

مقایسه تجمع زیستی جیوه کل در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سندج

مهدی خوشناموند^۱، شهرام کبودوندپور^{۲*}، فرزاد غیائی^۳، بهمن بهرام‌نژاد^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان khoshnamvand.mehdi@yahoo.com

۲* - استادیار گروه محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان

۳- استادیار گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان f.ghiacy@uok.ac.ir

۴- استادیار بخش بیوتکنولوژی گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان b.bahramnejad@uok.ac.ir

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۲۰

چکیده

غلظت جیوه کل (T-Hg) تجمع یافته در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سندج به عنوان پرمصرف‌ترین ماهی‌های منطقه در خلال ماه‌های تیر تا آذر ۱۳۸۸ ارزیابی شد، تا ضمن مقایسه غلظت جیوه تجمع یافته در بافت‌های خوراکی این ماهی‌ها، روند تغییرات T-Hg در خلال فصول مطالعه تعیین شود. در هر ماه ۴ قطعه ماهی از هر دو گونه (مجموعاً ۴۸ نمونه) به صورت تصادفی صید و غلظت T-Hg در بافت عضله این ماهی‌ها با استفاده از دستگاه پیشرفته اندازه‌گیری جیوه (Advanced Mercury Analyzer, Model; Leco) (254 AMA) تعیین شد. میانگین (\pm خطای استاندارد) T-Hg در بافت عضله دو ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای به ترتیب $26/43 \pm 20/67$ و $367 \pm 26/43$ بر حسب ppb یا $ng\ g^{-1}$ وزن خشک به دست آمد. مقایسه میانگین‌های ماهانه جیوه تجمع یافته در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و نقره‌ای اختلاف معنی‌داری از خود نشان ندادند ($F_{5, 36} = 2/29, P = 0/1926$)، در حالی که میانگین T-Hg تجمع یافته در بافت عضله گونه کپور نقره‌ای به صورت معنی‌داری بیشتر از کپور معمولی بود ($F_{1, 36} = 19/70, P = 0/0068$). غلظت جیوه تجمع یافته در بافت عضله دو گونه کپور معمولی و نقره‌ای با متغیرهای زیستی طول کل، طول استاندارد و وزن، همبستگی معنی‌دار و مثبتی از خود نشان دادند ($P < 0/05$). غلظت T-Hg در بافت عضله کلیه ماهی‌هایی که وزن آنها بیشتر از ۵۰۰ گرم بود، بالاتر از استاندارد EPA و در نمونه‌هایی که وزن آنها بیشتر از ۸۵۰ گرم بودند، بالاتر از دو استاندارد جهانی WHO و FAO بودند.

کلید واژه

جیوه، بافت عضله، کپور معمولی، کپور نقره‌ای، سد قشلاق سندج

سرآغاز

فلزات سنگین موجود در اکوسیستم‌های آبی، در جریان چرخه‌های زیستی، در نهایت به بدن انسان منتقل می‌شوند (Yilmaz, et al., 2007). جیوه و ترکیباتش هیچ نوع فعالیت زیستی شناخته شده‌ای ندارند، بنابراین تمام آلودگی‌ها به جیوه را باید نامطلوب و بالقوه خطرناک به شمار آورد (Canli and Atli, 2003; USNAS, 1978). جیوه معدنی بیشتر توسط میکروارگانیزم‌های بی‌هوازی موجود در رسوبات کف اکوسیستم‌های آبی به متیل جیوه^۵ تبدیل می‌شود، که خطرناک‌ترین شکل جیوه است. ویژگی مشخص این ترکیب، سمی بودن فوق‌العاده، پایداری در محیط، تجمع در بافت زنده موجودات زنده با طول عمر زیستی ۲۰ ساله، بزرگنمایی در

آلوده شدن محیط زیست به فلزات سنگین^۱ بویژه جیوه^۲، یا بر اثر فعل و انفعالات فیزیکی و شیمیایی در پوسته زمین که سبب متصاعد شدن و شسته شدن این فلزات می‌شود یا تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی پدید می‌آید (Kumar, 2006). در بین فلزات سنگین، جیوه فلزی منحصر به فرد است که در طبیعت به اشکال متفاوت آلی و معدنی دیده می‌شود (Zalpus, 2000; Storelli, et al., 2005). جیوه توانایی بسیار بالایی برای تجمع زیستی^۳ در بدن موجودات و انتقال به افق‌های غذایی بالاتر در زنجیره‌های غذایی از طریق بزرگنمایی زیستی^۴ دارد (Eisler, 2006; Boening, 2000).

شیلاتی، که متیل جیوه در بافت‌های آنها تجمع یافته باشد خطر پنهانی برای سلامت انسان تلقی می‌شود (Ebinghaus, et al., 1994).

