of Galeus melastomus from the Mediterranean Sea." *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 69, 516-522.

29. Branco, V., Vale, C., O Canario, J., and Neves dos Santos, M. (2007). "Mercury and selenium in Blue Shark (Prionace glauca, L. 1758) and swordfish (Xiphias gladius, L. 1758) from two areas of the Atlantic Ocean." *Environ. Poll*., 150, 373-380.

30. Szefer, P., Domagała-Wieloszewska, M., Warzocha, J., Garbacik-Wesołowska, A., and Ciesielski, T. (2003). "Distribution and relationships of mercury, lead, cadmium, copper and zinc in Perch (Perca fluviatilis) from the Pomeranian Bay and Szczecin lagoon, Southern Baltic." *Food Chem*., 81, 73-83.

31. Taheriazad, L., Esmaili Sari, A., and Razaie Tavabe, K. (2009). "Mercury content in the liver of Zander fish (Sander lucioperca) in relation to length, weight, age and sex." *Veterinary J*., 21(3), 10-17.

32. FAO/WHO. (1987). *Principles of the safety assessment of food additives and contaminants in food, environmental health criteria*, *Geneva*, No: 70.

33. EPA. (2004). "Update: National listing of fish and wildlife consumption advisories." Cincinnati, Ohio, US Environmental Protection Agency, available at <ysiwyg// 104/http://www.epa.gov/ost/fish/advisories/general.html> (March, 2012)

34. FDA. (2001). *FDA consumer advisory*, Food and Drug Administration.

35. EU. (2001). "Commission Regulation as regards heavy metals." Directive 2001/22/EC, No: 466/2001.

36. Burger, J., and Gochfeld, M. (2005). "Heavy metals in commercial fish in New Jersey." *Environ. Rese*., 99, 403-412.

37. Zolfaghari, G., Esmaili-Sari, A., Ghasempouri, S.M., Ghorbani, F., Ahmadifard, N., and Shokri, Z. (2006). "The comparison of relation between age, sex and weight with mercury concentration in different tissues of Chalcalburnus chalcalburnus from Anzali wetland, Iran." *J. Mar. Sci. Technol*., 5(3-4), 23-31.

38. Zolfaghari, G. (2006). "Biological monitoring of environmental and occupational exposure to mercury and assessment of factors influencing its levels." MSc Thesis, Tarbiat Modares University, Iran. (In Persian)

39. US EPA. (1997). *Mercury study report to congress*, Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, Washington, DC.

40. JECFA. (2003). *Summary and conclusions of the 61st meeting of the joint FAO/WHO expert committee on food additives (JECFA)*, JECFA/61/SC. Rome, Italy.

41. Askary Sary, A., Javahery Baboli, M., Mahjob, S., and Velayatzadeh, M. (2012). The comparison of heavy metals (Hg, Cd, Pb) in the muscle of Otolithes ruber in Abadan and Bandar Abbas Ports, the Persian Gulf." *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 21 (3), 99-106.

42. Chen, Y.C., and Chen, M.H. (2001). "Heavy metal concentrations in nine species of fishes caught in coastal waters off Ann-Ping, S.W. Taiwan." *Journal of Food and Drug Analysis*, 9, 107-114.

43. MAFF. (1995). *Monitoring and surveillance of nonradioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal of wastes at sea, 1993.* Aquatic Environment Monitoring Report No. 44. Direcorate of Fisheries Research, Lowestoft.

44. Sadeghi Rad, M., Amini Ranjbar, Gh., Arshad, A., and Joshiedeh, H. (2005). "Assessing heavy metal content of muscle tissue and caviar of Acipenser persicus and Acipenser stellatus in southern Caspian Sea". *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 14, 79-100.

45. Agusa, T., Kunito, T., Tanabe, S., Pourkazemi, M., and Aubrey, D.G. (2004). "Concentration of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian sea." *Mar. Pollut. Bull*., 49, 789-800.

46. Macdonald, D.D., Ikonomou, M.G., Rantalaine, A.L., Rogers, I.H., Sutherland, D., and Ostdam, J.V. (1997). "Contaminants in white sturgeon (Acipenser transmontanus) from the upper Fraser River, British Columbia, Canada." *Environ. Toxicol. Chem*., 16, 479-490.

47. Allen-Gil, S.M., Gubala, C.P., Landers, D.H., Lasorsa, B.K., Crecelius, E.A., and Curtis, L.R. (1997). "Heavy metal accumulation in sediment and freshwater fish in U.S. Aarctic lakes." *Environ. Toxicol. Chem*., 16, 733-741.

48. Karadede, H., Oymak, S. A., and Unlu, E. (2004). "Heavy metals in mullet, Liza abu and Cat fish, Silurus triostegus, from the Atatu¨rk Dam Lake (Euphrates), Turkey." *Environ. Int*., 30, 183-188.

49. Kashima, Y., Matsui, M., Fukui, S., Kizu, K., and Doi, R. (1999). "Heavy metal levels in freshwater fish in Cambodia and Southeast Asia/final report of research program on the environment in Cambodia to the Toyota Foundation." *Group of Environmental Research in Cambodia*, Niigata 111-124 (In Japanese).

50. Han, B.C., Jeng, W.L., Chen, R.Y., Fang, G.T., Hung, T.C., and Tseng, R.J. (1998). "Estimation of target hazard quotients and potential health risks for metals by consumption of seafood in Taiwan." *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 35, 711-720.

51. Demora, S., Fowler, S.W., Wyse, E., and Azemard, S. (2004). "Distribution of heavy metals in marine bivalves, fish and coastal sediments in the Persian Gulf and Gulf of Oman." *Mar. Pollut. Bull*., 10, 410-424.

52. Fairey, R., Taberski, K., Lamerdin, S., Johnson, E., Clark, R.P., Downing, J.W., Newman, J., and Petreas, M. (1997). "Organochlorines and other environmental contaminants in muscle tissue of sportfish collected from San Francisco Bay." *Mar. Pollut. Bull*., 34, 1058-1071.

53. Campbell, K.R. (1994). "Concentrations of heavy metals associated with urban runoff in fish living in stormwater treatment ponds." *Arch. Environ. Contam. Toxicol*., 27, 352-356.

54. Burger, J., Gaines, K.F., Boring, C.S., Stephens, W.L., Snodgrass, J., and Gochfeld, M. (2001). "Mercury and selenium in fish from the Savannah River: Species, trophic level, and locational differences." *Environ. Res*., 87, 108-118.

55. Mora, S., Sheikholeslami, M.R., Wyse, E., Azemard S., and Cassi, R. (2004). "An assessment of metal contamination in coastal sediments of the Caspian Sea." *Mar. Pollut. Bull*., 48, 61-77.

56. Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., and Calder, F.D. (1995). "Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments." *Environ. Manage*, 19, 18-97.

57. ISQG. (1995). *Interim sediment quality guidelines*, Environment Canada, Ottawa.

58. Gammons, C.H., Slotton, D.J., Gerbrandt, B., Weight, W., Young, C.A., McNearny, R.L., Camac, E., Calderon, R., and Tapia, H. (2006). "Mercury concentrations of fish, river water, and sediment in the Río Ramis-Lake Titicaca watershed, Peru." *Sci. Total Environ*., 368, 637-648.

59. Haggett, D.B., Steevens, J.A., Allgood, J.C., Lutken, C.B., Grace, C.A., and Benson, W.H. (2001). "Mercury in sediment and fish from North Mississippi lakes." *Chemosphere,* 42, 923-929.