

بررسی فلزات سنگین (مس، سرب، کادمیوم و روی) آب در مراحل مختلف تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری مجتمع شهید دکتر بهشتی

عما ارشد*^۱، مرجان صادقی راد^۱، علیرضا علی اکبر^۲، فروزان چوبیان^۱

۱- موسسه تحقیقات بین المللی ماهیان خاویاری دکتر دادمان، بخش اکولوژی، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۶۳۵-۳۴۶۴

۲- دانشگاه گیلان، دانشکده علوم پایه، گروه شیمی، رشت، ایران، صندوق پستی: ۴۱۳۳۴-۱۹۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۶ اردیبهشت ۱۳۹۳

تاریخ دریافت: ۱۷ دی ۱۳۹۲

چکیده

با توجه به تأمین آب کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دکتر شهید بهشتی از طریق رودخانه سفیدرود و امکان آلودگی آب مورد استفاده کارگاه به فلزات سنگین از طریق پسابها و زهابهای کشاورزی، اندازه گیری غلظت فلزات سنگین روی، مس، کادمیوم و سرب آب در مراحل مختلف تکثیر و پرورش انجام شد. بررسی غلظت فلزات سنگین (مس، روی، کادمیوم و سرب) در آب در مراحل مختلف تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری در کارگاه شهید بهشتی انجام شد. نمونه های آب از استخر مادر (ورودی و خروجی)، استخر کورانسکی، سالن انکوباسیون، حوضچه های ونیرو، استخرهای خاکی پرورشی و در محل رهاکرد بچه ماهیان (مصب رودخانه) جمع آوری گردید. غلظت فلزات سنگین در نمونه های آب با استفاده از روش جذب اتمی اندازه گیری شد. در بین ۴ فلز سنگین عنصر روی با غلظت $36/0 \pm 3/6$ ppb بالاترین غلظت را در آب ورودی استخر مادر داشته است و کمترین مقدار به دست آمده برای این عنصر $0/98 \pm 0/26$ ppb بوده است. اما حداکثر و حداقل غلظت فلز مس به ترتیب $10/5 \pm 1/18$ ppb و $0/65 \pm 0/26$ ppb، سرب $1/19 \pm 9/33$ ppb و $0/15 \pm 0/1$ ppb و کادمیوم در مراحل مختلف نمونه برداری $0/116 \pm 0/019$ ppb و $0/016 \pm 0/003$ ppb ثبت گردید. اگرچه نتایج حاصل بیانگر وجود فلزات سنگین در آب مجتمع شهید بهشتی می باشد، اما این بررسی نشان داد که مقدار غلظت های آنها پائین تر از حد مجاز برای این آلاینده ها در آب کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری بوده است.

کلمات کلیدی: ماهی خاویاری، فلزات سنگین، انکوباسیون، حوضچه های ونیرو، استخرهای خاکی.

مقدمه

اثرات آلاینده‌ها علاوه بر نوع و سطح آلاینده در محیط (هوا، آب و رسوبات) به عکس‌العمل موجودات در مراحل مختلف رشد آن‌ها و همچنین تأثیر متقابل بین موجود و محیط بستگی دارد.

به‌عنوان مثال عواقب اثرات آلاینده‌ها در سلول‌های در حال رشد در مقایسه با سلول‌های سوماتیک شدیدتر خواهد بود. در مراحل جنینی و لاروی، موجودات به دلیل جثه کوچک‌تر در مقابل آلاینده‌ها حساس‌تر می‌باشند. سلامت، سن، وضعیت تغذیه‌ای و تولیدمثلی موجودات نیز بر عکس‌العمل آن‌ها نسبت به آلودگی تأثیرگذار می‌باشد (Lawrence and Hemingway, 2003).