ماهی کپور معمولی (*Cyprinus carpio*) نوعی ماهی همه‌چیز خوار است ولی غذاهای کف را بیشتر ترجیح می‌دهد (Tempro, et al., 2006)، در حالی که گونه کپور نقره‌ای (*Hypophthalmichthys molitrix*) در سطح و لایه میانی آب به تغذیه می‌پردازد و غذای اصلی آن را فیتوپلانکتون‌ها (اولین سطح غذایی) تشکیل می‌دهند (Spataru, and Gophen, 1985).

با توجه به اهمیتی که ماهیان کپور معمولی و کپور نقره‌ای در سید غذایی مردم منطقه به عنوان گونه‌های پر مصرف و نسبتاً ارزان دارند و نیز گزارش حد غیر مجاز جیوه در آب سد قشلاق سنندج (امانی، ۱۳۸۷) لازم دانستیم تا مطالعه‌ای با هدف مقایسه تجمع‌زیستی جیوه کل در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سنندج و تغییرات ماهانه آن در خلال ۶ ماه مطالعه، با توجه به رژیم غذایی متفاوت دو گونه ماهی و مقایسه نتایج با استانداردهای جهانی، برای بررسی کیفیت بهداشتی مصرف گوشت این ماهی‌ها انجام دهیم.

با توجه به مشاهدات میدانی به عمل آمده در حوزه‌های آبریز منتهی به دریاچه سد قشلاق، مشخص شد در منطقه هیچ نوع فعالیت صنعتی خاصی صورت نمی‌گیرد و عمده کشاورزی منطقه مبتنی بر کشاورزی دیم و بدون مصرف هر گونه کود، یا آفت کش است.

همچنین با در نظر گرفتن جمعیت انسانی اندک ساکن در طول مسیر دو رودخانه اصلی (چهل گزی و قشلاق) تغذیه کننده دریاچه سد قشلاق سنندج و نیز گزارش‌هایی (اکبرپور و نصری، ۱۳۸۲؛ سوری، ۱۳۸۸) مبنی بر وجود مقادیر فراوان جیوه در ترکیب سنگهای مادرین حوزه‌های آبریز منتهی به سد قشلاق و بافت خاک زیر حوزه‌های این سد، به نظر می‌رسد که آلودگی آب دریاچه سد قشلاق سنندج به فلز سنگین جیوه، منشاء طبیعی داشته باشد.

مواد و روش‌ها

الف- معرفی منطقه، روش نمونه‌برداری و مطالعات زیست‌سنجی
محل اجرای این مطالعه سد قشلاق سنندج (۳۵° ۲۶' ۵۸" عرض شمالی و ۴۶° ۵۹' ۱۰" طول شرقی) با مساحت ۸/۵ کیلومتر مربع و ظرفیت ۲۲۴ میلیون مترمکعب آب، در ۱۲ کیلومتری شمال شرقی شهرستان سنندج در استان کردستان بود (شکل شماره ۱).

زنجیره غذایی و توانایی جابه جا شدن در مسافت‌های طولانی است (Willis, 2003).

متیل جیوه با گیاهان آبی، جلبک‌ها، موجودات ابتدای زنجیره غذایی جذب و وارد بدن ماهی‌ها و متعاقب آن سطوح بالایی زنجیره‌های غذایی در اکوسیستم‌های آبی می‌شود؛ به شکلی که بالاترین غلظت متیل جیوه در ماهیان شکارگر بزرگ مثل کوسه و ماهی تن اندازه‌گیری شده است (Eisler, 2006). متیل جیوه به دلیل پایداری زیادش، توانایی حل شدن در چربی بافت‌های زنده و نفوذ در غشاهای سلولی بدن موجودات زنده را دارد (Hamasaki, et al., 1995).

متیل جیوه بیشتر از طریق معده جذب خون می‌شود. در نتیجه سبب بروز اختلال در عملکرد دستگاه گردش خون از جمله اختلالات فشار خون می‌شود (Vupputuri, et al., 2005). در صورتی که ۱۰ تا ۶۰ میلی‌گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن، متیل جیوه در یک دوره زمانی خیلی کوتاه مصرف شود، می‌تواند سبب آسیب رساندن به کلیه‌ها، نابودی عروق و حتی منجر به مرگ مصرف کننده شود (USEPA, 1997). همچنین جیوه و ترکیبات آن می‌توانند باعث اختلال در عملکرد طبیعی سیستم تنفسی، سیستم عصبی، گردش خون، تولید مثل و اختلالات بافتی در موجودات زنده شوند (Canli and Atli, 2003). پختن و روش‌های متفاوت دیگر نیز نمی‌توانند آنچنان از جیوه تجمع‌یافته در بافت‌های ماهی بکاهند، و تقریباً همه ماهی‌هایی که مصرف می‌شوند، حاوی مقادیر معینی از جیوه هستند (Saulo, 2004).

