

ردیابی جیوه کل در یک زنجیره غذایی آب شیرین (دریاچه سد قشلاق سنندج، ایران)

شهناز زارع^۱، شهرام کیودوندپور^{۲*}

پذیرش: ۹۳/۰۶/۰۸

دریافت: ۹۳/۰۳/۱۱

چکیده

زمینه و هدف: با توجه به اهمیت دریاچه سد قشلاق سنندج و آلوده بودن این دریاچه به فلز سنگین جیوه و افزایش غلظت و سمیت جیوه ضمن جابجایی بین افق‌های غذایی، مطالعه حاضر انجام شد، تا فاکتور تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی جیوه کل در طول یک مسیر غذایی از زنجیره غذایی (آب، رسوب، ماهی، انسان) در این دریاچه مورد بررسی قرار گیرد.

روش بررسی: از فروردین تا شهریورماه سال ۱۳۹۱، ۲۴ نمونه آب، ۲۴ نمونه رسوب، ۲۴ نمونه سیاه ماهی خالدار (*Capoeta trutta*) از دریاچه و ۲۴ نمونه (بافت مو) از ساکنین روستای سراب قامیش که عمده‌ترین مصرف‌کنندگان ماهی دریاچه هستند گرفته شد.

یافته‌ها: میانگین مقدار جیوه کل اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب، رسوب، ماهی و موی انسان به ترتیب 0.00128 ± 0.00028 ، 0.0057 ± 0.00110 ، 0.119 ± 0.0296 ، 2.059 ± 0.1704 ppm بوده و فاکتور تجمع زیستی در مورد رسوب و سیاه ماهی خالدار به ترتیب 4×10^2 و 1×10^2 و بزرگنمایی زیستی به ترتیب ۴۰ و ۵ محاسبه شد.

نتیجه‌گیری: با توجه به رقم بالای نرخ تجمع و بزرگنمایی زیستی و غلظت جیوه کل ثبت شده در بافت ماکول سیاه ماهی خالدار دریاچه سد قشلاق سنندج، استفاده‌کنندگان از ماهی‌های این دریاچه، حداکثر مجاز به مصرف ۱۱۸۲ g از بافت عضله این ماهی در هفته بدون در نظر گرفتن سایر منابع بالقوه جیوه در سبد غذایی‌شان هستند.

واژگان کلیدی: دریاچه سد قشلاق سنندج، زنجیره غذایی، جیوه کل، آلودگی، تجمع زیستی، *Capoeta trutta*

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته محیط زیست دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

kaboodvandpour@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول: دکترای محیط زیست، استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

مقدمه

یکی از فرآیندهایی که در زنجیره‌های غذایی بسیار اتفاق می‌افتد، بزرگنمایی زیستی (Biomagnification) برخی عناصر و ترکیبات خاص است که سبب می‌گردد غلظت آن‌ها به صورت تصاعدی در خلال انتقال از یک افق غذایی به افق غذایی بالاتر در بافت‌های زنده افزایش یابد (۱) و در واقع حالت خاصی از تجمع زیستی (Bioaccumulation) است. تجمع زیستی به معنای افزایش غلظت یک ماده شیمیایی در طول زمان، در مقایسه با غلظت آن در محیط اطراف است و پی بردن به روند آن در حفظ سلامت انسان و سایر موجودات در برابر تاثیرات سوء ناشی از تماس با آن ماده شیمیایی بسیار مهم است. امروزه محاسبه تجمع زیستی مواد شیمیایی مختلف به یک راهبرد اساسی جهت کنترل اثرات سوء مواد شیمیایی تبدیل شده است (۲).

تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی در رابطه با فلزات سنگین به خصوص در محیط‌های آبی به وفور اتفاق می‌افتد (۳). برخی از این فلزات مانند آهن، مس و روی به میزان کم برای حیات آبیان ضروری هستند اما برخی دیگر مانند فلز سنگین جیوه در مسیر جذب سایر فلزات ضروری توسط ماهی، جذب شده و در بافت‌های آن‌ها تجمع می‌یابند (۴). جیوه قابلیت بسیار بالایی برای تجمع زیستی در بدن موجودات زنده و انتقال به افق‌های غذایی بالاتر در زنجیره‌های غذایی از طریق فرآیند بزرگنمایی زیستی را دارد (۷). به عنوان مثال؛ متیل جیوه توسط گیاهان آبی، جلبک‌ها، موجودات ابتدایی زنجیره غذایی جذب و سپس وارد بدن ماهی‌ها و متعاقب آن به سطوح غذایی بالاتر زنجیره‌های غذایی در اکوسیستم آبی وارد می‌شود. به شکلی که بالاترین غلظت متیل جیوه که خطرناک‌ترین ترکیب شناخته شده جیوه در طبیعت است (۸)، در بافت‌های مصرف‌کنندگان نهایی زنجیره‌های غذایی آبی مانند کوسه و تن ماهیان اندازه‌گیری شده است (۹). ماهی آلوده می‌تواند بخشی از سبب غذایی خانوار را به خود اختصاص داده و تهدیدی جدی برای سلامتی انسان به ویژه کودکان و زنان باردار باشد. زیرا جیوه، توسط جفت به جنین و از طریق شیر مادر به کودک انتقال یافته و علاوه بر تاثیرات منفی قابل توجه بر روی مغز و توسعه بافت‌ها، عوارضی

همچون؛ ناهنجاری سیستم عصبی، تاخیر در صحبت کردن و راه رفتن کودک به وجود می‌آورد (۵).

مطالعات بسیاری در جهان و در ایران در رابطه با این فلز خطرناک انجام شده است؛ به عنوان مثال: در سال ۱۳۸۷ ضمن مطالعه‌ای که توسط Amani و همکاران (۷) در خصوص بررسی کیفیت آب دریاچه سد قشلاق سنندج انجام شد، مشخص شد که غلظت جیوه کل موجود در آب این دریاچه از استانداردهای مورد قبول مانند؛ سازمان بهداشت جهانی (WHO)، (۲ $\mu\text{g/L}$) و ایران (۱ $\mu\text{g/L}$) بالاتر است.