یک بررسی گسترده از غلظت‌های فلزات سنگین در آب، رسوب و موجودات استخرها و دریاچه‌ها به‌وسیله Nriagu (۱۹۷۹) انجام شد و مشخص گردید که فلزات سنگین اثرات مختلفی مانند کاهش رشد، تغییر رفتار، تغییرات ژنتیکی و مرگ‌ومیر در آبزیان را باعث می‌شوند. این اثرات سبب زوال زیستی آبزیان می‌گردد. پژوهش‌های مشابهی از اثرات فلزات سنگین در رودخانه‌ها موجود می‌باشد (Mason, 1981; Dixit and Witcomb, 1983; Barak and Mason, 1989).

ماهیان خاویاری از جمله آبزیانی هستند که تحت تأثیر آلاینده‌های وارد شده به دریای خزر می‌باشند. این گونه‌ها از گرانبهارترین ماهیان اقتصادی دریای خزر محسوب می‌شوند که مشکل حفاظت از آن‌ها از طرق مختلف بایستی مورد بررسی قرار گیرد. هر چند غلظت فلزات سنگین در تاسماهیان دریای خزر پایین و مشابه ماهیان آب شیرین است، اما غلظت این فلزات در تاسماهیان بالاتر از ماهیان دریایی است. گزارش

Khodorevskaya و همکاران (۱۹۹۷) بیانگر آن است که آتروفی ماهیچه و اختلال در رشد گنادهای تاسماهیان در اثر افزایش سطوح آلودگی در دریای خزر وجود آمده است.

در دهه‌های اخیر سطح آلاینده‌ها در دریای خزر به دلیل فشارهای ناشی از فعالیت‌های انسانی در اکوسیستم دریایی و ساحلی افزایش یافته است. ۵٪ از کل آبی که وارد دریای خزر می‌شود، از طریق ۱۲۸ رودخانه در سواحل ایران تأمین می‌شود که حدود ۳۶ رشته از آن‌ها به‌عنوان رودخانه‌های اصلی حوزه آبی می‌باشند. میانگین کل جریان‌های رودخانه‌ها بیش از ۶ × ۱۰^{۱۰} متر مکعب است. از آنجایی که بیش از ۹۰ درصد آلودگی‌های دریاها از طریق رودخانه‌ها می‌باشد (Anon, 1998) بنابراین مطالعات مستمر رودخانه‌ها علاوه بر اطلاع از چرخه هیدرولیکی آن‌ها، تأمین‌کننده تخمین بار آلودگی وارده به دریا نیز می‌باشد (صادقی راد، ۱۳۸۴).

به‌طور کلی مطالعه رودخانه‌های سواحل دریای خزر از سه جنبه حائز اهمیت است: اول اینکه رودها تأمین‌کننده اصلی آب دریای خزر می‌باشند که کاهش یا افزایش حجم آبی وارده در انتقال مواد بیوژن و حاصلخیزی دریا تأثیر بسزائی دارد، ثانیاً به دلیل رود کوچ بودن اکثر ماهیان، رودخانه‌ها زایشگاه و محل تکثیر و تولید مثل آن‌ها محسوب می‌شوند که تغییرات دهه‌های اخیر در مهار آب‌ها و استفاده از آن برای مصارف کشاورزی و صنعتی سبب تخریب بسیاری از مکان‌های تخم‌ریزی و کاهش زادآوری طبیعی ماهیان (از جمله ماهیان اقتصادی خاویاری) خزر گردیده است. همچنین امروزه با کاهش شدید ذخایر ماهیان خاویاری در جهان علی‌الخصوص در دریای

همچنین محل رهاکرد آن‌ها در رودخانه سفیدرود انجام شد (شکل ۱).

در طی نمونه‌برداری فاکتورهای pH، دمای آب و هوا ثبت گردید و سپس حدود ۵۰ لیتر آب جهت اندازه‌گیری فلزات سنگین (مس، کادمیوم، سرب و روی) در ظرف‌های پلاستیکی جمع‌آوری و به آزمایشگاه انتقال داده شد.