در اکوسیستم‌های آبی شور و شیرین، ماهی‌ها شاخص زیستی مناسبی برای بیان درجه آلودگی محیط آب به فلز سنگین جیوه محسوب می‌شوند (Gochefeld, 2003). میزان تجمع زیستی جیوه در بافت‌های زنده تابع عواملی همچون فیزیولوژی بدن، نوع گونه، شرایط محیطی، سن و عادات غذایی موجود زنده است (Canli and Atli, 2003).

به طور معمول بافت‌های عضله‌ای ماهی به دلیل ماکول بودن و تأثیری که بر سلامت مصرف‌کنندگان خود دارد، مهم‌ترین بافت زنده هر ماهی برای سنجش غلظت جیوه تجمع یافته در بدن ماهی محسوب می‌شود (Eisler, 2006). در مناطقی که ماهی و دیگر محصولات دریایی غذای اصلی مردم آنجا را تشکیل می‌دهند، متیل جیوه یکی از منابع مهم دریافت و تجمع‌زیستی جیوه است (Gomez-Ariza, et al., 2005). بنابراین مصرف محصولات

OPERON) در دمای ۵۴ - درجهٔ سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌های خشک شده با هاون چینی و همزن کاملاً به شکل پودر در آمده و مقدار ۵۰ میلی‌گرم نمونهٔ خشک شده از نمونه اصلی جدا و غلظت جیوه کل تجمع یافته در آنها با استفاده از دستگاه پیشرفته اندازه‌گیری جیوه (Advanced Mercury Analyzer Model; Leco 254 AMA) ساخت کشور آمریکا، در آزمایشگاه محیط زیست دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس با استاندارد ASTM, D-6722 بر حسب ppb یا ng g^{-1} وزن خشک، اندازه‌گیری شدند (Houserova, et al., 2007).

ج-روش سنجش غلظت جیوه کل با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری جیوه

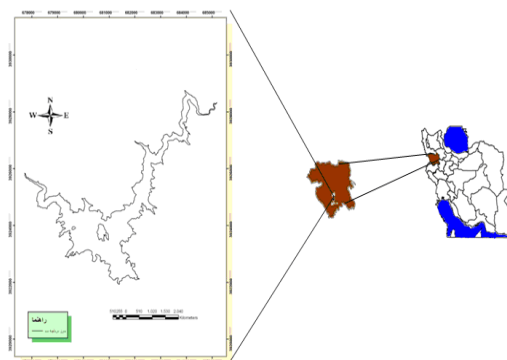
دستگاه اندازه‌گیری جیوه (Advanced Mercury Analyzer, Model; Leco 254 AMA). برای اندازه‌گیری سریع جیوه در نمونه‌های جامد و مایع طراحی شده است. اساس کار آن بر پایه روش Atomic Absorption Spectrometry است. از خصوصیات منحصر به فرد این دستگاه این است که نیازی به آماده سازی و هضم شیمیایی نمونه‌ها ندارد.

تجزیه و تحلیل جیوه با این دستگاه شامل مراحل زیر است: مرحلهٔ تجزیه که از طریق اکسیداسیون در دمای ۷۵۰ درجهٔ سانتیگراد انجام می‌شود، مرحلهٔ جمع‌آوری که با استفاده از آمالگاماتور^۷ با روکش طلا که میل ترکیبی زیاد با جیوه دارد و مرحلهٔ آشکارسازی که جیوه جذب شده در دمای ۹۰۰ درجهٔ سانتیگراد به بخار تبدیل و از طریق طیف سنجی با نرم افزار Quick Silver بر حسب ppb یا ng g^{-1} وزن خشک اندازه‌گیری می‌شود.

د- تجزیه و تحلیل آماری

برای تجزیه و تحلیل نتایج از نرم افزارهای (Version SAS 9.1) و (SPSS Inc., 2002) SPSS 16 استفاده شد، رسم نمودارها نیز با نرم افزار (Microsoft Office 2007) Excel صورت پذیرفت.

آزمون‌های کولموگروف - سمیرنوف^۸ و بارتلت^۹ به ترتیب برای مشخص شدن تابعیت داده‌ها از توزیع نرمال و همگنی واریانس داده‌های به دست آمده انجام شد. پس از اطمینان یافتن از نرمال بودن داده‌ها برای مقایسهٔ میانگین‌های غلظت جیوهٔ تجمع یافته در بافت‌های عضلهٔ دو گونه با در نظر گرفتن عوامل ماه، بافت و گونه، عقیق با استفاده از طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی چند مشاهده‌ای انجام گرفت. برای مقایسهٔ میانگین غلظت جیوه تجمع یافته بین دو



شکل شماره (۱): نقشهٔ موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه

(سد قشلاق سندج).