مطالعات اخیر (۸ و ۹) نیز بروز تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی را در پیکره‌های پلانکتونی، بتوزی، رسوبات و عضله دو ماهی غیربومی این دریاچه به اثبات رسانیده است. لذا با توجه به نقش مهم این دریاچه در تامین آب شرب و تولید فرآورده‌های غذایی از جمله ماهی شهرستان سنندج، ردیابی زیستی فلز سنگین جیوه در یکی از مسیرهای غذایی موجود در زنجیره غذایی آب شیرین این اکوسیستم، در فصل بهار و تابستان در راستای حفظ و مدیریت این اکوسیستم و نیز تعیین سطح ملاحظات بهداشتی برای مصرف فرآورده‌های شیلاتی این بوم سازگان، بسیار حائز اهمیت خواهد بود. بنابراین، مطالعه حاضر با هدف ردیابی زیستی فلز سنگین جیوه، و بررسی قابلیت‌های تجمع‌زیستی و بزرگنمایی زیستی جیوه کل در یکی از مسیرهای غذایی زنجیره غذایی دریاچه سد قشلاق سنندج در دو فصل بهار و تابستان سال ۱۳۹۱ طراحی و به مورد اجرا گذاشته شد.

مواد و روش‌ها

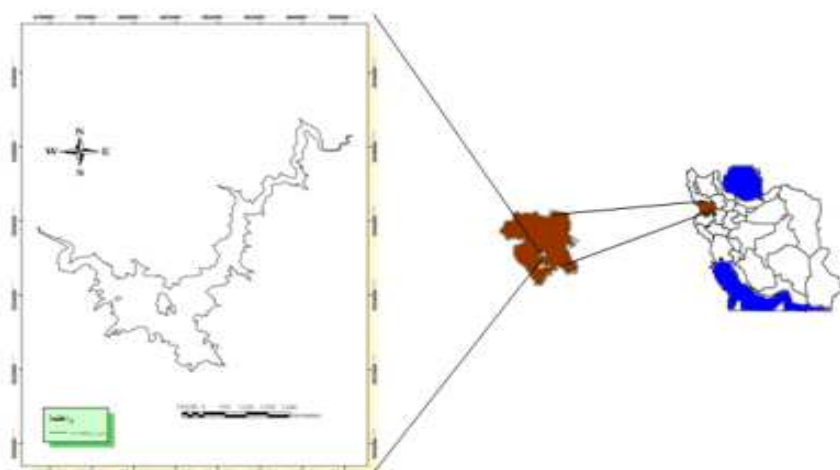
الف. معرفی منطقه، روش نمونه‌برداری

محل اجرای این مطالعه سد قشلاق سنندج (۳۵° ۲۶' ۵۸") عرض شمالی و "۱۰' ۵۹' ۴۶° طول شرقی) با مساحت ۸۷۵ km^۲ و ظرفیت ۲۲۴۰۰۰۰۰۰ m^۳ آب، در ۱۲ km شمال شرقی شهرستان سنندج در استان کردستان بود. نمونه‌برداری به صورت ماهانه از آغاز فصل بهار (فروردین ماه) به مدت ۶ ماه با انتخاب ۴ ایستگاه؛ قسمت کم عمق دریاچه یا منطقه ساحلی (ایستگاه ۱)، قسمت اصلی و عمیق دریاچه (ایستگاه ۲)، پشت دیواره سد (ایستگاه

نمونه‌های آب با استفاده از نمونه‌بردار روتنر (۹)، نمونه‌های رسوب بستر به وسیله دستگاه رسوب‌گیر اکمن به ابعاد 20×20 cm (۱۰) و نمونه‌های ماهی، با استفاده از تور گوش‌گیر با مجوز اداره کل حفاظت محیط زیست استان کردستان، به دست آمدند. سایر متغیرهای فیزیکی آب شامل: دما، شفافیت آب (با استفاده از سکشی دیسک) و هم‌چنین عمق (با استفاده از وزنه و طناب) از روی قایق اندازه‌گیری شد.

هم‌چنین، نمونه‌های موی سر از نزدیک‌ترین نقطه به پوست سر و از پشت سر (۱۲) به صورت کاملاً تصادفی از موی سر ساکنین روستای سراب قامیش سنندج تهیه شدند. طبق پرسشنامه‌ای که توسط افراد تکمیل گردید (جدول ۱) برای این‌که تاثیر متغیر سن بر مقدار جیوه در مو خنثی گردد، از گروه‌های سنی مختلف (کودکان، نوجوانان؛ جوانان، میان‌سالان و افراد مسن) به مقدار برابر نمونه تهیه شد. علاوه بر این، سعی شد افرادی که دندان پر کرده نداشته و در یک سال گذشته مبادرت به تزریق واکسن ننموده‌اند و سهم ماهی مورد نظر در سبد غذایی آن‌ها بیشتر است، به عنوان جامعه هدف استفاده شوند.

۳) و محل ورود آب رودخانه قشلاق به دریاچه سد (ایستگاه ۴) انجام شد (شکل ۱). در خلال مطالعه حاضر به مدت ۶ ماه، ۲۴ نمونه آب و ۲۴ نمونه رسوب (به ازای هر ماه ۴ نمونه) از ۴ ایستگاه ذکر شده، به صورت تصادفی و بر اساس روش‌های توصیه شده توسط UNEP (۵)، Willis (۱۷) و Ebinghaus (۲۵) از اعماق ۵۰ cm، ۱۰ m و ۲۰ m به صورت نمونه ترکیبی به دست آمد. نمونه‌های آب برای اندازه‌گیری غلظت جیوه کل موجود در آب به عنوان محیط فیزیکی بوم سازگان دریاچه سد قشلاق سنندج و نمونه‌های رسوب به عنوان بستر زیست موجوداتی (بنتوز) که رژیم غذایی اصلی سیاه ماهی خالدار (*Capoeta trutta*; Heckel, ۱۸۴۳) را تشکیل می‌دهد، مورد نمونه‌برداری قرار گرفتند. هم‌چنین ماهانه ۴ نمونه سیاه ماهی خالدار به دلیل بومی بودن این ماهی (۲۶، ۲۷) در بوم‌سازگان مورد مطالعه، عمدتاً بتوزخوار بودن (۲۷) و پر مصرف بودن آن در منطقه به عنوان گونه مورد مطالعه انتخاب و صید شدند. هم‌زمان ۴ نمونه مو از ناحیه سر ساکنین روستای سراب قامیش، به عنوان واحد جمعیتی هدف که بیشترین سهم را در مصرف فرآورده‌های غذایی دریاچه سد قشلاق سنندج به دلیل هم‌جواری با این بوم سازگان آبی را دارند، جمع‌آوری شد.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (دریاچه سد قشلاق سنندج)