جهت تعیین فلزات سنگین ۳ لیتر آب از هر نمونه، با روش حرارت دهی خیلی ملایم (حدود ۱۵ ساعت) به ۱۰ میلی لیتر تغلیظ شدند. غلظت فلزات سنگین از طریق اندازه‌گیری به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر جذب اتمی ۲۲۰-Varian AA-FAAS انجام شد (حد تشخیص دستگاه برای سرب ۰/۳-۲۵ ppm، مس ۰/۱-۱۵ ppm و کادمیوم ۰/۰۳-۳ ppm به دست آمد). استانداردهای هر فلز به‌طور جداگانه تهیه و با استفاده از لامپ مخصوص هر فلز در دستگاه، منحنی استاندارد تهیه و سپس نمونه‌ها به‌طور جداگانه به دستگاه تزریق شدند. آنگاه با استفاده از معادله منحنی استاندارد، غلظت فلزات در نمونه‌ها به دست آمد (ASTM, 1996).

به منظور تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها از نرم افزار SPSS (نسخه ۱۷) و آزمون‌های آماری واریانس یک‌طرفه استفاده شد.

نتایج

میانگین غلظت فلزات سنگین در آب مراحل مختلف کارگاه تکثیر و پرورش شهید بهشتی طبق جدول ۱ می‌باشد. بالاترین مقدار ثبت شده مربوط به فلز روی و پائین‌ترین غلظت برای کادمیوم به دست آمد.

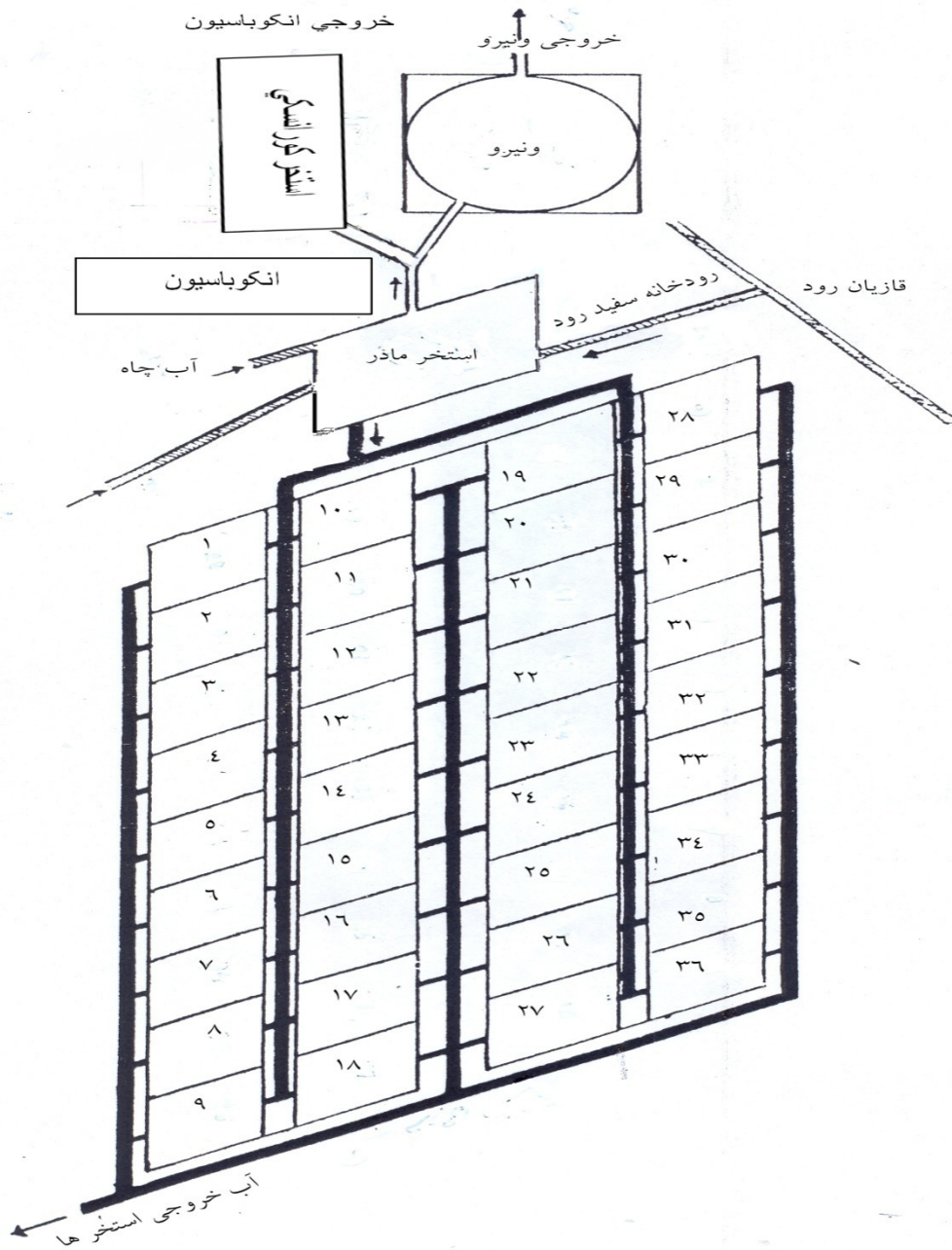
خزر نیاز به تکثیر و پرورش هرچه بیشتر این ماهیان احساس می‌شود که رودخانه‌ها باید محل‌های امن و مناسبی برای رهاکرد بچه ماهیان باشند (Jenkins, 2001).