سد قشلاق مهم‌ترین منبع تأمین آب شرب و مهم‌ترین منبع تولید محصولات شیلاتی برای پرجمعیت‌ترین شهر استان کردستان یعنی شهر سندج محسوب می‌شود. در خلال ماه‌های تیر تا آذر ۱۳۸۸ به صورت ماهانه و هر ماه ۴ نمونه از هر گونه از ماهیان کپور معمولی و کپور نقره‌ای (جمعاً ۴۸ نمونه) به صورت کاملاً تصادفی، از نقاط مختلف دریاچه سد با استفاده از تور گوشگیر شناور در سطح با چشمه ۵ × ۵ سانتیمتری صید شدند. نمونه‌های ماهی پس از صید به صورت زنده به آزمایشگاه زیست‌شناسی ماهی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان برای مطالعات زیست‌سنجی، تعیین جنسیت از روی گندهای جنسی و تهیهٔ نمونهٔ بافت و آماده سازی نمونه‌ها برای سنجش غلظت جیوه کل در بافت عضله انتقال داده شدند. در مطالعات زیست‌سنجی برخی خصوصیات ریختی و زیستی نظیر؛ وزن، طول کل، طول استاندارد، سن و جنسیت نمونه‌ها تعیین شدند.

ب-روش تهیهٔ نمونه‌های بافت عضله، آماده‌سازی و اندازه‌گیری جیوه کل نمونه‌ها و دستگاه‌های مورد استفاده

پس از عملیات زیست‌سنجی، پوست ماهی از ناحیهٔ خلفی آیش‌ها تا انتهای ساقه دمی برش داده شد و مقدار ۱۰ گرم بافت عضله از ساقه دمی تهیه شد. سپس نمونه‌ها در کیسه‌های پلاستیکی زیپ‌دار کوچک، تا زمان اندازه‌گیری جیوه کل تجمع یافته دمای ۲۰- درجهٔ سانتیگراد منجمد شدند (Voegborlo, and Akagi, 2007). از آنجایی که متیل جیوه ترکیبی فرار است برای جلوگیری از تبخیر متیل جیوه موجود در نمونه‌ها، در هر ماه نمونه‌های بافت عضله با استفاده از دستگاه فریزدرایر (Model

ماهیان کپور معمولی شامل ۱۱ قطعه نر و ۱۳ قطعه ماده و ماهیان کپور نقره‌ای نیز شامل ۱۰ قطعه نر و ۱۴ قطعه ماده بودند.

ب- نتایج میانگین جیوه کل و مقادیر جیوه کل در بافت عضله دو گونه ماهی

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری غلظت جیوه کل موجود در بافت عضله ماهیان کپور معمولی و کپور نقره‌ای صید شده از سد قشلاق سنندج طی ماههای تیر تا آذر سال ۱۳۸۸ در جدول شماره (۲) ذکر شده است.

جنس نر و ماده در هر گونه، از آزمون *t-test* استفاده شد. همچنین رابطه غلظت جیوه نمونه‌ها با متغیرهای ریختی (طول کل، طول استاندارد و وزن) در هر گونه با استفاده از آزمون همبستگی پیرسون^{۱۰} صورت گرفت.

نتایج

الف- نتایج زیست سنجی دو گونه ماهی

نتایج حاصل از زیست سنجی مربوط به ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای صید شده در سد قشلاق سنندج به طور خلاصه در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. ذکر این نکته ضروری است که

جدول شماره (۱): خلاصه نتایج زیست سنجی ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای صید شده از سد قشلاق سنندج (طی ماههای تیر تا آذر ۱۳۸۸)

نوع ماهی	شاخص	طول کل (cm)	طول استاندارد (cm)	وزن کل (gr)
کپور معمولی	حداقل	۲۶/۵	۲۲	۳۳۰/۱
	حداکثر	۳۷	۳۱/۵	۷۵۳
	میانگین ± خطای استاندارد ^{۱۱}	۳۰/۶۴ ± ۰/۶۰	۲۵/۲۳ ± ۰/۵۳	۴۷۵/۷۱ ± ۲۵/۷۰
کپور نقره‌ای	حداقل	۳۲	۲۶/۶	۳۰۰
	حداکثر	۴۹	۴۱/۵	۱۰۲۰
	میانگین ± خطای استاندارد	۴۰/۶۴ ± ۰/۸۲	۳۳/۷۹ ± ۰/۷۰	۶۶۵/۷۷ ± ۳۶/۹۴

جدول شماره (۲): نتایج به دست آمده از غلظت جیوه کل اندازه‌گیری شده در بافت عضله ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای صید شده

(بر حسب ppb یا ng g⁻¹ وزن خشک) از سد قشلاق سنندج (طی ماههای تیر تا آذر ۱۳۸۸)

نام ماهی	غلظت جیوه کل موجود در بافت عضله		
	حداکثر	حداقل	میانگین (Mean ± S.E ^{۱۱})
کپور معمولی (<i>Cyprinus carpio</i>)	۴۵۸	۱۲۳	۲۳۳ ± ۲۰/۶۷
کپور نقره‌ای (<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>)	۷۸۰	۱۴۰	۳۶۷ ± ۲۶/۴۳