ب. روش هضم و دستگاه مورد استفاده

جیوه کل موجود در نمونه‌های آب، پس از استخراج توسط اسید نیتریک طبق روش Logar و همکاران (۱۱) با استفاده از دستگاه جذب اتمی (Model: Biotech)، روش بخارات سرد اندازه‌گیری و بر حسب میلی گرم بر لیتر گزارش گردید. جیوه کل موجود در نمونه‌های رسوب نیز پس از جداسازی مواد زائد (مانند: قطعات چوب، بقایای گیاهی و جانوری و ...) و خارج کردن آب اضافی به وسیله دستگاه ساترفیوژ، با استفاده از روش Kanno و همکاران (۱۳) هضم و توسط همان دستگاه اندازه‌گیری و بر حسب میکرو گرم بر گرم گزارش گردید.

ج. روش تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در محیط نرم‌افزاری SPSS (Release ۱۷) و رسم نمودارها در نرم‌افزار (۲۰۱۰ office) Excel انجام شد. نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون کولموگروف-سمیرنوف مورد ارزیابی قرار گرفته و مقایسه میانگین غلظت جیوه کل تجمع یافته در نمونه‌های آب، رسوب، بافت عضله سیاه ماهی خالدار و موی سر ساکنین روستای سرآب قامیش با در نظر گرفتن دو عامل ماه و ایستگاه با استفاده از طرح بلوک کاملاً تصادفی انجام شد. جهت محاسبه همبستگی میان غلظت جیوه کل در نمونه‌های رسوب و آب با مقدار جیوه کل تجمع یافته در بافت عضله سیاه ماهی خالدار از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. به همین ترتیب همبستگی بین جیوه کل تجمع

جدول ۱: نتایج پرسش‌های پرسیده شده در پرسشنامه

متغیر	حداقل	حداکثر
سن	۵	۵۱
تعداد وعده‌های مصرف ماهی <i>Capoeta trutta</i>	۰	۷
تعداد دندان پرکرده	۰	۹
تعداد دفعات تزریق واکسن طی یکسال گذشته	۰	-
جنسیت	زن	٪۵۲
	مرد	٪۴۸

یافته در عضله سیاه ماهی خالدار و جیوه کل تجمع یافته در موی افراد ساکن منطقه مورد بررسی قرار گرفت.

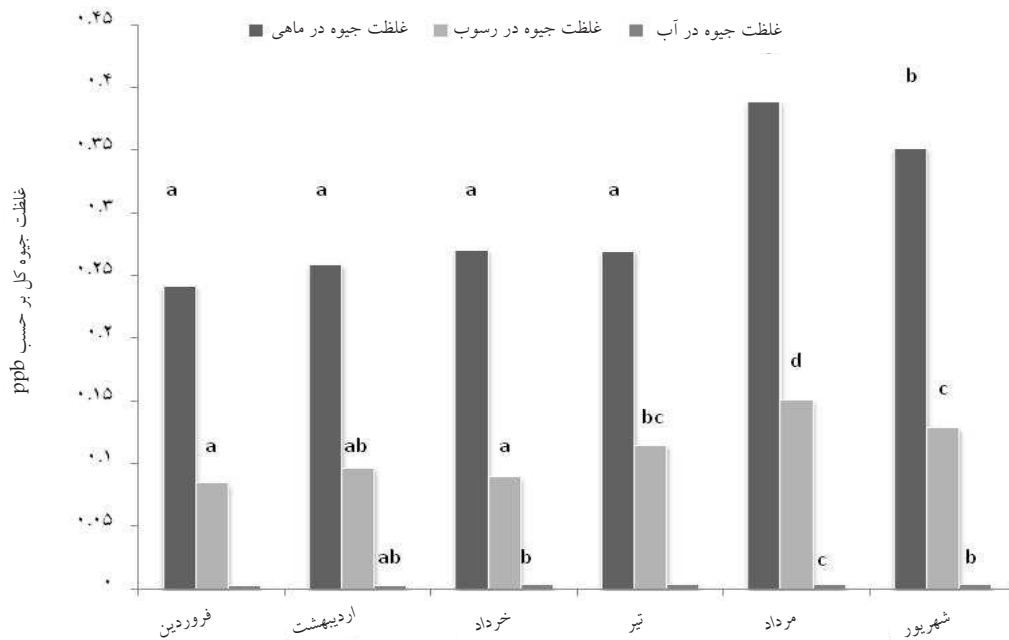
د. روش محاسبه فاکتور تجمع زیستی و بزرگنمایی زیستی فاکتور تغلیظ زیستی در محیط بیوفیزیکی (Bio-physical Environment) این بوم‌سازگان آبی، از طریق تقسیم غلظت جیوه کل در بیوتا (رسوب، ماهی، انسان) به غلظت آن در آب (۳۲،۳۱) و فاکتور بزرگنمایی زیستی ماهی-انسان از تقسیم غلظت جیوه کل در افق غذایی بالاتر به غلظت آن در افق غذایی قبلی (۳۲) محاسبه گردید.