یکی از محورهای اساسی در حفظ ذخایر، توسعه تکثیر مصنوعی و پرورش گونه‌های بومی و تأمین بچه ماهی مقاوم در شرایط پرورشی مطلوب و تغذیه مناسب در دوره نوزادی و انگشت قد، در نهایت افزایش وزن رهاسازی به دریا می‌باشد. امروزه اغلب متخصصین معتقدند که ذخایر فعلی وابسته به تکثیر و پرورش مصنوعی این ماهیان در شرایط مناسب و کنترل شده است. لذا محیط پرورشی مناسب، عامل مهمی در جهت افزایش مقاومت و بازماندگی لاروها و بچه ماهیان در دوره تکثیر و پرورش است.

با توجه به تأمین آب کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دکتر شهید بهشتی از طریق رودخانه سفیدرود و امکان آلودگی آب مورد استفاده کارگاه به فلزات سنگین از طریق پساب‌ها و زهاب‌های کشاورزی، اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین روی، مس، کادمیوم و سرب آب در مراحل مختلف تکثیر و پرورش انجام شد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی آلاینده‌ها (فلزات سنگین) در آب بخش‌های مختلف مجتمع تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری شهید بهشتی، نمونه‌برداری از آب استخر مادر (دو نقطه ورودی و خروجی)، استخر کورنسکی، انکوباتورها، حوضچه‌های ونیرو، استخرهای پرورشی بچه ماهیان مجتمع تکثیر و پرورش شهید بهشتی و



شکل ۱: شمای عمومی کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری شهید بهشتی

بیشترین غلظت فلز مس در آب ورودی استخر مادر (۱۰/۵ ppb) و پائین ترین حد آن مربوط به آب استخرخاکی پرورش بچه ماهیان (۰/۶۵ ppb) به دست آمده است (شکل ۲).

بالاترین غلظت روی در آب ورودی استخر مادر (۳۶ ppb) به دست آمد. در حالی که خروجی آن با غلظت ۱۸/۸۳ ppb کمتر از ورودی بوده است. کمترین مقدار به دست آمده (۰/۹۸ ppb) مربوط به آب استخر کورانسکی محل نگهداری مولدین بوده است.

جدول ۱: غلظت‌های فلزات سنگین (SD ± میانگین) در آب در مراحل مختلف تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری

نمونه	تاریخ	Cu (ppb)	Zn (ppb)	Cd (ppb)	Pb (ppb)
استخر مادر (ورودی)	۸۱/۰۲/۱۸	۱۰/۵±۱/۱۸	۳۶/۰±۳/۶	۰/۱۱۶±۰/۰۱۹	۹/۳۳±۱/۱۹
استخر مادر (خروجی)	۸۱/۰۲/۱۸	۶/۵±۰/۹۵	۱۸/۸۳±۲/۸۴	۰/۰۸۳±۰/۰۹۸	۴/۶۶±۰/۰۵۶
استخر کورنسکی	۸۱/۰۲/۲۲	۸/۳۳±۱/۴۶	۱۱/۱۶±۲/۴۸	۰/۰۱۶±۰/۰۰۳	۱۰/۳۳±۰/۰۱۳
	۸۱/۰۳/۲۱	۱/۰۱±۰/۱۷	۰/۹۸±۰/۲۶	۰/۱۱±۰/۰۳۵	۷/۸±۰/۰۹۸
انکوباسیون	۸۱/۰۲/۲۲	۳/۶۶±۰/۴	۱۰/۶۶±۱/۳۱	۰/۱۵±۰/۰۱۴	۲/۰±۰/۰۱۷
	۸۱/۰۳/۲۱	۲/۹±۰/۳۶	۲۲/۳۳±۵/۶۴	۰/۱۶±۰/۰۰۷	۱۰/۲±۰/۰۳۴
ونیرو	۸۱/۰۳/۰۳	۱±۰/۴۵	۲/۰±۰/۳۲	۰/۰۰۷±۰/۰۱	۷/۴±۰/۰۶۱
	۸۱/۰۳/۲۸	۲/۸۳±۰/۱۷	۱۱/۶۶±۲/۸۹	۰/۱۵±۰/۰۲۱	۰/۱۵±۰/۰۰۱
استخر خاکی	۸۱/۰۴/۰۸	۰/۶۵±۰/۲۶	۱۹/۱۵±۳/۹۲	۰/۱۵±۰/۰۲۸	۷/۶±۰/۰۳۴
محل رهاکرد	۸۱/۰۵/۰۸	۱/۶۶±۰/۰۳۶	۵/۱۵±۱/۸	۰/۲۰±۰/۰۳۵	۶/۳±۰/۰۶۵

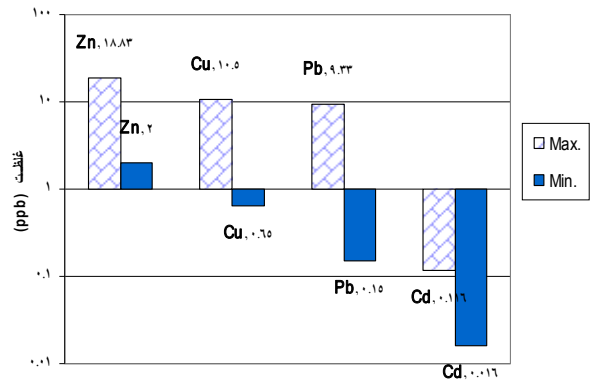
بحث

با توجه به اینکه آب مورد استفاده در کارگاه تکثیر و پرورش دکتر شهید بهشتی از طریق رودخانه سفیدرود تأمین می‌شود و در مسیر خود تحت تأثیر زهاب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی قرار می‌گیرد، وجود مواد شیمیایی مختلف از قبیل سموم کشاورزی، فلزات سنگین و ... در آن اجتناب‌ناپذیر خواهد بود.

در بررسی حاضر الگوی پراکنش غلظت فلزات اندازه‌گیری شده در مراحل مختلف نمونه‌برداری به شکل زیر می‌باشد: $Zn > Cu > Pb > Cd$. بالاترین غلظت مربوط به فلز روی (۳۶ ppb) و کمترین مربوط به کادمیوم با غلظت (۰/۰۱۶ ppb) می‌باشد. مهم‌ترین مطالعات پژوهشی مستند در خصوص ۴ عنصر Cr، Cd، Ni و Pb در آب هفت ایستگاه از دهانه رودخانه سفیدرود در مصب تا پشت سد منجیل در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در سال ۱۳۷۲ بیانگر تغییرات زیاد این عناصر در فصول مختلف در طول رودخانه سفیدرود است. این تغییرات به دلیل حجم پساب‌های

که بالاترین غلظت سرب ۹/۳۳ ppb مربوط به آب ورودی استخر مادر و پائین‌ترین غلظت آن در آب حوضچه‌های ونیرو (۰/۱۵ ppb) اندازه‌گیری و ثبت گردید.