جدول شماره (۳): جدول تجزیه واریانس مقایسه بافت‌های عضله ماهیان کپور معمولی و کپور نقره‌ای با استفاده از

طرح بلوک‌های کامل تصادفی چند مشاهده‌ای

منبع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	P value
بلوک (ماه)	۵	۲۴۹۷۵/۲۳۳۳	ns/۲۹	۰/۱۹۲۶
تیمار (گونه)	۱	۲۱۵۲۰۴/۰۸۳۳	**۱۹/۷۰	۰/۰۰۶۸
بلوک × تیمار (خطای آزمایش)	۵	۱۰۹۲۳/۸۸۳۳	ns/۸۹	۰/۴۹۸۷
باقیمانده (خطای نمونه برداری)	۳۶	۱۲۲۸۹/۳۰۵۶		
کل	۴۷			

ns معنی‌دار نیست ** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ درصد ($P < ۰/۰۱$)

F_5 ، درحالی‌که میانگین‌های غلظت جیوه تجمع‌یافته در بافت عضله ماهی کپور نقره‌ای به طور معنی‌داری بالاتر از غلظت جیوه تجمع یافته در بافت عضله ماهی کپور معمولی بود ($P = ۰/۰۰۶۸$)، صورت $F_{1, 36} = ۱۹/۷۰$ ، نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری به صورت خلاصه در جدول شماره (۳) و نمودار شماره (۱) نشان داده شده است. نمودار شماره (۲) نیز مبین مقایسه روند تغییرات میانگین

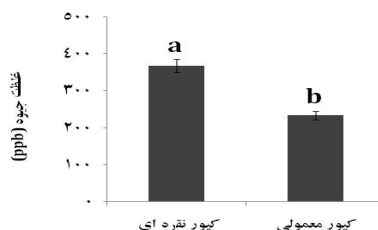
ج- نتیجه مقایسه میانگین‌های جیوه تجمع یافته در بافت عضله ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی چند مشاهده‌ای

میانگین‌های جیوه تجمع یافته در بافت عضله دو گونه ماهی کپور معمولی و نقره‌ای در خلال ماه‌های مطالعه (تیر تا آذر ۱۳۸۸)، اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P = ۰/۱۹۲۶$ ، $F = ۲/۲۹$)،

خطرناک در بافت عضلهٔ آبزیان بویژه ماهی‌ها باشد (Eisler, 2006; McCoy, et al., 1995). این ارتباط مثبت تقریباً در تمام دریاچه‌ها و ذخایر آبی دنیا مشاهده شده و نشانه تجمع زیستی جیوه است (Weis, 2004). در این مطالعه جنسیت تأثیری بر میزان تجمع جیوه در بافت عضلهٔ دو ماهی کپور معمولی و نقره‌ای سد قشلاق سنجیدند (Weis, 2004). به نظر می‌رسد که غلظت جیوه تجمع یافته در بافت‌های ماهی بیشتر تابع وزن، اندازه و سن ماهی است و ارتباطی به جنسیت ندارد (Jewett, et al., Sager, 2002; 2003). از آنجایی که رژیم غذایی دو گونه کپور معمولی و کپور نقره‌ای با هم متفاوت هستند، پیش‌بینی می‌شد که غلظت جیوه تجمع یافته در بافت عضله کپور معمولی که بیشتر رژیم بنتیک^{۱۲} دارد بیشتر از کپور نقره‌ای باشد، در حالی که نتایج به دست آمده خلاف این امر را نشان داد. شاید دلیل این امر میانگین بیشتر وزن و سن نمونه‌های کپور معمولی در این تحقیق باشد. زیرا Romeo و همکاران در سال ۱۹۹۹ و همچنین Canli و Atli در سال ۲۰۰۳ گزارش داده‌اند که افزایش وزن و سن، تأثیر بسزایی در افزایش غلظت جیوه تجمع یافته در بافت‌های مختلف ماهی دارند. همچنین عوامل دیگری از جمله تفاوت در عملکرد فیزیولوژیک و سوخت‌وساز سلولی هر یک از بافت‌ها، اختلاف در عادات غذایی، گونه، زیستگاه و نوع رفتار نیز می‌تواند در تجمع جیوه و فلزات سنگین دیگر مؤثر باشند (Canli, and Atli, 2003). در جدول شماره (۴) میانگین‌های جیوه اندازه‌گیری شده در بافت عضلهٔ خوراکی ماهیان مناطق مختلف دنیا با نتایج این تحقیق بر حسب $\mu\text{g g}^{-1}$ مقایسه شده‌اند.