هم‌چنین در مورد نمونه‌های ماهی نیز نمونه‌های ۱۰ g از بافت عضله (بخش ماکول) برداشته شد و در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار در دمای ۲۰°C- تا زمان آنالیز نگهداری و سپس با استفاده از روش Akagi و همکاران (۱۴) با اسید هضم و مقدار جیوه کل با استفاده از همان دستگاه اندازه‌گیری و بر حسب میکرو گرم بر گرم گزارش گردید. جیوه کل موجود در نمونه‌های موی نیز، پس از شستشوی هر نمونه به صورت جداگانه با استون، به وسیله قیچی خرد شدند و بر اساس روش Akagi و همکار (۱۴) هضم و توسط دستگاه جذب اتمی بر حسب میکرو گرم بر گرم اندازه‌گیری و گزارش شد.

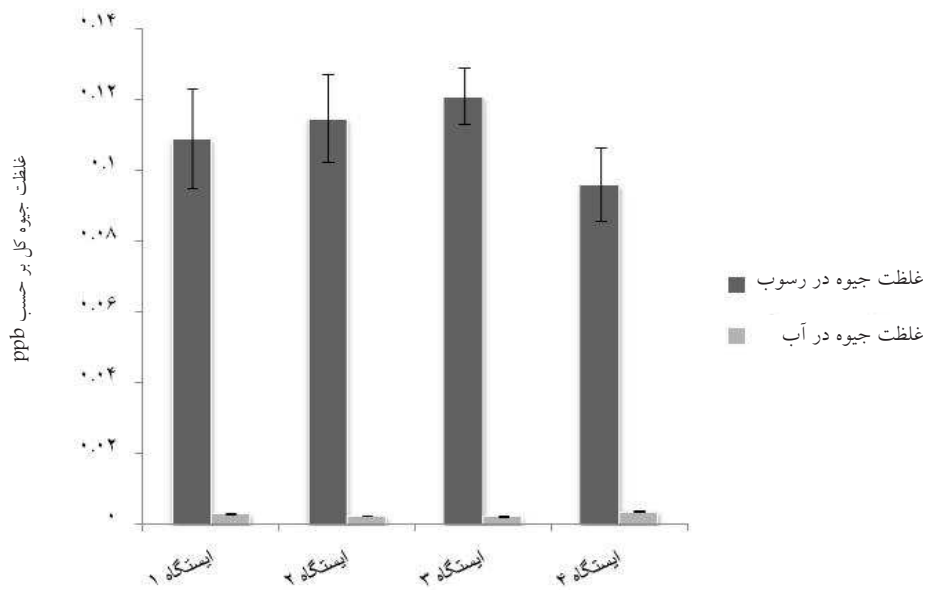
یافته‌ها

مقایسه‌های آماری مؤید اختلاف معنی‌داری بین غلظت جیوه کل در خلال ماه‌های انجام تحقیق (فروردین لغایت شهریور ماه سال ۱۳۹۱) در نمونه‌های آب ($F_{15,5} = 7/464; P = 0/001$)، رسوب ($F_{15,5} = 12/599; P = 0/001$) و بافت عضله ماهی ($F_{15,5} = 27/396; P = 0/0001$) بودند. اما در مورد نمونه‌های موی سر ساکنین روستای سراب قامیش سنندج به عنوان اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان سیاه ماهی خالدار دریاچه سد قشلاق سنندج اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۲). ($F_{5,5} = 0/276; P = 0/920$). همچنین اختلافات معنی‌داری بین غلظت جیوه کل موجود در نمونه‌های آب ($F_{15,3} = 38/362; P = 0/001$) و رسوب ($P = 0/039$) در بین ایستگاه‌های نمونه‌گیری مشاهده گردید (شکل ۳). میزان همبستگی بین غلظت جیوه کل موجود در بافت عضله سیاه ماهی خالدار دریاچه و آب دریاچه سد قشلاق سنندج ($r = 0/447; P = 0/029$) و در بافت عضله ماهی و موی ساکنین روستای سراب قامیش سنندج ($P = 0/015$) معنی‌دار و مثبت بود.

طبق نتایج به دست آمده، کم‌ترین دمای متوسط سطحی آب در دریاچه، در فروردین ماه $6/25^{\circ}C$ و بیش‌ترین آن در مرداد ماه $24/25^{\circ}C$ ثبت شد. همچنین، بیش‌ترین عمق شاخص سکشی دیسک در ایستگاه ۴ در فروردین ماه و کم‌ترین آن در ایستگاه ۳ در مرداد ماه مشاهده شد. بیش‌ترین عمق دریاچه در ایستگاه شماره ۳ در فروردین ماه و کم‌ترین عمق آن در همان ایستگاه در مرداد ماه ثبت شد. بیش‌ترین غلظت جیوه کل موجود در نمونه‌های آب در ایستگاه ۴ در مرداد ماه ($0/0042 \text{ mg/L}$) و کم‌ترین آن، در ایستگاه ۳ در فروردین ماه ($0/0018 \text{ mg/L}$) مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت جیوه کل در نمونه‌های رسوب در ایستگاه ۳ در مرداد ماه ($0/163 \text{ } \mu\text{g/g}$) و کم‌ترین آن در ایستگاه ۴ در فروردین ماه ($0/072 \text{ } \mu\text{g/g}$) اندازه‌گیری شد. بیش‌ترین غلظت جیوه کل در بافت عضله سیاه ماهی خالدار سد قشلاق سنندج در مرداد ماه ($0/427 \text{ } \mu\text{g/g}$) و کم‌ترین آن در فروردین ماه ($0/220 \text{ } \mu\text{g/g}$) و بیش‌ترین مقدار جیوه کل در نمونه موی صیادی ۴۹ ساله ($3/08 \text{ } \mu\text{g/g}$) و کم‌ترین مقدار جیوه کل در نمونه موی کودکی ۸ ساله ($0/45 \text{ } \mu\text{g/g}$) اندازه‌گیری شد.



شکل ۲: مقادیر غلظت جیوه کل (میانگین \pm خطای استاندارد) اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب، رسوب و بافت عضله سیاه ماهی خالدار دریاچه سد قشلاق سنندج در خلال ماه‌های مطالعه (فروردین تا شهریور ۱۳۹۱).



شکل ۳. مقایسه مقادیر غلظت جیوه کل (میانگین ± خطای استاندارد) در نمونه‌های آب و رسوب دریاچه سد قشلاق سندج به تفکیک ایستگاه‌های اندازه‌گیری ($P < 0.05$).