غلظت کادمیوم در مراحل مختلف نمونه‌برداری نیز همین روند را نشان می‌دهد که بالاترین میزان آن در ورودی آب استخر مادر (۰/۱۱۶ ppb) و پائین‌ترین غلظت آن در استخر کورانسکی (۰/۰۱۶ ppb) ثبت گردید (شکل ۲).



شکل ۲: مقادیر حداقل و حداکثر فلزات در آب کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری شهید دکتر بهشتی

(WHO, 1993) می‌باشد. تأثیر فلزات سنگین بر اکوسیستم آبی به حدی است که یک بررسی گسترده از غلظت‌های فلزات سنگین در آب، رسوب و موجودات استخرها و دریاچه‌ها به وسیله Nriagu (۱۹۷۹) انجام شد. کارهای مشابه‌ای از اثرات فلزات سنگین در رودخانه‌ها موجود می‌باشد. عوامل مهمی که در غلظت فلزات سنگین و موجودیت زیستی آن در آب‌های شیرین تأثیر دارند، به وسیله Mason (۱۹۸۱)، Hellowell (۱۹۸۶)، Connel و Miller (۱۹۸۴) و Kelly (۱۹۸۸) به اثبات رسیده‌است.

جدول ۲: مقایسه حداکثر غلظت فلزات (ppb) در بررسی حاضر با مقادیر حد مجاز استاندارد

منطقه و استاندارد			
Zn	Pb	Cu	Cd
حداکثر مقادیر به دست آمده در بررسی حاضر			
۳۶	۱۰/۳۳	۱۰/۵	۰/۱۱۶
حداکثر سطح مجاز برای زندگی آبزیان Gardiner and Mance (1984)			
۴۰	۲۵	۵	۵
استاندارد سلامت آب (WHO 1993)			
۳۰۰۰	۱۰	-	۵
حفاظت از حیات در آب‌های شور (Anon, 1998)			
۴۰	۲۵	۵	۲/۵ (دریا) ۵ (مصوب)

تجمع فلزات سنگین در موجودات ممکن است در نتیجه جذب مستقیم از طریق محیط اطراف و عبور از دیواره بدن یا از طریق غذا و یا به وسیله ترکیبی از آنها باشد. غالباً این مسئله به طور واضح مشخص نیست که کدام مسیر مهم تر است، اگرچه این سمیت ممکن است از طریق انتشار فلزات در اندام‌های داخلی مورد توجه قرار گیرد. در محیط‌های حاکی ممکن است مهم‌ترین راه جذب از طریق غذا باشد (Ireland, 1983). اما در

وارد و مکان‌هایی است که این مواد از آنجا منشأ می‌گیرند. در بین این چهار عنصر، غلظت نیکل از همه بیشتر بوده (۲۰۰-۵۱ ppb) و این روند در همه ایستگاه‌ها دیده شده است، مقدار آن در فصل پاییز که احتمالاً با فعال شدن کارخانجات ارتباط دارد بیشتر است. حداقل و حداکثر غلظت کادمیوم و سرب در این بررسی به ترتیب $۰/۹ \pm ۰/۰۵$ ppb و $۷/۴ \pm ۰/۵۵۷$ ppb، $۱۲/۷ \pm ۰/۳۵$ ppb و $۲۶۰ \pm ۰/۹۴$ ppb به دست آمده است (مرتضوی، ۱۳۷۳).