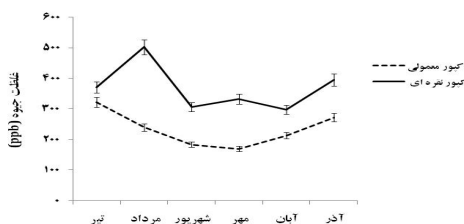
از آنجایی که نتایج ما در این مطالعه بر حسب ng g^{-1} هستند، در نتیجه برای بیان نتایج خود بر حسب $\mu\text{g g}^{-1}$ مقادیر به دست آمده بر عدد ۱۰۰۰ تقسیم شده‌اند. در جدول شماره (۵) نیز حداکثر مجاز میزان جیوه موجود در بافت‌های مختلف ماهیان، بر طبق استانداردهای مختلف جهانی نشان داده شده است. همچنین در این جدول مقایسه‌ای بین میانگین غلظت جیوه موجود در بافت‌های عضلهٔ ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای سد قشلاق سنجیدند با این استانداردها انجام شده است. نتیجهٔ مقایسه میانگین‌ها با حد مجاز اعلام شده با EPA نشان داد که فقط بافت عضله ماهی کپور نقره‌ای بالاتر از این حد بود. اگرچه میانگین غلظت جیوه موجود در بافت‌های دو ماهی کمتر از آستانه اعلام شده از سوی WHO و FAO بود، ولی غلظت جیوه کل در بافت عضلهٔ کلیهٔ ماهی‌هایی که

ماهانه جیوه تجمع یافته در بافت عضله ماهیان کپور معمولی و کپور نقره‌ای در خلال دورهٔ مطالعه است. غلظت جیوه تجمع یافته در بافت عضلهٔ دو ماهی با متغیرهای زیستی طول کل، طول استاندارد و وزن کل، همبستگی معنی‌دار و مثبتی از خود نشان دادند ($P < 0.05$) اما مقایسهٔ دو به دوی میانگین غلظت جیوهٔ تجمع یافته در بافت عضله، در بین دو جنس نر و ماده هر ماهی به صورت مجزا، اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند ($P > 0.05$).



نمودار شماره (۱): مقایسهٔ میانگین \pm خطای استاندارد) غلظت

جیوهٔ کل تجمع یافته در بافت عضلهٔ ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای ($P < 0.01$)



نمودار شماره (۲): مقایسهٔ روند تغییرات میانگین‌های ماهانهٔ جیوهٔ کل تجمع یافته در بافت عضلهٔ ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای

بحث و نتیجه‌گیری

مقدار جیوه در بافت عضلهٔ ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای، به سبب نقش مهم آن در تغذیه انسان و لزوم اطمینان از سلامت مصرف آن مورد بررسی قرار گرفت (Eisler, 2006). این مطالعه نشان داد که با افزایش طول، وزن و سن نمونه‌های ماهی کپور معمولی و کپور نقره‌ای سد قشلاق سنجیدند، میزان جیوهٔ تجمع یافته در بافت عضله (افزایش می‌یابد، نتایج مشابهی در زمینهٔ افزایش غلظت فلز جیوه همگام با افزایش طول، وزن و سن در بافت سایر گونه‌های ماهی نیز گزارش شده است (Burger and Gochfeld, 1999; Romeo, et al., 2007)). به نظر می‌رسد که طولانی بودن نیمهٔ عمر جیوه، قابلیت تجمع زیستی آن در بافت عضلهٔ ماهی‌ها در کنار افزایش غلظت آن به موازات افزایش سن، وزن و طول ماهی در بافت‌های مختلف، علت اصلی افزایش غلظت این فلز سنگین

سطح اثر ویژه‌ای را برای جیوه نمی‌توان تعیین کرد. با انجام این مطالعه، وجود آلودگی فلز سمی جیوه در بافت‌های عضله ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای به عنوان پر مصرف‌ترین ماهی منطقه به فلز جیوه اثبات شد. از آنجایی که این سد مهم‌ترین منبع شیلاتی شهر سنج است، با توجه به خصوصیت تجمع زیستی و بروز پدیده بزرگنمایی جیوه در زنجیره‌های غذایی، گوشت این ماهیان می‌باید با رعایت ملاحظات بهداشتی و در حد معینی به ازای هر فرد در طول سال مصرف شوند. انجام مطالعات تکمیلی برای بررسی تأثیرات احتمالی ناشی از مصرف این ماهیان بر سلامت انسان ضروری به نظر می‌رسد

وزن آنها بیشتر از ۵۰۰ گرم بود، از استاندارد EPA بالاتر بود. همچنین تمام نمونه‌هایی که وزن‌شان از ۸۵۰ گرم بیشتر بود، غلظت جیوه تجمع یافته در بافت عضله آنها، از دو استاندارد جهانی WHO و FAO نیز بالاتر بود. ذکر این نکته ضروری است که مقادیر مشخص شده از سوی سازمان‌های پیش‌گفته، مقادیری هستند که در غلظت‌های جیوه تجمع یافته بیشتر از این حدود تأثیرات خود را نشان می‌دهند، در حالی که ممکن است مقادیر کمتر از این استانداردها آثار مضر نامشخصی بر سلامت موجودات زنده و انسان داشته باشند. چرا که طبق گزارش‌های سازمان بهداشت جهانی هر سطح و هر مقداری از جیوه می‌تواند مضر باشد و هیچ

جدول شماره (۴): میانگین جیوه اندازه گیری شده در بافت‌های عضله ماهیان مناطق مختلف دنیا (بر حسب $\mu\text{g g}^{-1}$)

منبع	منطقه	میانگین جیوه در بافت عضله	نام علمی گونه
Houserova, et al., 2007	اکوسیستم آبی Zahlinice در جمهوری چک	۰/۳۲	<i>Tinca tinca</i>
		۰/۰۵	<i>Ctenopharyngodon idella</i>
Agusa, et al., 2004	دریای خزر	۱/۴	<i>Huso huso</i>
		۰/۳۳	<i>Acipenser persicus</i>
		۰/۳۲	<i>Acipenser gueldenstaedtii</i>
		۰/۶۷	<i>Acipenser nudiiventris</i>
		۰/۰۶	<i>Acipenser stellatus</i>
Regine, et al., 2006	رودخانه Maroni در فرانسه	۰/۰۱۳	<i>Myleus rubripinnis</i>
		۰/۳۹۶	<i>Semaprochilodus varii</i>
		۱/۲۵۲	<i>Doras micropoeus</i>
		۰/۱۰۴	<i>Pseudancistrus barbatus</i>
Cronin, et al., 1998	آتلانتيك شمالي	۰/۰۷	<i>Coryphaenoides mediterraneus</i>
		۰/۱۷	<i>Coelorhynchus labiatus</i>
مطالعه حاضر	سد قشلاق سنندج ایران	۰/۲۳۳	<i>Cyprinus carpio</i>
		۰/۳۶۷	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>

دکتر بدخشان، آقایان مهندس الماسیة، مهندس گویلیان، مهندس قادری، خانم مهندس حق دوست و همه عزیزان دیگری که در انجام این تحقیق ما را یاری کردند، صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

یادداشت‌ها

- 1- Heavy Metals
- 2- Mercury
- 3- Bioaccumulation
- 4- Biomagnifications
- 5- Methyl Mercury
- 6- Tuna Fish
- 7- Amalgamator
- 8- Kolmogorov-Smirnov
- 9- Bartlett
- 10 - Pearson Correlation
- 11- Standard Error
- 12- Benthic
- 13- World Health Organization
- 14- Food and Agriculture Organization
- 15- Environmental Protection Agency

جدول شماره (۵): مقایسه میانگین غلظت جیوه موجود در

بافت عضله ماهیان کپور معمولی و نقره‌ای سد قشلاق سنندج با حداکثر میزان مجاز استانداردهای مختلف جهانی جیوه (بر حسب $\mu\text{g g}^{-1}$)

منبع	میزان جیوه بر حسب $\mu\text{g g}^{-1}$	استانداردها
Voegborlo, and Akagi, 2007	۰/۵	WHO ^{۱۳}
Voegborlo, and Akagi, 2007	۰/۵	FAO ^{۱۴}
Jewett, and Duffy, 2007	۰/۳	EPA ^{۱۵}
مطالعه حاضر	۰/۲۳۳	کپور معمولی (بافت عضله)
مطالعه حاضر	۰/۳۶۷	کپور نقره‌ای (بافت عضله)

سپاسگزاری

از گروه محیط زیست دانشگاه کردستان برای فراهم سازی امکانات و بودجه این طرح تحقیقاتی قدردانی می‌کنیم. از همکاری‌های بی‌دریغ آقایان دکتر قربانی، دکتر بهرامی کمانگر، خانم