جدول ۲. مقادیر جیوه اندازه‌گیری شده در بخش‌های مختلف بوم سازگان دریاچه سد قشلاق سندج و فاکتورهای بزرگنمایی زیستی مربوطه در سال ۱۳۹۱.

عناصر زنجیره غذایی	غلظت جیوه کل اندازه‌گیری شده بر حسب ppb							
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	میانگین ۶ ماه	
آب	۰/۰۰۲۳۵	۰/۰۰۲۵۸	۰/۰۰۲۹۱	۰/۰۰۲۸۶	۰/۰۰۳۲۹	۰/۰۰۲۸۴	۰/۰۰۲۸	
رسوب	۰/۰۸۴۵	۰/۰۹۵۸۵	۰/۰۸۹	۰/۱۱۴۲۵	۰/۱۵	۰/۱۲۸	۰/۱۱۰	
ماهی	۰/۲۴۱	۰/۲۵۸	۰/۲۷۰	۰/۲۶۹	۰/۳۸	۰/۳۵۱	۰/۲۹۶	
انسان	۲/۰۰	۲/۰۲	۲/۰۸	۲/۳۸	۲/۰۴۷	۲/۱۸	۲/۰۵۹	
فاکتور تجمع زیستی	آب-رسوب	۳۵/۹۵	۳۷/۱۱	۳۰/۵۸	۳۹/۹۴	۴۵/۷۴	۴۵/۱۵	۴×۱۰
	آب-ماهی	۱۰۲/۶۵	۱۰۰/۰۹	۹۲/۸۶	۹۴/۱۴	۱۱۸/۰۸	۱۲۳/۷۶	۱×۱۰ ^۲
آب-انسان	۸۵۴/۰۴	۷۸۴/۸۸	۷۱۵/۴۶	۸۳۲/۱۶	۶۲۲/۱۸	۷۶۹/۳۶	۷×۱۰ ^۲	

جدول ۳. حداکثر میزان مجاز استانداردهای مختلف جهانی جیوه کل در آب، بافت ماکول ماهی و موی سر انسان

مطالعه حاضر	ایران	Codex alimentarius	EPA	WHO	حد مجاز جیوه کل
۲/۷۰	۱	-	۲	۱	آب (μg/L)
۰/۲۹۶۵	-	۰/۵	۰/۳	۰/۵	ماهی (μg/g ww)
۲/۱	-	-	۵	۲	مو (μg/g)

نظر می‌رسد دلیل این اختلاف و بالاتر بودن مقدار جیوه کل موجود در رسوبات در مرداد ماه به دلیل دمای نسبتاً بالای آب در این ماه ($24/25^{\circ}\text{C}$)، کاهش اکسیژن محلول آب، تشدید فعالیت میکروارگانیزم‌های دخیل در فرآیند متیلاسیون جیوه و حلالیت بیشتر متیل جیوه نسبت به جیوه معدنی باشد (۳۵). هم‌چنین، بیشترین غلظت جیوه کل موجود در نمونه رسوبات مربوط به ایستگاه ۳ بود. احتمالاً علت آن می‌تواند در ارتباط با ثبت بیشترین عمق شاخص سکشی دیسک در این ایستگاه باشد که نشان‌دهنده سکون بیش‌تر آب و افزایش نرخ ته‌نشینی (۳۵،۳۱) در این ایستگاه است.

میانگین غلظت جیوه کل تجمع یافته در بافت عضله سیاه ماهی خالدار دریاچه سد قشلاق سنندج در خلال ماه‌های مرداد و شهریور بیش‌تر از سایر ماه‌های مطالعه بود ($P = 0/0001$ ؛ $F_{0.05} = 27/396$). با توجه به همبستگی معنی‌دار غلظت جیوه کل تجمع یافته در بافت ماکول ماهی با غلظت جیوه موجود در آب دریاچه سد قشلاق سنندج ($P = 0/029$ ؛ $r^2 = 0/447$) و نیز راه‌های مختلف ورود جیوه به بافت‌های زنده (جذب پوستی، تنفسی و گوارشی) (۶)، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که افزایش غلظت جیوه کل موجود در آب دریاچه سد قشلاق سنندج احتمالاً در افزایش غلظت جیوه کل تجمع یافته در بافت ماهیان این دریاچه مؤثر است. لازم به ذکر است، در نمونه‌های ماهی صید شده در تیر ماه، علائم تولید مثلی مشاهده گردید، در حالی‌که این علائم از اواسط مرداد به بعد دیده نشد. بنابراین، احتمالاً کاهش اشتها در اثر فعالیت‌های تولید مثلی ماهی که در منطقه تا قبل از مرداد ماه بروز می‌کند نیز در کاهش مقدار جیوه کل اندازه‌گیری شده در بافت عضله سیاه ماهی خالدار (*Capoeta trutta*) دریاچه سد قشلاق سنندج مؤثر بوده (۳۱) که البته نیازمند مطالعات دقیق‌تر و تخصصی‌تر در این زمینه است. به علاوه در بررسی محتویات معده سیاه ماهی خالدار سد قشلاق سنندج مشخص شد عمده رژیم غذایی این ماهی را بتوز و مواد خرده‌ریزه تشکیل می‌دهد. این مورد قبلاً نیز توسط Coad (۲۲) اعلام شده است که خود دلیلی دیگری بر مشاهده غلظت‌های بالای جیوه کل تجمع یافته در بافت عضله این ماهی است. مطالعات قبلی در سایر نقاط جهان و هم‌چنین در دریاچه سد قشلاق سنندج نشان داده است

با استفاده از داده‌های موجود، تغلیظ زیستی در محیط بیوفیزیکی (Bio-physical Environment) دریاچه و هم‌چنین فاکتور بزرگنمایی زیستی ماهی-انسان در مورد این زنجیره غذایی محاسبه گردید که نتایج آن به صورت خلاصه در جدول ۲ آورده شده است.

در جدول ۳ مقادیر جیوه کل اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب، بافت ماکول سیاه ماهی خالدار (*Capoeta trutta*) دریاچه سد قشلاق سنندج و موی سر ساکنین روستای سراب قامیش شهرستان سنندج با استانداردهای جهانی مقایسه شده است.

بحث

بر اساس نتایج به دست آمده در مطالعه حاضر مشخص شد که میانگین غلظت جیوه کل موجود در آب دریاچه سد قشلاق سنندج، در ماه‌های فصل تابستان بیش‌تر از ماه‌های فصل بهار است و به لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/05$) که احتمالاً دلیل آن افزایش دمای آب و متعاقب آن کاهش غلظت اکسیژن محلول در آب دریاچه سد قشلاق سنندج است (۳۳). کاهش غلظت اکسیژن محلول در آب به نوبه خود شرایط مطلوبی را برای افزایش فعالیت بیش‌تر میکروارگانیزم‌های دخیل در فرآیند متیلاسیون جیوه که موجوداتی بی‌هوازی هستند را فراهم می‌سازد (۳۴). هم‌چنین، میانگین غلظت جیوه کل موجود در نمونه‌های آب در ایستگاه ۴ (ورودی رودخانه قشلاق به دریاچه سد قشلاق سنندج) با سایر ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری را نشان داد ($P = 0/001$ ؛ $F_{0.05} = 38/362$) که با توجه به عمق کم شاخص سکشی دیسک در این ایستگاه (۲۵ cm) که بیانگر کدورت بالای آب در این ایستگاه بود و نیز اثبات لیتوسفری بودن منشا جیوه در دریاچه سد قشلاق سنندج (۲۴)، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که اختلاط بالای رسوبات حاوی جیوه به دلیل بروز آشفستگی زیستی ناشی از جریان آب ورودی در اثر سیلاب‌های فصلی پس از بارندگی در افزایش غلظت جیوه کل در این ایستگاه نقش دارد (۳۵). میانگین غلظت جیوه کل اندازه‌گیری شده در رسوبات دریاچه سد قشلاق سنندج، در مرداد ماه به شکل معنی‌داری بیش‌تر از سایر ماه‌های این مطالعه بود ($P = 0/001$ ؛ $F_{0.05} = 12/599$) به

که غلظت جیوه کل موجود در پیکره‌های بنتوزی و رسوبات بستر در خلال فصل گرم افزایش می‌یابد (۲۳، ۳۳) که نهایتاً این افزایش منجر به بیشتر شدن غلظت جیوه در بدن ماهی در فصل تابستان نسبت به بهار می‌گردد. در سایر نقاط جهان، Sinha و همکاران (۱۹)، Molina و همکاران (۲۸)، به نتایجی مشابهی دست یافته‌اند. هم‌چنین در دو مطالعه جداگانه توسط Almasyeh و همکاران (۲۳) و Khoshnamvand و همکاران (۲۲) در خصوص مقادیر جیوه کل در پیکره‌های پلانکتونی و بنتوزی و بافت‌های مختلف ماهی‌های غیربومی دریاچه سد قشلاق سنندج (کپور معمولی و کپور نقره‌ای) که با فاصله زمانی یک سال (سال ۱۳۹۰) از مطالعه حاضر در دو فصل تابستان و پاییز انجام شده‌اند، نتایج مشابهی به لحاظ تغییرات زمانی غلظت جیوه کل (تفاوت غلظت جیوه کل بین فصل گرم و فصل سرد) به دست آوردند.

تحت تاثیر پدیده تجمع زیستی جیوه کل که در این تحقیق و مطالعات قبلی بر روی ماهیان (۲۲)، بنتوز و پیکره‌های پلانکتونی (۲۳) این دریاچه به اثبات رسیده است و هم‌چنین پیوند غذایی که موجودات زنده در هر بوم‌سازگان با یکدیگر دارند، سبب گردید تا مقادیر غلظت جیوه کل از یک افق غذایی به سمت افق‌های غذایی بالاتر به صورت تصاعدی افزایش یابد (۲۳). بنابراین مجاز بودن سطح غلظت جیوه کل در بافت عضله سیاه ماهی خالدار سد قشلاق سنندج (*Capoeta trutta*) به معنی عاری از خطر بودن مصرف این ماهی توسط اعضای سطوح غذایی بالاتر در زنجیره غذایی این دریاچه نیست. البته لازم به ذکر است که پدیده بزرگنمایی زیستی یک فرآیند پیچیده است و هنوز زوایای بسیاری از این پدیده می‌بایست برای ما روشن شود. به عنوان مثال: مکانیزم تجمع و نرخ انتقال جیوه به خصوص در شکل آلی آن در سطوح پایین زنجیره‌های غذایی هنوز کاملاً شناخته نشده و مطالعه پدیده بزرگنمایی زیستی در این سطوح غذایی نیازمند تفکیک ترکیبات جیوه و تعیین نسبت هر یک از این ترکیبات است (۲۳، ۳۷-۳۹). هم‌چنین مطالعه حاضر به دلیل محدودیت‌های زمانی و مالی در دو فصل مورد بررسی قرار گرفته که توصیه می‌شود برای تعیین دقیق چرخه تغییرات مکانی و زمانی جیوه کل در این دریاچه مطالعه‌ای در طول حداقل چهار فصل و در چندین مسیر غذایی متفاوت صورت پذیرد.