در بررسی حاضر حداقل و حداکثر کادمیوم $۰/۰۰۳ \pm ۰/۰۱۶$ ppb و $۰/۱۱۶ \pm ۰/۰۱۹$ ppb و سرب $۰/۱۵ \pm ۰/۰۱$ ppb و $۱۰/۳۳ \pm ۰/۱۳$ ppb به دست آمده پایین‌تر از مقادیر به دست آمده در بررسی گذشته (مرتضوی، ۱۳۷۳) می‌باشد که احتمالاً به دلیل کاهش مقدار آن‌ها از منابع آلوده کننده است. حداکثر غلظت مجاز برای عناصر سرب، روی، مس و کادمیوم برای بچه تاسماهیان ایرانی به ترتیب $۱۲/۸۴$ ، $۰/۹۷$ ، $۰/۰۰۲۵$ ، $۰/۴۱$ میلی گرم در لیتر و برای ازون برون به ترتیب $۱۲/۰۶۱$ ، $۰/۸۶۵$ ، $۰/۰۱۸$ و $۰/۵۱$ میلی گرم در لیتر تعیین شد. این نتایج از آزمایشات سمیت حاد (Acute toxicity) این فلزات برای بچه ماهیان خاویاری ازون برون و تاسماهی ایرانی مشخص گردید. LC50 96h فلزات سرب، روی، مس و کادمیوم برای بچه ماهیان قره برون به ترتیب $۱۲۸/۴$ ، $۹/۷$ ، $۰/۰۲۵$ و $۴/۱$ میلی گرم در لیتر و برای بچه ماهیان ازون برون به ترتیب $۱۲۰/۶۱$ ، $۸/۶۵$ ، $۰/۰۱۸$ و $۵/۱$ میلی گرم در لیتر به دست آمده است (میرزایی، ۱۳۸۳). مقادیر به دست آمده برای فلزات در این بررسی به جز مس پائین تر از حد مجاز (جدول ۲) برای زیست آبزیان (Gardiner and Mance, 1984) و سلامت آب

بنابراین جهت موفقیت در برنامه پرورشی بچه ماهیان خاویاری، بررسی دقیق آلاینده‌ها و کنترل اثرات آن‌ها در محیط الزامی است.

سپاسگزاری

در اینجا لازم می‌دانیم از مسئولین محترم موسسه تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری و کلیه همکاران عزیزی که در اجرای این کار تحقیقاتی ما را یاری نموده‌اند قدردانی نماییم. از جناب آقای فربرز جمالزاد به جهت همکاری و مشاوره در کارآماری و همچنین از مسئول محترم کارگاه تکثیر و پرورش ماهیان خاویاری دکتر شهید بهشتی و کارشناسان و کارکنان صدیق که امکان نمونه‌برداری‌ها را در مراحل مختلف انجام پروژه فراهم نمودند سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

۱. صادقی راد، م.، ۱۳۸۴. دریای خزر، ماهیان خاویاری، آلودگی. انستیتو تحقیقات بین‌المللی ماهیان خاویاری، ۷۵ صفحه.
۲. عادل، ی.، ۱۳۷۸. تأثیر مواد سمی مختلف بر هیستورژن بافت عضلانی بچه تاسماهی روسی (*Acipenser gueldenstaedtii*) ترجمه و نشر فارسی: مرکز تحقیقات شیلات استان گیلان. ترجمه از متن روسی یوگنوا، ت.، پ. و کوچریوشکینا. مسکو ۱۹۹۴، ۶ صفحه.
۳. مرتضوی م.ص.، ۱۳۷۳. مطالعه فلزات سنگین در رودخانه سفیدرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ۱۳۷ صفحه.
۴. میرزایی، ج.، ۱۳۸۳. مطالعه سمیت حاد فلزات سنگین سرب، روی، مس و کادمیوم روی دو گونه از ماهیان خاویاری دریای خزر (تاسماهی ایرانی و ازون برون).

موجودات آبرزی غالباً جذب از طریق سطح بدن است (Rainbow, 1989) و دلیل آن را می‌توان شناور بودن دائم این فلزات در یک محیط آبی دانست زیرا همواره حجم عظیمی از این آب در زمان تبدلات گازی از سطوح تنفسی بدن عبور می‌کند و این فلزات وارد بدن جانوران می‌شود. اگر چه برای خیلی از بی‌مهرگان و مهره‌داران (ماهی‌ها و پستانداران دریایی) احتمال جذب مستقیم فلزات از آب کمتر است.