منابع مورد استفاده

- اکبر پور، ا. و نصری، ف. ۱۳۸۲. بررسی آلودگی فلزات سنگین در حوزه‌های آبریز ورودی به دریاچه سد قشلاق سنندج. بیست و دومین گردهمایی علوم زمین، ایران، ۲۰ بهمن، تهران.
- امانی، ک. ۱۳۸۷. بررسی و تعیین غلظت آلاینده‌های سد قشلاق سنندج. انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست کردستان، سنندج، ۱۲۷ صفحه.
- سوری، ب. ۱۳۸۸. مطالعات جامع وضعیت بافت خاک حوزه‌های آبریز سد قشلاق سنندج. طرح پژوهشی گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی، معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان.
- Agusa, T., et al. 2004. Concentration of trace elements in muscle of sturgeons in the Caspian Sea. *Marine Pollution Bulletin*, 49: Pp. 789- 800.
- Boening, D.W. 2000. Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. *Chemosphere*, 40: Pp. 1335 - 1351.
- Burger, J. and M., Gochfeld. 2007. Risk to consumers from mercury in Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) from the Aleutians: Fish age and size effects. *Environmental Research*, 105: Pp. 276 – 284.
- Canli, M. and G., Atli. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six Mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121: Pp. 129-136.
- Cronin, M., et al. 1998. Trace metal concentrations in deep sea fish from the North Atlantic. *Mar. Environ. Res*, 45: Pp. 225–238.
- Ebinghaus, R., H., Hintelmann, and R.D., Wilken. 1994. Mercury cycling in surface waters and in the atmosphere species analysis for the investigation of transformation and transport properties of mercury. *Fresenius J. Anal. Chem*, 350: Pp. 21–29.
- Eisler, R. 2006. *Mercury Hazards to Living Organism*. CRC Press, Pp. 312.
- Gochfeld, M. 2003. Cases of mercury exposure, bioavailability, and absorption, *Ecotoxicol. Environ. Saf*, 56: Pp. 174–179.
- Gomez-Ariza J.L., F., Lorenzo and T., Garcia-Barrera. 2005. Guidelines for routine mercury speciation analysis in seafood by gas chromatography coupled to a home-modified AFS detector. Application to the Andalusian coast (South Spain). *Chemosphere*, 61: 1401-1409.
- Hamasaki, T., et al. 1995. Formatin, distribution and eco-toxicity of methylmentals of tin, mercury and arsenic in the environment, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 25: Pp. 45-91.
- Houserova, P. and et al. 2007. Total Mercury and Mercury Species in Birds and Fish in an Aquatic Ecosystem in the Czech Republic. *Environmental Pollution*, 145: Pp. 185-194.
- Jewett, S.C. and L.K., Duffy. 2007. Mercury in fishes of Alaska, with emphasis on subsistence species. *Science of the Total Environment*, 387: Pp. 3–27.
- Jewett, S.C., et al. 2003. Comparison of mercury and methyl mercury in northern pike and Arctic gray ling from western Alaska Rivers. *Chemosphere*, 50: Pp. 383-392.
- Kumar, A. 2006. *Heavy metals pollution research*. DAYA publishing House, pp. 312.
- McCoy, C.P., et al. 1995. Liver and kidney concentrations of zinc, copper and cadmium in channel catfish (*Ictalurus punctatus*): variation due to size, season and health status. *Vet Hum Toxicol*, 37: Pp. 11–15.

- Regine, M.B., et al. 2006. Mercury distribution in fish organs and food regimes: Significant relationships from twelve species collected in French Guiana (Amazonian basin). *Science of the Total Environment*, 368: Pp. 262–270.
- Romeo, M., et al. 1999. Heavy metal distribution in different fish species from the Mauritania coast. *Science of the Total Environment*, 232: Pp. 169–175.
- Sager, D.R. 2002. Long-term variation in mercury concentrations in estuarine organisms with changes in releases into Lavaca Bay, Texas. *Marine Pollution Bulletin*, 44: Pp. 807–815.
- Saulo, R. 2004. Environmental and Health Assessment in two small-scale gold mining areas- Indonesia final report sulawesi and Kalimantan. RT2004-016-00-Technical Final Report to UNIDO.
- Spataru, P. and M., Gophen, 1985. Feeding behavior of silver carp *Hypophthalmichthys molitrix* Val. and its impact on the food web in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia*, 120: Pp. 53-61.
- Storelli, M.M., et al. 2005. Accumulation of mercury, cadmium, lead and arsenic in Swordfish and Blue fin tuna from the Mediterranean Sea: A comparative study. *Marine Pollution Bulletin*, 50: Pp. 1004–7.
- Tempro, G.W., et al. 2006. Age composition, growth, and reproduction of koi carp (*Cyprinus carpio*) in the lower Waikato region, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 40: Pp. 571–583.
- USEPA, 1997. Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories: Volume II, risk assessment and fish consumption limits. EPA 823-B-97-009.
- U.S. National Academy of Sciences (USNAS). 1978. An Assessment of Mercury in the Environment. Acad. Sci., Washington, D.C., pp.185.
- Voegborlo, R.B. and H., Akagi. 2007. Determination of mercury in fish by cold vapor atomic absorption spectrometry using an automatic mercury analyzer. *Food Chemistry*, 100: Pp. 853–858.
- Vupputuri, S., et al. 2005. Blood mercury level and blood pressure among US women: results from the national Health and Nutrition Examination Survey 1999–2000. *Environmental Research*, 97: Pp. 195–200.
- Weis, I.M. 2004. Mercury concentration in fish from Canadian Great Lakes areas of concern: an analysis of data from the Canadian Department of Environment database. *Environmental Research*, 95: Pp. 341-350.
- Willis, J.B. 2003. Global Mercury Assessment. UNEP, Chemical International Environmental House, page: 11,123
- Yilmaz, F., et al. 2007. Heavy metal levels in two fish species *Leuciscus cephalus* and *Lepomis gibbosus*. *Food Chemistry*, 100: Pp. 830 - 835.
- Zalups, R.K. 2000. Molecular interactions with mercury in the kidney. *Pharmacol. Rev.*, 52: Pp. 113–143