طبق نتایج به دست آمده در این مطالعه، بین تعداد وعده‌های مصرف ماهی در هفته و غلظت جیوه کل موجود در موی سر ساکنین روستای سراب قامیش به عنوان اصلی‌ترین مصرف‌کنندگان ماهی سد قشلاق سنندج همبستگی معنی‌داری وجود داشت ($P = 0/015$ ؛ $r = 0/489$). بنابراین، وجود غلظت قابل ملاحظه جیوه در بافت ماکول سیاه ماهی خالدار دریاچه سد قشلاق سنندج می‌تواند یکی از منابع اصلی ورود و تجمع جیوه در بافت‌های بدن ساکنین روستای سراب قامیش سنندج باشد (۱۲، ۱۹). بنابراین، تعیین تعداد وعده‌های غذایی یا محاسبه حداکثر وزن ماهی قابل مصرف به ازای هر نفر در بازه‌های زمانی مختلف در راستای رعایت ملاحظات بهداشتی برای تامین سلامت مصرف‌کنندگان ضروری است. سازمان بهداشت جهانی و کدکس الیمانتاریوس حداکثر جیوه مجاز قابل دریافت هفتگی را در مورد انسان $5 \mu\text{g/g}$ وزن انسان گزارش کرده است. بنابراین یک فرد 70 kg در هفته مجاز به دریافت حداکثر $350 \mu\text{g/kg}$ جیوه از طریق مواد خوراکی خواهد بود. با توجه به غلظت جیوه کل اندازه‌گیری شده در بافت ماکول سیاه ماهی خالدار (*Capoeta trutta*) دریاچه سد قشلاق سنندج ($296 \mu\text{g/kg}$)، استفاده‌کنندگان از این ماهی حداکثر مجاز به مصرف 1182 g از بافت عضله این ماهی در هفته هستند. البته واضح است که تنوع رژیم غذایی انسان و سایر موجودات زنده سبب پیوند زنجیره‌های غذایی و تشکیل شبکه‌های غذایی در هر بوم‌سازگانی می‌شود (۴) که بیانگر این واقعیت است که تنها منبع ورود و تجمع جیوه کل در بدن ساکنین روستای سراب قامیش سنندج صرفاً مصرف ماهی دریاچه سد قشلاق سنندج نیست و این فلز سنگین می‌تواند از طریق سایر مواد غذایی مورد مصرف نیز وارد بدن انسان شود. بنابراین توصیه می‌شود در تحقیقات آتی مقدار جیوه کل و جیوه آلی در تمامی اجزای تشکیل دهنده سبد غذایی ساکنین منطقه و سهم هر یک از این منابع در انتقال جیوه به بدن انسان مشخص شود تا ملاحظات بهداشتی مرتبط دقیقاً قابل توصیه و اجرا باشند.

نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات میدانی و سایر مطالعات انجام شده در حوضه آبریز دریاچه سد قشلاق سنندج (۲۴-۲۱)، مشخص شد که جیوه کل موجود در رسوبات و آب این دریاچه منشا

طبیعی دارد. بنابراین احتمال بروز پدیده بزرگنمایی زیستی فلز سنگین جیوه در این حوزه آبریز و زنجیره‌های غذایی آن وجود دارد. اگر چه نمی‌توان مقدار جیوه کل تجمع یافته در موی سر ساکنین منطقه که در این تحقیق اندازه‌گیری شد را صرفاً مرتبط با مصرف فراورده‌های غذایی دریاچه سد قشلاق سنندج دانست، اما با توجه به نزدیک بودن مقدار غلظت جیوه کل اندازه‌گیری شده در بافت خوراکی سیاه ماهی خالدار سد قشلاق سنندج (*Capoeta trutta*) با استانداردهای جهانی (جدول ۳)، بزرگ بودن رقم فاکتور بزرگنمایی زیستی و تجمع زیستی محاسبه شده و نیز همبستگی معنی‌دار به دست آمده بین تعداد وعده‌های مصرف ماهی و غلظت جیوه در موی ساکنین منطقه ($P=0/015$ ؛ $r^2=0/489$)، به نظر می‌رسد مصرف آب و فراورده‌های غذایی این دریاچه یکی از دلایل اصلی تجمع زیستی فلز سنگین جیوه در موی سر ساکنین این حوزه آبریز باشد. بنابراین رعایت ملاحظات بهداشتی در مصرف ماهی دریاچه سد قشلاق سنندج بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

تشکر و قدردانی

با سپاس بی‌دریغ خدمت اساتید و دوستان گرانمایه‌ام آقایان مهندس مجیدی، نیک‌منش، الماسیه و گویلیان که ما را در انجام این مطالعه صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند. این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی - محیط زیست با عنوان «رديابی جیوه کل در یک زنجیره غذایی آب شیرین (دریاچه سد قشلاق سنندج، ایران)» است که با کد ۲۰۹۰۹۶۷ به ثبت و با حمایت دانشگاه کردستان در سال ۱۳۹۱ اجرا شده است.

منابع

- 1- Ardakani MR. General Ecology. Tehran: Tehran University Press; 2002 (in Persian).
- 2- National Agricultural Pesticide Impact Assessment Program. Bioaccumulation. Michigan: Extension Toxicology Network; 1993 [cited 2014 Jul 9]. Available from: <http://extoxnet.orst.edu/tibs/bioaccum.htm>
- 3- Bortman M, Brimblecombe P, Cuningham MA, Cuningham WP, Freedman W. Environmental Encyclopedia. 3rd ed. Detroit: Thomson; 2003.
- 4- Vinodhini R, Narayanan M. Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish *Cyprinus carpio* (Common carp). International Journal of Environmental Science & Technology. 2008;5(2):179-82.
- 5- Canli M, Atli G. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. Environmental Pollution. 2003;121(1):129-36.
- 6- Esmaili Sari A. Pollutants, Health and Environmental Standards. Tehran: Naghsh-e Mehr Publication; 2002 (in Persian).
- 7- Amani K. Study and determination of pollutant Gheshlagh Dam Reservoirs and Basin. Sanandaj: Kurdistan Environmental Protection Agency; 2008 (in Persian).
- 8- 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).
- 9- Almasieh K. Determination of mercury bioaccumulation and biomagnifications trend in sediments, planktons and benthos masses collected from Sanandaj Gheshlagh Dam [dissertation]. Sanandaj: Kurdistan University; 2010 (in Persian).
- 10- Guhathakurta H, Kaviraj A. Heavy metal concentration in water, sediment, shrimp (*Penaeus monodon*) and Mullet (*Liza parsia*) in some brackish water ponds of Sunderban, India. Marine Pollution Bulletin. 2000;40(11):914-20.
- 11- Eagles-Smith CA, Suchanek TH, Colwell AE, Anderson NL. Mercury trophic transfer in a eutrophic lake: The importance of habitat-specific foraging. Ecological Applications. 2008;18(8):196-212.
- 12- Logar M, Horvat M, Akagi H, Ando T, Tomiyasu T, Fajon V. Determination of total mercury and monomethylmercury compounds in water samples from Minamata Bay, Japan: An inter-laboratory comparative study of different analytical techniques. Applied Organometallic Chemistry. 2001;15(6):515-26.
- 13- Kanno J, Akagi H, Takabatake E. A method for determination of methyl mercury in environmental samples, particularly in sediment. Journal of Toxicology and Environmental Health. 1985;31:260-68 (in Japanese).
- 14- Akagi H, Naganuma A. Human exposure to mercury and the accumulation of methylmercury that is associated with gold mining in the Amazon Basin, Brazil. Journal of Health Science. 2000;46(5):323-28.
- 15- Connell DW. Biomagnification by aquatic organisms - A proposal. Chemosphere. 1989;19(10):1573-84.
- 16- Verta M, Salo S, Korhonen M, Porvari P, Paloheimo A, Munthe J. Climate induced thermocline change has an effect on the methyl mercury cycle in small boreal lakes. Science of the Total Environment. 2010;408(17):3639-47.
- 17- Marrugo-Negrete J, Benitez LN, Olivero-Verbel J. Distribution of mercury in several environmental compartments in an aquatic ecosystem impacted by gold mining in northern Colombia. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2008;55(2):305-16.
- 18- Žižek S, Horvat M, Toman MJ. Bioaccumulation of mercury in benthic communities of a river ecosystem, affected by mercury mining. Journal of Materials and Geoenvironment. 2005;52(1):165-68.
- 19- Rengalakshmi R, Senthilkumar R, Selvarasu T, Thamizoli P. A holistic study on mercury pollution in the Ganga River system at Varanasi, India. Current Science. 2007;92(9):1223-28.
- 20- Mailman M, Stepnuk L, Cicek N, Bodaly R.

- Strategies to lower methyl mercury concentrations in hydroelectric reservoirs and lakes: A review. *Science of the Total Environment*. 2006;368(1):224-35.
- 21- Burger J, Gochfeld M, Jeitner C, Burke S, Stamm T. Metal levels in flathead sole (*Hippoglossoides elassodon*) and great sculpin (*Myoxocephalus polyacanthocephalus*) from Adak Island, Alaska: Potential risk to predators and fishermen. *Environmental Research*. 2007;103(1):62-69.
- 22- Coad BW. *Freshwater fishes of Iran: Capoeta trutta*. Canada: Canadian Museum of Nature; 2013 [cited 2014 Jul 9]. Available from: <http://www.briancoad.com/Species%20Accounts/Cyprinidae%20Introduction%20and%20Abramis%20to%20Cyprinus.htm#Capoeta>
- 23- Yılmaz F, Özdemir N, Demirak A, Tuna AL. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*. 2007;100(2):830-35.
- 24- Al-Majed N, Preston M. Factors influencing the total mercury and methyl mercury in the hair of the fishermen of Kuwait. *Environmental Pollution*. 2000;109(2):239-50.
- 25- Agusa T, Kunito T, Iwata H, Monirith I, Tana TS, Subramanian A, et al. Mercury contamination in human hair and fish from Cambodia: Levels, specific accumulation and risk assessment. *Environmental Pollution*. 2005;134(1):79-86.
- 26- Akbarpour A, Nasri F. Determination of heavy metals pollution in Sanandaj Gheshlagh Reservoirs River. Tehran: National Geosciences Database of Iran; 2003 [cited 2014 Jul 9]. Available from: <http://www.ngdir.ir/symposium/PPaperDetail.asp>
- 27- Green-Ruiz C, Ruelas-Inzunza J, Pérez-Osuna F. Mercury in surface sediments and benthic organisms from Guaymas Bay, east coast of the Gulf of California. *Environmental Geochemistry and Health*. 2005;27(4):321-29.
- 28- Molina CI, Gibon F-M, Duprey J-L, Dominguez E, Guimarães J-RD, Roulet M. Transfer of mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. *Science of the Total Environment*. 2010;408(16):3382-91.

Total mercury bioaccumulation tracking in a fresh water food chain, (Sanandaj Gheshlagh Dam Reservoir, Iran)

Sh. Zare¹, Sh. Kaboodvandpour^{2*}

¹ MSc. Student in Environmental Sciences, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

² Assistant Professor in Environment Sciences, Department of Environmental Sciences, Natural Resources Faculty, Kurdistan University, Sanandaj, Iran

Received; 1 June 2014

Accepted; 30 August 2014

Abstract

Background and Objectives: Due to the importance of Sanandaj Gheshlagh Reservoir (SGR) in the region and proven mercury pollution in SGR water, a research project was carried out to determine the amount of mercury concentration and bioaccumulation and its behavior through a food route in SGR food chain (i.e., water, sediments, fish, and human). This was done, because it has been reported that mercury concentration and its toxicity could increase during mercury exchange between trophic levels.

Materials and methods: During April to December 2012, 24 water, sediment, and fish samples (*Capoetta trutta*) (4 samples per month) from SGR and 24 human hair samples from Sarab Ghamish village settlers (the major *Capoetta trutta* consumers in the region) were collected.

Results: Total mercury mean concentration in water, sediment, *Capoetta trutta*, and human hair were 0.0028 ± 0.000128 , 0.110 ± 0.0057 , 0.296 ± 0.0119 , 2.059 ± 0.1704 ppm respectively. Calculated bioconcentration factors were 4×10 and 1×10^2 in SGR sediment and fish, and related biomagnifications factors were 40 and 5 respectively.

Conclusion: Due to the high bioaccumulation, biomagnifications factors and mercury concentration recorded in edible parts of SGR fish, local consumers should not eat more than 1182 gram of this fish weekly without accounting for other potential sources of total mercury in their food basket.

Keywords: Sanandaj Gheshlagh Reservoir, Food Chain, Total Mercury, Pollution, Bioaccumulation, *Capoetta trutta*

*Corresponding Author: kaboodvandpour@yahoo.com
Tel: +98 871 66240 14