در تحقیقاتی، تاسماهی روسی انگشت قد (*Acipenser gueldenstaedtii*) طی ۲ ماه در معرض غلظت‌هایی از فلزات سنگین، سموم کشاورزی و ترکیبات نفتی قرار گرفت و غلظت فلزات سنگین (۳۰ میلی‌گرم در لیتر روی، ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم، ۱۵ میلی‌گرم در لیتر مس، ۳ میلی‌گرم در لیتر جیوه و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات)، سموم کشاورزی (۰/۱ میلی‌گرم در لیتر کلرپریفوس) و محصولات نفتی (روغن موتور ۲ قسمت، سوخت دیزل ۱ قسمت بر اساس میزان هیدروکربورها ۰/۰۹۶ میلی‌گرم در لیتر) در بافت عضلانی مورد سنجش قرار گرفت و مشخص گردید که بافت عضلانی بچه تاسماهیان در این سن در مرحله تجزیه فعال و ضخیم شدن قرار می‌گیرد که در این تحقیق شدیدترین تخریب در مرحله میوزنز و تحت تأثیر این مواد سمی مشاهده شد (عادل، ۱۳۷۸).

مقادیر به‌دست آمده برای این فلزات در مقایسه با نتایج به‌دست آمده توسط میرزایی (۱۳۸۳) زیر حد کشنده برای بچه تاسماهیان بوده است اما نمی‌توان اذعان داشت که این مقادیر موجب اثرات پاتولوژیک و هیستولوژیک نگردد و نیازمند بررسی‌های گسترده‌تری می‌باشد.

- Earthworm Ecology (d. J.E. Satchell), Chapman & Hall, London, 247-265.
13. Jenkins, R.G., 2001. Sustainable sturgeon fisheries In the Caspian Sea. Will a trade ban contribute to achieving this objective? IWMC – World Conservation Trust. 12 p.
 14. Kelly, M., 1988. Mining and the Freshwater Environment. Elsevier Applied Science Publishers, London, 231p.
 15. Khodorevskaya, R.P., Dovgopol, G.F., Zhuravleva, O.L., Vlasenko, A.D., 1997. Present status of commercial stocks of sturgeons in the Caspian Sea basin. Environment Biology of Fishes. 48, 209-219.
 16. Lawrence, A.J., Hemingway, K.C., 2003. Effects of Pollution on Fish. Blackwell Publishing. 342 p.
 17. Mason, C.F., 1981. Biology of Freshwater Pollution. Longman, London. 387 P.
 18. Niagru, J.O., 1979. Copper in the Environment, Parts 1 and 2. Wiley Interscience, Chichester.
 19. Rainbow, P.S., 1989. Copper, cadmium and zinc concentrations in oceanic amphipod and eupausiid crustaceans, as a source of heavy metals to pelagic seabirds. Marine Biology. 103, 513-518.
 20. World Health Organization (WHO), 1993. Revision of WHO Guidelines for Water Quality. WHO. Geneva, 11p.
- پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان، ۱۰۰ صفحه.
5. Annual Book of ASTM Standards, 1996. Water and Environmental Technology. Water (1). Publication code number (PCN). 01-110196-16, 11.01, 824 p.
 6. Anon, 1998. Caspian Sea Environment National report of I. R. Iran. Department of the Environment. 129 P.
 7. Barak, N.A.E., Mason, C.F., 1989. Heavy metals in water, sediment and invertebrates from rivers in eastern England. Chemosphere, 19, 1709-1714.
 8. Connell, D.W., Miller, G.J., 1984. The Chemistry and Ecotoxicology of Pollution. John Wiley & Sons, New York. 444 P.
 9. Dixit, S.S., Witcomb, D., 1983. Heavy metal burden in water, substrate and macro-invertebrate body tissue of a polluted river Irwell (England). Environ. Pollut., 6, 161-172.
 10. Gardiner, J., Mance, G., 1984. Water quality standards arising from European community directives, Water Research Center, No. 204.
 11. Hellowell, J.M., 1986. Biological Indicators of Fresh-water Pollution and Environmental Management. Elsevier Applied Science Publishers, London. 456 P.
 12. Ireland, M.P., 1983. Heavy metal uptake and tissue distribution in earthworms. In: